

Propuesta de uso de bioindicadores acuáticos para determinar la calidad hídrica de la microcuenca La Tablona municipio de Yopal, departamento de Casanare y su incorporación en el ordenamiento hidrográfico

Presentado por:

**ALBA LUCÍA PÉREZ GRANADOS
FABIO ANDRÉS TORRES CABRERA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
Bogotá D. C.**

Propuesta de uso de bioindicadores acuáticos para determinar la calidad hídrica de la microcuenca La Tablona municipio de Yopal, departamento de Casanare y su incorporación en el ordenamiento hidrográfico

Presentado por:

**ALBA LUCÍA PÉREZ GRANADOS
FABIO ANDRÉS TORRES CABRERA**

Tutor:

Esp. M Sc. Paulo Germán García Murillo

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
Bogotá D. C.**

Contenido

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas	5
Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Antecedentes	11
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
Justificación	19
Marco de Referencia	23
Marco Teórico	34
Marco Conceptual	39
Marco Legal	46
Metodología	48
Resultados	54
Análisis Físicoquímicos Quebrada la Tablona y Cálculo del Índice de Calidad del Agua	54
Posibles Bioindicadores Presentes en la Microcuenta La Tablona	64
Relación de los Macroinvertebrados Acuáticos y los Parámetros Físico Químicos de la Calidad del Agua	77
Determinación del Uso de Bioindicadores Acuáticos en los Instrumentos de Planificación Territorial de las Cuencas Hidrográficas	90
Conclusiones	96
Recomendaciones	98
Referencias	99

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Microcuenca La Tablona.....	48
<i>Figura 2.</i> Partes de una Microcuenca.....	41
<i>Figura 3.</i> Familias Gerridae, Hydrometridae y Veliidae del Orden Hemiptera como ejemplo de Neuston.	45
<i>Figura 4.</i> Macroinvertebrados como ejemplo de Necton.....	45
<i>Figura 5.</i> Macroinvertebrados representantes de los bentos en un ecosistema acuático.	46
<i>Figura 6.</i> Esquema Metodológico.....	49
<i>Figura 7.</i> Calculo del ICA para el punto Bocatoma.....	58
<i>Figura 8.</i> Calculo del ICA para el punto 100 metros aguas arriba de la captación.....	59
<i>Figura 9.</i> Cálculo del ICA en estación puente Yopal, sobre el Rio Cravo Sur.....	61
<i>Figura 10.</i> Resultados biológicos para el punto Bocatoma.....	63
<i>Figura 11.</i> Resultados biológicos para el punto 100 metros aguas arriba de la captación.....	63
<i>Figura 13.</i> Temperaturas en puntos de muestreo Quebrada La Tablona.	81
<i>Figura 14.</i> Reacción en cadena por alteración de gases en el agua.	83
<i>Figura 15.</i> Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua.....	84
<i>Figura 16.</i> Rangos de concentración de oxígeno disuelto y sus consecuencias.	85
<i>Figura 17.</i> Valores de alcalinidad y pH de algunos ecosistemas acuáticos neotropicales	86

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Aportes históricos sobre bioindicación y su uso en sistemas acuáticos.</i>	11
Tabla 2. <i>Hidrografía de la Microcuenca La Tablona.</i>	27
Tabla 3. <i>Especies forestales presentes en la microcuenca La Tablona.</i>	28
Tabla 4. <i>Unidades de cobertura vegetal presentes en el área de la RFPLT.</i>	29
Tabla 5. <i>Especies faunísticas presentes en la microcuenca La Tablona.</i>	30
Tabla 6. <i>Distribución de Género.</i>	32
Tabla 7. <i>Recopilación histórica del uso de macroinvertebrados en Colombia.</i>	36
Tabla 8. <i>Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.</i>	38
Tabla 9. <i>Marco Legal.</i>	46
Tabla 10. <i>Criterios de Inclusión/Exclusión.</i>	52
Tabla 11. <i>Consolidado de los resultados de los análisis físico-químicos de las variables requeridas para el cálculo del ICA.</i>	55
Tabla 12. <i>Resultado del cálculo del ICA para los puntos bocatoma y 100 metros aguas arriba.</i>	57
Tabla 13. <i>Bioindicadores encontrados en diferentes estudios realizados en la zona.</i>	64

Resumen

La quebrada la Tablona es la fuente hídrica que abastece la ciudad de Yopal con 139.000 habitantes según el censo del año 2015, desde el año 1981 esta microcuenca, con aproximadamente 2.700 hectáreas es objeto de protección bajo la figura de Reserva Forestal Nacional Protectora y desde el 2011 como Parque Natural Regional de la Orinoquia; sin embargo, la disminución del caudal ha generado problemas de desabastecimiento para los habitantes de Yopal, como producto de las diferentes actividades económicas que allí se realizan, la presencia de asentamientos urbanos y los problemas de calidad del agua evidenciados por el análisis y cálculo del ICA desde el año 2014, así como la falta de una ordenación adecuada de la microcuenca, es por eso, que se propuso el uso de bioindicadores acuáticos en esta quebrada para definir la calidad hídrica y la incorporación en su proceso de ordenamiento hidrográfico, resaltando el uso de macroinvertebrados como la mejor opción para realizar un seguimiento, monitoreo y evaluación de la fuente hídrica por sus múltiples ventajas en su utilización, ya que estos organismos responden a los diferentes cambios de los parámetros físicos y químicos del agua como penetración de la Luz, pH, Temperatura, Oxígeno, Turbiedad, Fosfatos, Nitratos. Así mismo, las investigaciones consultadas y analizadas suministraron información de los macroinvertebrados encontrados en las diferentes fuentes hídricas de la región, donde permitió concluir que el orden de mayor presencia fue el *Ephemeroptera* con las familias *Chironomidae* y *Simuliidae*.

Palabras claves: Bioindicadores, Calidad del Agua, Microcuenca, Macroinvertebrados, Ordenamiento Territorial.

Abstract

The Tablona's arroyo is the water source that supplies Yopal city with 139,000 of population according to the 2015 census. Since 1981, this micro-basin with 2,700 hectares approximately has been protected under the legal concept of the National Protective Forest reservation and since 2011 as Regional Natural Park of the Orinoquia. Nevertheless, the flow decrease has generated shortage issues to the population of Yopal as a consequence of the different economic activities carried out there, urban settlements presence and the water quality problems evidenced by the analysis and calculation by the ICA in 2014, as well as the lack of an appropriate ordinance of the micro-basin. For this reason, the implementation of aquatic bioindicators in this stream is a suitable way to determine the water quality and the incorporation in its hydrographic ordinance process, highlighting the use of macroinvertebrates as the best option to carry out a tracking, monitoring and evaluation of the water source because of the multiple advantages regarding its use, considering that these organisms respond to different changes in the physical and chemical parameters of water such as light penetration, pH, temperature, oxygen, turbidity, phosphates, nitrates. Additionally, the consulted and analyzed researches provided information about the macroinvertebrates found in the different water sources of the region and through them it is possible to conclude that the order of greatest presence was the Ephemeroptera with the families Chironomidae and Simuliidae.

Keywords: Bioindicators, Water Quality, Micro-basin, Macroinvertebrates, Territorial Planning.

Introducción

El ciclo hidrológico es el encargado de distribuir el agua en la tierra, el 70% del planeta se compone de agua, donde el 97% es de contenido salado y se encuentra en los mares y océanos, el agua dulce de los glaciares polares, ríos, lagos y la que se encuentra contenida en la atmósfera es solamente el 3%. El mundo tiene 43.764 km³ de agua por año, sin embargo la oferta hídrica de cada continente es diferente, Sudamérica tiene el 28% de los recursos hídricos mundiales y Colombia tiene 15% (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2018) sin embargo, esta riqueza hídrica del país no se reparte equitativamente en el espacio y tiempo ya que las condiciones geográficas, clima y estación bimodal hace que esta distribución se vea afectada, a esto le sumamos las presiones ejercidas en el recurso como extracción del mismo para desarrollar diferentes actividades como consumo humano, industria, agricultura, minería entre otros, haciendo que la calidad sea peor y menor su disponibilidad. A nivel nacional, en el Bajo Cauca existen reportes sobre efectos neurológicos derivados de la exposición al mercurio, el cual llega a las personas por consumo de peces provenientes de áreas contaminadas. En una muestra de mujeres de Quibdó, el grupo con abortos espontáneos, presentó niveles de mercurio en el cabello, estadísticamente superiores al que nunca ha tenido estos eventos. En el Atrato, varias investigaciones han identificado en peces, además de mercurio, otros metales como cesio y rubidio, con efectos poco documentados. Verbel (2017). Pero el problema mayor con el mercurio está en el Amazonas, en donde las comunidades indígenas que habitan algunos de sus ríos tienen los niveles más elevados encontrados en el país. Allí este metal pone en riesgo la supervivencia de estos individuos y hace necesaria una intervención a la mayor brevedad.

De allí, nace el interés de conocer el estado de los cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y manantiales), pues la degradación de los ecosistemas pueden desencadenar daños irreversibles a las comunidades bióticas presentes y por supuesto a los seres humanos, para ello se hace necesario crear e incorporar técnicas para la detección temprana de las alteraciones en los ríos, sobre esto, se han estudiado especies que pueden indicar las características y el estado actual donde habitan, dichas especies son llamadas bioindicadoras o indicadores biológicos.

El recurso hídrico es el principal determinante para el ordenamiento del territorio, los instrumentos de planificación como son los Planes de Ordenamiento de Cuencas hidrográficas, Planes Estratégicos y/o Planes de Manejo, toman el agua como un eje central y articulador, dentro de los diagnósticos de este territorio la calidad de agua es un componente importante que sirve para formular proyectos, tomar decisiones y realizar acciones para la mejora del recurso, donde la comunidad debe ser el actor principal en la prevención de la contaminación y utilización adecuada del recurso hídrico.

La cuenca de la quebrada La Tablona, que se encuentra al oeste, aproximadamente a 14 Km de la cabecera municipal, inicia abasteciendo de agua al municipio de Yopal en el año 1999, cuando reemplaza a la quebrada Buenavista, la cual ya estaba en proceso de demolición debido a que no se podía obtener más agua de allí por razones de deslizamiento y agotamiento del líquido. (García y Páez, 2014). Los bioindicadores son un instrumento aceptado a nivel mundial para la evaluación de calidad del agua y ayudan al monitoreo aportando datos e información para el ordenamiento y gestión integral de las cuencas hidrográficas. Los análisis realizados por (Gualdrón, 2016), En diversos ríos de Colombia, usando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, obtuvieron como resultado altos niveles de turbiedad y sólidos totales, sugiriendo que el agua de los ríos de Colombia no posee condiciones óptimas para el crecimiento

y la reproducción de diversos organismos acuáticos, además el índice biológico BMWP/COL correspondió a aguas ligeramente contaminadas y el índice de calidad del agua (ICA) sugirió un recurso hídrico altamente contaminado, existiendo congruencia entre los dos índices anteriormente mencionados; este ejemplo permite concluir que se pueden utilizar las dos metodologías para determinar la calidad del agua de los ríos obteniendo resultados veraces y complementarios.

Antecedentes

La bioindicación ha sido una constante a lo largo de la historia de la humanidad, esto se evidencia en todas las etapas de desarrollo de la cultura humana, la cual ha recurrido a la utilización de elementos del ambiente como indicadores de la existencia de recursos vitales para la supervivencia o de intentar conocer y definir las causas de los cambios ocurridos al ambiente en buena medida producto de las actividades humanas (Guillot, 1997) citado por: (Morales, 2011). Roldan realizó una recopilación de los aportes históricos del concepto de bioindicación y su uso en sistemas acuáticos. Esta síntesis se presenta en la Tabla 1 con los avances más relevantes.

Tabla 1

Aportes históricos sobre bioindicación y su uso en sistemas acuáticos.

Autor	Año	Aporte
Kolenati	1848	Encontró relaciones entre ciertas especies y el grado de calidad de agua.
Mez	1898	Utilizó microorganismo para establecer relaciones entre la presencia de estos con la calidad del agua.
Hynes	1959	Presentó a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua e integró la biología a la contaminación acuática
Washington	1984	Revisó los índices de diversidad biótico y de similitud con especial referencia a los ecosistemas acuáticos. Presentó índices de diversidad y similitud
Prat y colaboradores	1986	Encontraron una baja correlación entre la comparación de índices que utilizaban parámetros físicos y biológicos
De Pauw y colaboradores	1992	Establecieron que once países europeos utilizan los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.
Barbour y colaboradores	1995	Presentaron 63 tipos de mediciones para la evaluación rápida de los ecosistemas acuáticos. Entre ellos, está el índice biótico BMWP.
Trihandiningrum y colaboradores	1996	Utilizaron los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua en Indonesia.
Alba-Tercedo	1996	Adoptó la utilización de los macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la calidad del agua en España, utilizó el índice IBMWP` adaptado para la península Ibérica

Fuente: Roldán, 2003

Referente a estudios realizados en la microcuenca La Tablona, se encontró un trabajo de grado de estudiantes de pregrado Ingeniería Ambiental de la Fundación Universitaria de San Gil UNISANGIL, titulado DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS COMO ORGANISMOS BIOINDICADORES EN LA QUEBRADA LA TABLONA, MUNICIPIO DE YOPAL, CASANARE, presentado en el año 2011. En este trabajo de grado se realizó un diagnóstico de la calidad del agua de la quebrada La Tablona por medio de la recolección en campo y posterior caracterización de organismos bioindicadores, en este caso, macroinvertebrados. Para la recolección de los organismos utilizaron la red Surber y el método Kick, para la caracterización en laboratorio se apoyaron en claves taxonómicas y la utilización del índice BMWP/Col.

Entre las bases de datos analizadas y las demás búsquedas de bibliografía realizadas para enriquecer este estudio, se determinó que esta microcuenca no ha sido objeto de estudio para el análisis de bioindicadores, posterior al trabajo mencionado anteriormente. Por otro lado, se obtuvo información de la realización de estudios de calidad del agua por medio de análisis fisicoquímicos, realizados por la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal E.I.C.E. - E.S.P., empresa encargada del suministro de agua potable del municipio de Yopal, la cual capta el agua de la microcuenca La Tablona para prestar dicho servicio. Esta información puede ser utilizada para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) y para su posterior análisis, con esta información también se puede hacer una comparación para determinar la calidad del agua de una corriente hídrica, por medio de la utilización de análisis fisicoquímicos y el uso de bioindicadores.

En la revisión bibliográfica realizada, se encontró información referente al uso de bioindicadores para determinar la calidad del agua en quebradas como la Calabozza en el año

2018, arroyos del campus Utopía en la universidad de la Salle en el año 2017, y la quebrada Turrón en el año 2018, estos tres estudios realizados en Yopal Casanare. También se tuvo en cuenta la investigación realizada en la quebrada Metica ubicada en el municipio de Puerto López Meta en 1974.

Determinar la calidad del agua de una microcuenca por medio de análisis fisicoquímicos, es la metodología más utilizada, además de ser la que está reglamentada a nivel nacional, si bien es una metodología que permite tener resultados inmediatos y puntuales, no brinda una cobertura más amplia y general de la calidad del recurso hídrico en el tiempo, es por esto que el uso de bioindicadores toma parte fundamental para brindar un diagnóstico mucho más completo, combinar las dos metodologías complementaría en gran medida el resultado final del diagnóstico.

La microcuenca La Tablona está definida como principal fuente de abastecimiento del acueducto del municipio de Yopal, esta tiene un área aproximada de 3000 hectáreas, las cuales mediante Acuerdo 010, expedido por el INDERENA, declara la parte media - baja de la Microcuenca con un área de 1.420 Ha como Reserva Forestal Nacional Protectora, situación que conllevó a que el Ministerio de Agricultura, expidiera la Resolución Ejecutiva No. 245 de octubre 20 de 1981, donde se aprueba el Acuerdo No. 0010 del 31 de marzo de 1981 por la cual se declara área de Reserva Forestal Nacional Protectora Quebrada La Tablona, principal fuente abastecedora del acueducto del municipio de Yopal (Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia [CORPORINOQUIA], 2013).

La parte alta de la microcuenca de la Tablona fue declarada por el Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía, CORPORINOQUIA, mediante el acuerdo 1100.02-2-11-013 de 26 de agosto de 2011, como “Parque Natural Regional de la Orinoquia”. El

área objeto de declaración cuenta con una extensión de 1.620 Ha que corresponde al 54% de la totalidad de la superficie de la microcuenca que cuenta con un área aproximada de casi tres mil hectáreas (CORPORINOQUIA, 2013).

El Concejo Municipal de Yopal, declara el área de la Reserva Forestal Nacional Protectora, La Tablona, como Suelo de Protección y Patrimonio Ecológico, declaratoria recogida por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Yopal 2013, artículo 172; Áreas Naturales Protegidas.

Por otra parte mediante resolución No. 500.41.12 1431 del 31 de octubre del 2012, se prorroga a la Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Yopal EAAAY, la concesión de aguas superficiales a captar de la Quebrada La Tablona, la cual se otorgó mediante resolución No.200.15.0304 de 2004 y modificada mediante resolución No.200.15.05.0518 de 2005, estableciéndose los requerimientos de caudal para el abastecimiento de agua al municipio el cual es de 195 litros por segundo en época de verano y de 400 litros en época de invierno.

Planteamiento del Problema

Suministrar agua potable apta para el consumo humano es un desafío muy grande para el país, debido a la evidente contaminación que presentan las fuentes hídricas del territorio. La contaminación de los ríos en Colombia se debe a diferentes sectores principalmente la minería, la agricultura, la agroindustria, la ganadería, y el sector industrial por el vertimiento sin tratamiento de sus desechos industriales, a esto se suman los vertimientos domésticos y la inadecuada disposición de residuos sólidos que generan los municipios y las grandes ciudades, y las demás actividades humanas que generan impactos negativos directos e indirectos sobre fuentes hídricas, entre ellas la deforestación y la ocupación del territorio.

De los 352 municipios de Colombia que cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el IDEAM (2019) reporta que tan solo el 36% correspondiente a 126 municipios, reportaron información de eficiencia y remoción de carga contaminante, situación preocupante ya que a nivel nacional, la mayor presión por carga contaminante se encuentra en 150 municipios de 87 subzonas hidrográficas, que aportan el 93 % de carga contaminante de demanda biológica de oxígeno, el 90 % de demanda química de oxígeno y el 92 % en sólidos suspendidos totales. Estos resultados permiten concluir la importancia que tiene enfocar los esfuerzos para tratar las aguas residuales domésticas e industriales.

De acuerdo a estudios realizados por Verbel (2017) coordinador del doctorado en toxicología ambiental de la universidad de Cartagena, menciona que se han evidenciado problemáticas de contaminación ambiental en varios ríos del país incluyendo algunos de los principales afluentes como el río Magdalena, el Amazonas, el Atrato, entre otros. La falta de estudios científicos no ha permitido evidenciar las implicaciones adversas que estos

contaminantes tienen en la salud pública; entre los contaminantes presentes en el agua se destacan sustancias tóxicas que tienen la facultad de generar alteraciones celulares que posteriormente afectan los órganos vitales del ser humano, especialmente a las comunidades más vulnerables (personas de la tercera edad, niños y mujeres embarazadas). El agua contaminada transmite enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, de estas enfermedades se calcula que aproximadamente 502.000 personas mueren al año por diarrea según la (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019)

Por otra parte, la falta de una ordenación adecuada de las cuencas hidrográficas en todo el territorio nacional, dificulta la protección y el cuidado de las mismas. Esto debido a la intervención de factores económicos, sociales, ambientales, políticos, conflicto armado, entre otros, los cuales hacen parte de la dinámica de una cuenca hidrográfica y que son determinantes para la toma de decisiones (García-Murillo 2019).

En su orden de importancia se encuentran las microcuencas La Tablona y La Calabozza como cuencas abastecedoras del acueducto municipal, todas las microcuencas del departamento requieren un trabajo interinstitucional de gestión ambiental enfocado en los componentes de Conservación, Protección y Restauración respectivamente (Contraloría Departamental de Casanare, 2013).

La disminución de caudal que se presenta en las fuentes hídricas del departamento específicamente en la microcuenca La Tablona, puede ser provocado por las diferentes actividades agrícolas, que han remplazado los ecosistemas naturales por cultivos de subsistencia (plátano, yuca, mazorca, malanga); pasto, matorral, construcción de infraestructura, ganadería, y deforestación, esto sin tomar las medidas necesarias para compensar este impacto, provocando la pérdida de la capa vegetal, causando consigo degradación del suelo, el bosque y los recursos

hídricos, adicionalmente se generan problemas en la calidad del agua ya que al no haber una cobertura vegetal que proteja el suelo se verá expuesto a las lluvias; donde la escorrentía aportará una mayor cantidad de sedimentos y contaminará con sustancias tóxicas el recurso hídrico, provocando un limitado aprovechamiento del mismo (García-Murillo, 2018a).

De igual forma el IACAL (Índice de Alteración de la calidad del agua) para año seco, muestra un 29% de subcuencas con un alto nivel de vulnerabilidad por contaminación, dentro de las subcuencas que ingresan a clasificación de IACAL muy alto, está la quebrada La Tablona, el aporte de cargas contaminantes en esta Subzona hidrográfica, se da por los vertimientos difusos de la ganadería bovina presente, pese a la declaratoria de Reserva Forestal Protectora de la Quebrada La Tablona (Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia [Corporinoquia], 2018). Por las razones anteriores es necesario generar estrategias que permitan conocer el estado actual de los ecosistemas de forma fácil, rápida y económica, que generen información clave para monitorear la salud ecológica de la microcuenca, siendo esta un insumo para realizar el ordenamiento del territorio. Este proyecto busca dar respuesta a la pregunta: ¿es posible usar estudios de calidad del agua por medio de bioindicadores para iniciar un proceso de ordenamiento hidrográfico?

Objetivos

Objetivo General

Proponer el uso de bioindicadores acuáticos en la quebrada La Tablona para definir la calidad hídrica y la incorporación en su proceso de ordenamiento hidrográfico.

Objetivos Específicos

- Calcular el Índice de Calidad del Agua (Oxígeno disuelto, Demanda Química de Oxígeno, conductividad, potencial de hidrogeno, y sólidos suspendidos totales) para la quebrada la Tablona, basados en análisis físico-químicos, años 2018 y 2019.
- Identificar algunos bioindicadores acuáticos presentes en la microcuenca La Tablona con el fin de determinar la calidad del recurso hídrico.
- Establecer la relación que existe en la utilización de indicadores fisicoquímicos y los indicadores acuáticos.

Justificación

En el Seminario Internacional “Cogestión de cuencas hidrográficas experiencias y desafíos” realizado en el año 2008 por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 2008), se destaca la importancia del agua para el desarrollo de la sociedad no solo en el ámbito social, sino en el económico y el ambiental. De igual manera en el seminario - Taller de expertos: “caudal ambiental: insumo para la sostenibilidad de la prestación de los servicios ecosistémicos”, desarrollado por el Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en Bogotá en marzo del año 2019, se mencionó la seguridad hídrica y la importancia del cálculo de los caudales ecológicos y ambientales, visto desde la perspectiva de la ecohidrología, todo ello enfocado a fortalecer la toma de decisiones en cuanto a la sostenibilidad de los ecosistemas (García-Murillo, 2018b).

En la Política Nacional del Recurso Hídrico escrita y presentada por el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2010, puntualmente en la estrategia 3.3 se prioriza el Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua, orientada a mejorar las prácticas y herramientas de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico, en este caso por medio de la identificación de los bioindicadores acuáticos presentes en las cuencas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Como medio para realizar una gestión eficiente del agua y medir el logro de los objetivos y metas de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), este proyecto está orientado a la búsqueda de mejores herramientas para realizar monitoreos veraces,

económicos, técnicos y validados como son el uso de bioindicadores, los cuales son organismos que con su presencia, sus cambios físicos y/o metabólicos o su definitiva ausencia, pueden revelar el estado en que se encuentra un hábitat; el uso de índices biológicos busca complementar los resultados que se obtienen de los estudios fisicoquímicos tradicionales, los cuales no son suficientes para definir la calidad del medio acuático ya que no se valora la calidad del hábitat físico (Álvarez Arango, 2005).

Es debido a la preocupación de la pérdida de la cantidad y calidad de este recurso, que la Secretaria de Desarrollo Económico Medio Ambiente y Turismo de la Alcaldía Municipal de Yopal, propone la conservación y recuperación de este recurso natural, mediante la declaración de áreas de interés público y particular con el fin de llevar a cabo compra de predios y posteriormente realizar conservación o recuperación mediante diferentes estrategias que conlleven al mejoramiento de los afluentes hídricos y su regulación en las Microcuencas la Quebrada La Tablona, Quebrada La Topocha y Quebrada La Aguatoca. La Alcaldía del municipio de Yopal, para dar cumplimiento a la normatividad ambiental, ha adquirido predios dentro de las áreas de importancia estratégicas de estas microcuencas, con el aval ambiental de Corporinoquia, en la microcuenca la Tablona y La Topocha, con el fin de conservar los recursos naturales, primordialmente el recurso agua para garantizar la oferta del preciado líquido para abastecer el acueducto del casco urbano del municipio de Yopal. La Gobernación de Casanare junto con la Corporación Autónoma de la Orinoquia, Corporinoquia a la fecha han adquirido un total de 7 predios cada uno, para un total de 14 predios, 12 de ellos ubicados dentro de las microcuencas La Tablona y los 2 restantes dentro de la microcuenca la Topocha. (Alcaldía de Yopal, 2018).

A su vez, la alcaldía de Yopal cuenta con un total de 17 predios, de los cuales 9 de ellos son de alto interés para conservación y preservación,| debido a que se encuentran dentro de las áreas de importancia estratégica como son las microcuencas de La Tablona y La Topocha, la primera por ser la principal fuente de abastecimiento del acueducto municipal, y la segunda por ser tributaria del río Cravo Sur, aguas arriba de la bocatoma de la nueva planta de tratamiento de agua potable y por limitar con la microcuenca La Tablona. La adquisición de dichos predios tiene como finalidad, facilitar la conectividad entre las microcuencas y así ampliar y proteger los corredores biológicos para continuar garantizando la oferta de agua para abastecer el acueducto del casco urbano del municipio. Actualmente dentro de esta microcuenca existen 2 predios adquiridos por el municipio, los demás predios se encuentran distribuidos de la siguiente manera: 4 predios en la microcuenca de La Calabozza con un total de área adquirida de 62,64 hectáreas, 3 predios en la microcuenca de la Aguazula con un área adquirida de 110 hectáreas y 1 predio en la microcuenca de la Niata de 67,3 hectáreas (Alcaldía de Yopal, 2018).

Dentro de las cuencas de importancia para el abastecimiento del acueducto del municipio de Yopal, hasta el 2007 se encontraba la microcuenca La Calabozza, debido a que no contaba con los parámetros de cantidad y calidad de agua para abastecer el acueducto, la administración municipal suspendió la captación de dicha fuente. La Secretaria de Desarrollo Económico, Medio Ambiente y Turismo de la Alcaldía Municipal de Yopal, propuso la conservación y recuperación de este recurso natural, mediante la declaración de interés público a las áreas de importancia estratégica en la cual se oficializó mediante el Acuerdo Municipal No. 004 del 28 de Febrero de 2017 “Por medio del cual se delimita y declara de interés público las áreas estratégicas de las microcuencas: la Tablona, Topocha y la Aguatoca, para conservación del recurso hídrico que surte de agua el acueducto municipal de Yopal y se autoriza al alcalde del

municipio de Yopal para contratar la consultoría sobre estudio de títulos, levantamiento topográfico y avalúo, para la adquisición de predios en esta área, previamente avalados por Corporinoquia”

Dada la importancia de la microcuenca La Tablona, y debido a los problemas ya mencionados que presenta, es necesario usar herramientas sencillas y económica que puedan determinar la calidad del agua de ésta de forma rápida y acertada, dichas herramientas pueden ser usadas tanto por la administración municipal o la empresa de servicios públicos de Yopal encargadas de velar por la conservación y el monitoreo de la microcuenca así como los pobladores de la zona que son los que están interactuando constantemente con el ecosistema, este trabajo podrá brindar la información necesaria para la utilización de los bioindicadores como determinantes de la calidad del agua desde la revisión bibliográfica aplicados a la microcuenca La Tablona.

Marco de Referencia

La Quebrada La Tablona, está ubicada en el Departamento del Casanare, al occidente aproximadamente a 14 km de la cabecera del Municipio de Yopal y en jurisdicción del corregimiento del Morro y geográficamente corresponde a la vertiente de la Cordillera oriental. La microcuenca está declarada como Reserva Forestal Protectora Nacional / VI Área protegida con recursos administrados desde el año 1981, se origina en las Cuchillas de las Barras y Peña Alta, entregando sus aguas al río Cravo Sur. De la Tablona se capta agua para la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio. Consta de un área total de 2.722 hectáreas. En esta zona se evidencia la presencia de habitantes de las veredas El Porvenir y Guayaquito del corregimiento del Morro, quienes utilizan el agua para diferentes actividades entre ellas principalmente el consumo humano, seguido de actividades agrícolas por medio de cultivos de subsistencia (plátano, yuca, mazorca, malanga) y terrenos para producción de pasto y matorral, también para la construcción de infraestructura y la ganadería (Contraloría Departamental de Casanare, 2013).

Se encuentra delimitada por la divisoria de aguas de las cuchillas Las Lajas, Peñalisa, Cagüi Charte, Porvenir y una línea imaginaria 800 mts. Aguas arriba de la captación del acueducto que une la cuchilla Peñalisa y la quebrada Topocha, abajo de la cuchilla Las Lajas. Presenta un relieve ondulado quebrado entre 500 y 1.820 metros sobre el nivel del mar.

La vía principal para acceder al área de la Reserva Forestal es la Troncal o Marginal del Llano, que atraviesa el departamento del Casanare de suroeste a noreste por el piedemonte y lo comunica con los departamentos de Meta y Arauca. De esta vía se desprende un ramal que conduce al corregimiento de El Morro, hasta el sitio conocido como la Aguatocha en donde se

desvía hacia el Río Cravo hasta encontrar la estación de la cabaña y desde este último el desplazamiento se puede efectuar por caminos de herradura que se adentran en la Reserva Forestal.

En cuanto a la información fisiográfica de la reserva forestal se puede decir que su área hace parte de la megacuena de sedimentación de los Llanos Orientales, específicamente en un sector con paisajes de origen estructural y denudativo-acumulativo. Allí se pueden diferenciar dos unidades de paisaje; Montañoso Estructural Denudativo y Piedemonte. La pendiente del área de reserva varía drásticamente pasando de pendientes mayores al 100% e inferiores al 5%. El piedemonte constituye la zona de transición entre la llanura bien drenada y la Cordillera Oriental; está formado principalmente por la acumulación heterogénea de materiales producidos por el levantamiento de la cordillera y la erosión. Originalmente en esta región era predominante la selva y el suelo tenía una mayor aptitud forestal. Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia [Corporinoquia]. (s.f.).

Referente a la información geológica de la reserva es importante mencionar que la región presenta un relieve topográfico muy irregular la altitud varía entre los 500 y los 1800 metros sobre el nivel del mar y las pendientes del terreno varían ampliamente. En esta reserva se pueden encontrar unidades de roca que corresponden al cinturón plegado de la Cordillera Oriental, en este predominan sedimentos de edades variables entre el Cretáceo, Terciario y Cuaternario. Corporinoquia. (s.f.).

La literatura menciona que la climatología del área de estudio está determinada por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) con precipitaciones de carácter monomodal, es decir, solo una estación seca y una estación de lluvia en el año; esto se ve influenciado por factores como las ondas de viento del este y las masas húmedas del Brasil, esto permite que se genere una

distribución de lluvias característica de las zonas de piedemonte. Estos factores definen una zona de alta condensación y por lo tanto una mayor incidencia en el régimen pluviométrico de la zona. Es así como el área de estudio presenta un clima tropical muy húmedo y cálido tipo megatérmico. Influenciada por la posición geográfica en su territorio se presentan elevados niveles de temperatura y de lluvias debido a la elevación orográfica significativa y a la formación de enormes masas nubosas provocadas por el ascenso a la cordillera de las corrientes húmedas procedentes del llano, donde se lleva a cabo el proceso de condensación y posterior precipitación. (Corporinoquia, 2018).

La temperatura del área de la microcuenca oscila entre los 20 y los 26°C variando a medida que se pasa desde cerca de los 1800 msnm en las cumbres más altas, hasta cerca de los 500 msnm en la bocatoma o punto de captación.

La temperatura media anual en el aeropuerto de Yopal es de 26,3°C, con mínimos de 22,5°C y máximos de 28,5°C., mientras que en la estación de El Cardón la temperatura promedio multianual desciende a 6.0°C con variaciones entre 4.4°C y 7.7°C. No se establece para El Morro debido a que la estación allí instalada es de tipo pluviométrico (PM). Para una estación ubicada en la parte media de la cuenca del río Cusiana (por similitud en altura sobre el nivel del mar), como es la de Corinto, el promedio es de 18.4°C con un rango de variabilidad entre 16.1°C y 20.5°C.

En Yopal, entre los meses de noviembre a abril se presentan las mayores temperaturas, alcanzando valores de 28,2°C en marzo. El valor más bajo de temperatura se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre, siendo agosto el mes que registra la temperatura más baja del año con 22.1°C.

Como se observa el comportamiento de la temperatura está muy influenciado por la precipitación, de tal forma que en las épocas de fuertes precipitaciones en el área la temperatura desciende a 24.5°C en el mes de julio y en épocas de bajas precipitaciones se presentan altos valores siendo el máximo promedio en el mes de marzo con 26.8°C. (Corporinoquia, 2018).

El análisis de la precipitación para la cuenca de la quebrada La Tablona se realiza con la Información de tres estaciones distribuidas en la parte baja (aeropuerto de Yopal), media (El Morro) y alta (El Cardón). Las precipitaciones en el sector de la cuenca obedecen a un régimen monomodal, periodo de lluvia entre los meses de abril a noviembre y periodo seco entre los meses de diciembre y marzo. El periodo de lluvias es un periodo largo y fuerte de lluvias durante los meses de abril a noviembre, con un promedio de 200 mm de lluvia mensual y con valores aproximados de 3658 mm/año. Los valores máximos se presentan en los meses de junio y julio con un promedio de 350 mm de lluvia en el mes, los valores mínimos de precipitación se presentan en los meses de diciembre y enero con valores mensuales de 45 y 18 mm respectivamente. Los valores mayores de pluviosidad en la cuenca del río Cravo Sur se presentan en la parte alta y media de la cuenca y los menores los cercanos al municipio de Yopal. (Corporinoquia, 2018).

La microcuenca La Tablona se encuentra localizada en el sector correspondiente a la parte media de la cuenca del Río Cravo Sur, afluente del río Meta. En la tabla 2 se observa la hidrografía que compone la microcuenca.

Tabla 2***Hidrografía de la Microcuenca La Tablona.***

Cuenca	Microcuenca	Aportantes
Río Cravor Sur	Quebrada La Tablona	Quebrada Periqueña Quebrada Aguablanca Quebrada la Mula Afluentes Directos

Fuente: PMA la Tablona (2013)

La alta pluviosidad que se presenta en la zona de la microcuenca permite la formación de numerosos ríos y caños los cuales conforman una intrincada red de drenaje que se trasmite a la parte de la sabana llanera, es allí donde se forman esteros y zonas inundables especialmente en la parte baja de los grandes ríos, los denominados humedales conforman sectores con una dinámica fluvial y biótica de especial interés e importancia. En esta región de la Orinoquía se destacan los ríos Ariporo, Pauto, Cravo Sur, Tocaría, Cusiana, Charte y Unete, los cuales son de gran importancia para la región. Corporinoquia. (s.f.).

A pesar de la importancia de la microcuenca para el municipio de Yopal por ser esta, su fuente de abastecimiento. No es objeto de estudio para las entidades ambientales ni municipales a fin de monitorear su comportamiento, determinación de niveles máximos, mínimos y medios o conocer su régimen de caudales. La información recolectada de esta fuente hídrica corresponde a estudios realizados con fines privados principalmente y algunos realizados con fines académicos. Corporinoquia. (s.f.). Por otra parte en la cuenca del río Cravo Sur, de la cual es tributario La Tablona; existen dos estaciones limnimétricas: Puente La Cabaña ubicada en el corregimiento de El Morro y Puente Yopal, instalada en el puente La Cabuya en inmediaciones a Yopal, las cuales monitorean el comportamiento de esta cuenca.

Dentro de dichos estudios se tienen datos en cuanto a la distribución de caudales, el cual es de tipo monomodal a lo largo del año, siendo los meses de mayo a octubre los que presentan los máximos. Dentro de la cuenca de la Tablona se diferencian 3 caudales principales: la Periqueña, principal corriente aportante a la Tablona con 0.808 m³/seg; la quebrada la Mula, con 0.158 m³/seg y, finalmente, La quebrada Aguablanca con 0.134 m³/seg. La Tablona está dividida en 2 trayectos: Tablona alta, con un aporte de 1.109 m³/seg, y Tablona baja, con 0.381 m³/seg. La capacidad de la cuenca a los 550 metros sobre el nivel del mar es de 2.229 m³/seg, con un área planimétrica de captación de 2734.41 Has y un área real de 3.058,37 Has.

Para definir la cobertura vegetal de la zona de estudio, se tuvo en cuenta el sistema de clasificación de zonas de vida de (Holdridge, 1978, como se citó en Corporinoquia, (s.f.). El área de la Reserva Forestal comprende dos zonas de vida: *bosque húmedo Tropical* (bh - T) en la parte baja y *bosque muy húmedo Premontano* (bmh-Pm) en la parte alta.

A continuación, en la tabla 3, se identifican las especies forestales de mayor importancia encontradas en la zona de la microcuenca La Tablona.

Tabla 3

Especies forestales presentes en la microcuenca La Tablona.

No	Nombre Común	Nombre Científico	No	Nombre Común	Nombre Científico
1	Amarillo	<i>Nectandra sp.</i>	14	Guarataro	<i>Vitex orinocensis</i>
2	Alcornoco	<i>Bowdichia virgiloides</i>	15	Guayacán	<i>Lafoensia speciosa</i>
3	Abejón	<i>Astronium graveolens</i>	16	Guadua	<i>Bambusa guadua</i>
4	Arrayán	<i>Myrcia popayanenses</i>	17	Higuerón	<i>Ficus glabrata</i>
5	Canelo	<i>Coccoloba sp.</i>	18	Jobo	<i>Spondias mombin</i>
6	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	19	Laurel	<i>Nectandra macrophylla</i>

7	Nauno	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	20	Samán	<i>Samanea saman</i>
8	Cedro Macho	<i>Bombacopsis quinata</i>	21	Palo santo	<i>Triplaris americana</i>
9	Cedro rosado	<i>Cedrella odorata</i>	22	Sauce	<i>Sáliz humboldtiana Willd.</i>
10	Cañafistol	<i>Cassia fístula</i>	23	Yopo	<i>Piptadenia sp.</i>
11	Caucho	<i>Ficus sp.</i>	24	Yarumo	<i>Cecropia sp.</i>
12	Comino	<i>Ocotea sp.</i>	25	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
13	Flor amarillo	<i>Tecoma stans</i>	26	Guamo	<i>Inga sp.</i>

Fuente: PMA la Tablona (2013)

Dentro del área de la Reserva Forestal se encuentran unidades de cobertura con diferentes grados de desarrollo; en las zonas de terraza de los drenajes, particularmente de la quebrada La Tablona y/o sobre áreas planas se encuentran establecidas áreas con pastos y áreas de cultivos, mientras que en las zonas quebradas, altas, de difícil accesibilidad correspondientes a bosque premontano, la cobertura corresponde a vegetación boscosa con una intervención definida por la extracción selectiva de especies. Corporinoquia. (s.f.).

En la Tabla 4, se representa el área y porcentaje de superficie de cada una de las áreas dentro del área de la Reserva Forestal Protectora La Tablona.

Tabla 4

Unidades de cobertura vegetal presentes en el área de la RFPLT.

Grandes Areas	Unidades De Cobertura	Área (Ha) %
Cobertura Arborea	Bosque natural intervenido (Bni)	25
	Bosque Plantado (Bp)	0,08
Cobertura Arbustiva – Herbácea	Rastrojo alto (Ra)	10,56
	Rastrojo bajo (Rb)	3,63
Cobertura Herbácea	Pastos limpios - manejados (Pl)	53,13
	Pastos naturales (Pn)	3,04
Tierras agrícolas	Cultivos (Cu)	3,54

Áreas sin vegetación	Suelos desnudos (Sd)	0,2
Total Área De La Reserva Forestal		100

Fuente: Corporinoquia. (s.f.).

En la Tabla 5. Se muestran las especies de fauna encontradas dentro de la microcuenca y se tienen los siguientes registros de especies de mamíferos, aves y reptiles dentro del área.

Tabla 5

Especies faunísticas presentes en la microcuenca La Tablona.

Mamíferos			
Nombre Común	Nombre científico	Nombre Común	Nombre científico
Oso melero	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Murciélago zorro	<i>Phyllostomus bastatus</i>
Cachicamo	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Murciélago Frutero	<i>Carollia persipifillata</i>
Zaino	<i>Tayassu tajacu</i>		
Lapa	<i>Agouti paca</i>	Murciélago Frutero	<i>Carollia persipifillata</i>
Ardilla	<i>Sciurus granatensis</i>	Pumas	<i>Phantera onca</i>
Mico maicero	<i>Cebus albifrons</i>	Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>
Reptiles			
Nombre Común	Nombre científico	Nombre Común	Nombre científico
Cuatronarices	<i>Bothrops atrox</i>	Coral	<i>Micrurus sp</i>
Taya x	<i>Bothrops asper</i>	Tigra verrugosa	<i>Lachesis muta</i>
Patoca	<i>Porthidium sp</i>	Cazadora	<i>Clelia clelia</i>
Rabo de ají	<i>Micrurus mipartitus</i>	Iguana	<i>Iguana iguana</i>
Güio	<i>Boa constrictor</i>		
Aves			
Nombre Común	Nombre científico	Nombre Común	Nombre científico
Perico carilucio	<i>Aratinga pertinax</i>	Gavilán culebrero	<i>Herpetotheres cachinanns</i>
Tucán	<i>Ramphastos tucanus</i>	Cernícalo	<i>Gamponyx swainsonii</i>
Carpintero barbirayado	<i>Drycopus lineatus</i>	Arrendajo común	<i>Cacicus cela</i>
Carpintero pico amarillo	<i>Campephilus melanoleucus</i>	Mochilero	<i>Psarocolius decumanus</i>
Carpintero negro azul	<i>Melanerpes cruentatus</i>	Monjita	<i>Agelaius icterocephalus</i>
Bobito	<i>Hypnellus ruficolis</i>	Chenchena	<i>Opisthocomus oazin</i>

Trepatroncos cuelliblanco	<i>Xiphorhynchus picus</i>	Garza blanca	<i>Egretta tula</i>
Soledad de cola blanca	<i>Trogon viridis</i>	Corocora roja	<i>Eudocimus ruber</i>
Duende	<i>Arundinicola leucocephala</i>	Martín pescador	<i>Choroceryle amazona</i>
Sirirí	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Garrapatero	<i>Crotophaga ani</i>
Trepatroncos marrón	<i>Dendroclica furriginosa</i>	Tijereto	<i>Tyrannus savana</i>
Mirla	<i>Turdus ignobilis</i>	Zamuro	<i>Coragypus atratus</i>
Guacharaca	<i>Ortalis ruficauda</i>	Yátaro	<i>Hypenelus ruficollis</i>
Pava de monte	<i>Penelope argyrotis</i>	Perdiz	<i>Colinus cristatus</i>
Cucarachero bicolor	<i>Campylorhynchus griseus</i>	Torcaza	<i>Columba cayennensis</i>

Fuente: PMA La Tablona (2013)

Los conflictos de uso de suelo se determinan por la necesidad de saber si una actividad que se realice sobre un tipo o unidad de suelo, genera degradación o no en él, o si por el contrario la actividad genera un desaprovechamiento en su uso. Infortunadamente, los usos que se le dan al suelo en la actualidad no corresponden a lo planteado en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Es por esto que las áreas con alto nivel de conflicto se han generado por la actividad ganadera en tierras donde su uso recomendado es forestal (García-Murillo, 2014). La deforestación, el sobrepastoreo y la renovación de pastos mediante quemas, están causando serios problemas de degradación de los suelos. Especialmente en la parte alta y media de la cuenca. En la parte baja de la cuenca se presenta un nivel medio de conflicto ya que se encuentran áreas cubiertas de bosque que tienen la función de proteger el cauce, sin embargo, estas áreas tienen a su alrededor pastos para ganadería. Corporinoquia. (s.f.).

La caracterización social en la microcuenca La Tablona está dada por la ocupación y la intervención con fines económicos particularmente en las veredas Porvenir y Guayaquito, en la primera sus habitantes residen en otras zonas y ocasionalmente hacen presencia en el predio o lo hacen a través de terceros; en la segunda, por el contrario la mayoría de la población reside y

desarrolla actividad social y económica de manera permanente en el predio, aproximadamente el 66% de las familias y un 34% de estos residen en otras zonas. Corporinoquia. (s.f.). En la tabla 6 se muestra la distribución de géneros de la población que habita dentro de la microcuenca, se resalta que es el género masculino es el de mayor presencia.

Tabla 6

Distribución de Género.

Sector (Vereda)	Sexo	
	Hombre	Mujer
Guayaquito	108	80
Porvenir	30	20
Total	138	100

Fuente: Corporinoquia. (s.f.).

La información sobre la fuente de agua de la cual se abastecen para sus necesidades primarias indica que el 67% de los predios extraen el agua de un nacedero, el 31% de una quebrada y el 2% de una acequia. En cuanto al saneamiento básico, solo el 65% de las viviendas cuentan con conexión a pozo séptico y punto para ducha. El 35% no cuentan con unidad sanitaria y sus necesidades fisiológicas se realizan al aire libre.

En los predios no se tiene acceso a servicios públicos básicos (gas, energía eléctrica y acueducto), es por esta situación que el 97.6% de la población utiliza la leña o carbón de madera como principal fuente de combustión, lo que es un indicador de la fuerte presión ejercida sobre las maderas en el área. El manejo de residuos sólidos es deficiente, el 64% son dejados en campo abierto, el 28% se quema y el 8% se entierra en el suelo. Corporinoquia. (s.f.).

En cuanto a los temas de salud de los habitantes de la microcuenca, se destaca que las principales causas de morbilidad se deben a problemas epidemiológicos entre ellos: enfermedad

diarreica aguda y poliparasitismo intestinal, provocados especialmente por las deficientes condiciones de habitabilidad que presentan la mayoría de las viviendas. Corporinoquia. (s.f.).

La principal actividad económica de los habitantes de la microcuenca La Tablona es la agricultura, seguida de la ganadería, sin embargo, para los propietarios de predios pequeños los ingresos mensuales generados por estas actividades, son insuficientes para lograr satisfacer sus necesidades básicas, mientras que los propietarios de predios de mayor tamaño tienen una mejor solvencia económica. Corporinoquia. (s.f.).

En cuanto a la actividad agrícola, se hacen quemas en las áreas escogidas para la siembra de productos como el plátano, yuca, maíz, frijol, aguacate, malanga, cacao, entre otros, los cuales en su mayoría son destinados para el consumo familiar, no obstante, algunos de estos productos se comercializan en el mercado público. Corporinoquia. (s.f.). Por otra parte la producción agropecuaria tiene efectos adversos en el medio ambiente, aportando una gran cantidad de contaminantes al agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas (García-Murillo, 2015). También son la mayor fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nitroso, además de aportar otro tipo de contaminantes que afectan la calidad del aire.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2002).

Según un inventario global que se realizó en el año 2010, por Hydrology and Earth System Sciences, la agricultura es el mayor usuario de agua dulce, se dice que cerca del 70% del agua superficial es destinada para este servicio. El uso industrial (incluye la generación de energía el cual regresa aproximadamente el 95% del agua que utiliza) es alrededor del 20% y tan solo un 10% para uso doméstico. Gestión sostenible del agua [gidahatari]. (2013).

Marco Teórico

La ordenación y el manejo adecuado de las cuencas hidrográficas se entiende como “el proceso de planificación, permanente, sistemático, previsorio e integral adelantado por el conjunto de actores que interactúan en y con el territorio de una cuenca, conducente al uso y manejo de los recursos naturales de esta, de manera que se mantenga o restablezca un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura y la función físico biótica de la cuenca”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2014).

La sostenibilidad ambiental de las cuencas depende de las actividades antrópicas que se presenten en ella. El agua se usa como insumo o como materia prima en los procesos productivos y toda o una parte de esta retorna al sistema. Los retornos de agua incluyen las pérdidas, los vertimientos y las descargas de agua turbinada. (IDEAM, 2018). Para esto es fundamental hablar del concepto de la huella hídrica, el cual permite determinar los impactos de un proceso antrópico sobre el agua, respecto a la cantidad o la calidad, para lo cual se definen tres componentes del concepto: las huellas hídricas verde, azul y gris. Los dos primeros se relacionan con el impacto en la cantidad de agua y la huella hídrica gris se relaciona con el impacto sobre la calidad del agua. (IDEAM, 2018). Este último, en el cuál se concentra este trabajo de grado.

Los bioindicadores más apropiados para determinar la calidad del agua de una fuente hídrica, son aquellos sensibles a los cambios físicos y químicos de su entorno, llevando a que sus límites de tolerancia sean bastante estrechos, lo cual los hace ideales para ser usados al evaluar la magnitud de las alteraciones causadas por el ser humano en un ecosistema. Los bioindicadores más utilizados en Colombia son los macroinvertebrados, debido a su abundancia, facilidad en su

recolección, su amplia distribución, son de hábitos sedentarios, revelan fácilmente las condiciones de su hábitat, son fáciles de identificar, representan los efectos de las variaciones ambientales a corto tiempo, proporcionan información para integrar efectos acumulativos, poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses) se reconocen a simple vista, también pueden cultivarse en laboratorio, responden rápidamente a los cambios ambientales y varían poco genéticamente. (Roldan Pérez, 2016).

El monitoreo, vigilancia y control de las cuencas hidrográficas se puede llevar a cabo según (Álvarez Arango, 2005). De manera fácil, rápida, sencilla y económica; a nivel mundial se han usado varios organismos para realizar dicho diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua, como, por ejemplo: las bacterias como indicadores de contaminación fecal por descarga reciente de desechos; los peces que han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos de Norteamérica; Vásquez et al. (2006). Y las plantas acuáticas (macrofitas) las cuales obedecen a requerimientos biológicos elevados y una sensibilidad a los cambios de calidad en las condiciones fisicoquímicas del agua, como por ejemplo las variaciones en la presencia de nutrientes, de ciertos contaminantes químicos, a los niveles de eutrofización y de anoxia en las aguas o a los cambios de salinidad, turbidez o temperatura de la misma. ([Los Macrófitos], 2016).

(Lozano Ortiz, 2005). Definió la Importancia de los Macroinvertebrados en la Cuenca Alta del Río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. Allí pudieron sectorizar la calidad del agua de las quebradas y arroyos que componen la cuenca y que las variaciones de una época climática a otra se atribuyen a los cambios fisicoquímicos que tienen las corrientes de agua; de igual forma (Patiño Pescador, 2015). evaluó la calidad del agua por medio de bioindicadores

macroinvertebrados acuáticos en la quebrada la vieja en donde encontraron especies indicadoras de aguas oligotróficas, es decir, aguas claras pero bajas en nutrientes además, La quebrada La Vieja en el tramo de estudio obtuvo calidad de agua óptima para el tramo de la zona urbana la calidad fue baja, esto se deduce ya que el número de individuos identificados fue mínimo y los encontrados tienen adaptaciones a cuerpos de agua con contaminación, a diferencia de los puntos en la zona de reserva los cuales se encontraron en su mayoría Trichopteros los cuales requieren de aguas oxigenadas y limpias.

En la tabla 7 que se muestra a continuación se hace una pequeña recopilación histórica de los macroinvertebrados acuáticos utilizados más comúnmente en Colombia, como indicadores de calidad del agua de un cuerpo lótico.

Tabla 7

Recopilación histórica del uso de macroinvertebrados en Colombia.

Bioindicadores	Ubicación Geográfica
Phylum Platyhelminthes (Turbelarios). Género (Dugesia) (Planariidae)	Antioquia en los ríos Medellín y Rionegro
Phylum Annelida Hirudinea Familias Naidae Tubificidae (tubifex)	Zona alto andina de los páramos
Phylum Arthropoda Clase Insecta	
Orden Ephemeroptera. Familias: Leptohyphidae, Baetidae, Caenidae, Leptophlebiidae y Polymitarcyidae	Antioquia y otras regiones del país
Orden Odonata. Familias: Libellulidae (Anisoptera), Coenagrionidae (Zigoptera)	Antioquia, Santa Marta, Boyacá, Valle del Cauca y zonas del Pacífico y el Atlántico
Orden Plecoptera familia Gripopterygidae y el género Claudioperla Perlidae, géneros Klapalekia, Anacroneuria Neotrópico y Macrogynoplax	Los andes al sur de Nariño Los Andes orientales de la Sabana de Bogotá. Región amazónica
Orden Hemiptera (Chinches de agua) Familias: Naucoridae y Veliidae Entre los Heteroptera, los	Llanos Orientales, Antioquia, Risaralda, Quindío, Nariño, Valle del Cauca, centro y suroccidente del país.

<p>Gerrormorpha constituyen el grupo mejor conocido en el país</p> <p>Orden Coleoptera.</p> <p>Familias: Elmidae (Géneros Heterelmis, Macrelmis, Cylloepus, Microcylloepus, y Disersus), Ptilodactylidae y Psephenidae</p> <p>Orden Megaloptera</p> <p>Familia: Corydalidae y el género Corydalus</p> <p>Orden Trichoptera.</p> <p>Familias: Hydropsychidae y Leptoceridae e Hydroptilidae</p> <p>Orden Lepidoptera</p> <p>Familia Piralidae</p> <p>Orden Diptera</p> <p>Familia: Chironomidae, Simuliidae y Ceratopogonidae</p>	<p>Cuenca Magdalena-Cauca y el Urabá antioqueño, además de los departamentos de Tolima, Valle del Cauca, suroccidente y centro del país.</p> <p>Todo el país</p> <p>Región Natural Andina</p> <p>Canal de Panamá</p> <p>Tabanidae en el Choco y Valle del Cauca. Antioquia.</p> <p>Genéros de Chironominae, Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae, Sabana de Bogotá.</p>
Phylum Arthropoda Clase Crustacea	
<p>Orden Decapoda (Cangrejos de agua dulce).</p> <p>Familias Trichodactylidae de zonas geográficas bajas y Pseudothelpusidae de regiones de montaña</p> <p>Phylum Mollusca</p>	<p>Familia Pseudothelpusidae, género Neostrengeria en la cordillera oriental de Colombia.</p> <p>caracoles pulmonados de agua dulce en la sabana de Bogotá y los moluscos de la reserva ecológica del Cerro San Miguel en Medellín</p>

Fuente: (Roldan Pérez, 2016)

Lo mostrado en la tabla anterior es un ejemplo de la utilización de los bioindicadores acuáticos como herramienta aceptada para realizar estudios complementarios a la calidad del recurso hídrico en los ecosistemas lóticos del país; siendo esta una alternativa para el diagnóstico y monitoreo de las alteraciones físicas y químicas del agua, y la disminución de las problemáticas asociadas al impacto generado por las diferentes actividades que se desarrollan en las cuencas hidrográficas, lo cual tiene como finalidad, aportar información para realizar una adecuada gestión y ordenación del territorio.

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que

se necesita invertir. El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, es decir, las familias más tolerantes reciben el valor más bajo en la escala y las familias más sensibles el valor más alto. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. (Roldan Pérez, 2016).

En Colombia los trabajos de bioindicación inician en la década de los setenta, diferentes autores a través de la historia han trabajado con macroinvertebrados para determinar la calidad del agua, para ello realizaron adaptaciones al método BMWP. Roldan en el 2003 propone el BMWP/COL para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña. En la tabla 8, que se muestra a continuación, se aprecia el resultado de su investigación con este método.

Tabla 8

Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohephidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae.	1

Fuente: (Roldan Pérez, 2016)

Marco Conceptual

Conceptos relacionados con Cuenca Hidrográfica

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2012).

Como subsistema biofísico la cuenca está constituida por una oferta ambiental en un área delimitada por la línea divisoria de aguas y con características específicas de clima, suelo, bosques, red hidrográfica, usos de suelo, componentes geológicos, etc. Como subsistema económico la cuenca presenta una disponibilidad de recursos que se combinan con diversas técnicas para producir bienes y servicios; es decir, en toda cuenca existen alguna o algunas posibilidades de explotación o transformación de recursos. Como subsistema social involucra las comunidades humanas asentadas. En su área demográfica, acceso a servicios básicos, estructura organizativa, actividades, entre otros, que necesariamente causan impactos sobre el ambiente natural. También incluye el conjunto de valores culturales tradicionales y creencias de las comunidades asentadas.

Morfometría de Cuencas.

Una cuenca está formada por un entramado de ríos, arroyos y/o barrancos de mayor o menor entidad que conducen los flujos de agua hacia un cauce principal, que es el que

normalmente da su nombre a la cuenca; su perímetro es una línea curvada y ondulada que recorre la divisoria de vertido de aguas entre las cuencas adyacentes. Ibáñez et al. (s.f.)

El agua que se mueve por toda la superficie o el subsuelo de una cuenca hidrográfica hasta llegar a formar la red de canales constituye el sistema fluvial o red de drenaje de la cuenca. Ibáñez et al. (s.f.)

Cuencas hidrográficas como unidad de planeación.

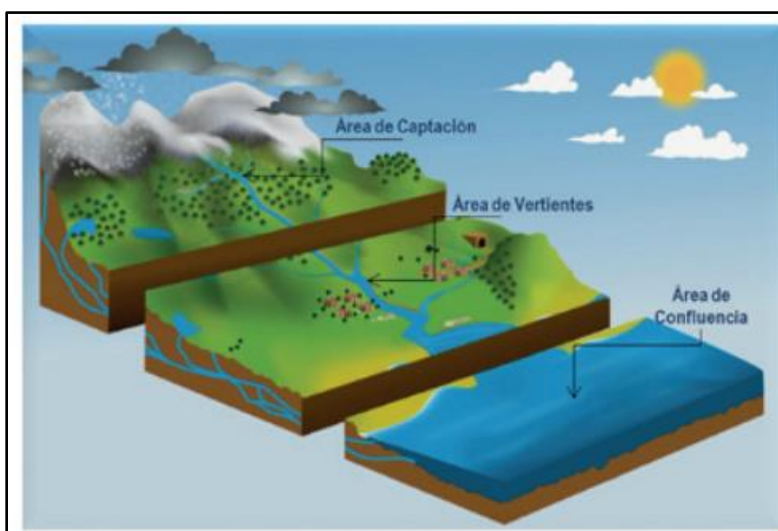
Microcuencas. Según (Minambiente, 2012) citado por (Minambiente, 2018), “Una microcuenca es aquella cuenca que está dentro de una Sub zona hidrográfica o su nivel subsiguiente, cuya área de drenaje es inferior a 500 Km²”, “corresponde al área de aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica 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; la microcuenca está delimitada por la línea del divorcio de las aguas.” (Minambiente, 2018).

Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales y un número de familias que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes (agua, servicios básicos, Infraestructura, organización, entre otros.).

Para un manejo ambiental adecuado de una microcuenca, esta se analiza de arriba hacia abajo, en lo que se denomina clasificación vertical, bajo este criterio la microcuenca presenta las siguientes partes (Figura 1).

Figura 1

Partes de una Microcuenca.



Fuente: Minambiente, 2018

El área de captación o zona productora de agua se encuentra en la parte alta de la microcuenca, es decir en los sistemas montañosos que la rodean, los cuales son de vital importancia para la conservación por las coberturas vegetales existentes que tiene como función la regulación hídrica.

En la parte media de la microcuenca se encuentra el área de vertientes, está conformada por las partes medias de las montañas, cerros o colinas que la rodean. En este sector afloran las aguas subterráneas filtradas a través del suelo y se pueden apreciar quebradas y arroyos bien conformados y de mayor caudal.

La parte baja de la microcuenca se denomina área de confluencia o zona receptora de agua, está conformada por las partes bajas de las montañas y las vegas de los ríos. En este sector se unen todas las quebradas, arroyos, riachuelos, en torno al río principal. Éste último sigue su camino uniéndose a otro río o llegando directamente al mar. (Minambiente, 2018).

El Concepto de los Bioindicadores en la Ecología.

Morais et al. (2009, Como se citó en Morales Salinas, 2011). Afirmaron que los bioindicadores son organismos o comunidades de estos, que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat. Es decir, que son sensibles a pequeñas variaciones en los factores físicos y químicos del medio en el que viven.

Los bioindicadores miden los efectos de la contaminación en el ambiente y en los propios seres vivos, por tanto, ofrecen información sobre los riesgos para otros organismos, el ecosistema y también para el ser humano (Anze et al, 2007, como se citó en Morales Salinas, 2011).

Aceptación de los Macro Invertebrados Acuáticos Como Bioindicadores.

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos cuyo tamaño oscila entre los 0.5 y los 5.0 milímetros, se les puede observar a simple vista. Viven en el fondo de los ríos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas. Sus poblaciones están conformadas por platelmintos, insectos, moluscos y crustáceos principalmente. (Roldan Pérez, 2016). Son considerados actualmente como los mejores organismos indicadores de calidad del agua, por su fácil recolección, su tamaño, su amplia distribución y su fácil adaptación a las diferentes variables fisicobióticas. En los últimos años el concepto de calidad del aguas ha cambiado paulatinamente de un enfoque netamente fisicoquímico a uno que integra todos los componentes del ecosistema.” (Lozano Ortiz, 2015).

Cuando se refieren a cuáles son las características ideales de un buen bioindicador, se observa que solo unos pocos organismos puedes cumplir con estos requerimientos. Muchos autores consideran los macroinvertebrados acuáticos como los mejores bioindicadores de la

calidad del agua, le siguen en su orden las algas, los protozoos, las bacterias y en menor grado los peces, las macrófitas, los hongos y los virus. (Álvarez Arango, 2005).

Roldán (2003) argumenta que los macroinvertebrados bentónicos son buenos bioindicadores debido a que: son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar, tienen comportamientos sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones locales, son relativamente fáciles de identificar, comparados con otros grupos, como las bacterias, los virus, entre otros; los efectos de las variaciones ambientales se evidencian en tiempos cortos, proporcionan información para integrar efectos acumulativos, sus ciclos de vida son largos, se pueden apreciar a simple vista, se pueden cultivar en el laboratorio, responden rápidamente a los cambios ambientales y finalmente varían poco genéticamente.

Tipos de Hábitat de los Macroinvertebrados Acuáticos.

En los ecosistemas dulceacuícolas los macroinvertebrados viven tanto en aguas lólicas (ríos, arroyos, quebradas) como en aguas lénticas (lagos, lagunas, ciénagas, embalses, etc.) El hábitat es el lugar específico en que vive un organismo y en los ecosistemas acuáticos, éstos son muy heterogéneos y a cada uno de ellos corresponde a una comunidad determinada. En los ecosistemas lólicos algunos macroinvertebrados viven adheridos a la superficie de rocas, pequeñas piedras, troncos sumergidos o restos de vegetación; otros habitan en las orillas, adheridos a la vegetación emergente o sumergida; unos viven sobre la superficie del agua, mientras que otros nadan en ella como los peces. Otros se entierran en sustratos arenosos, fangosos o pedregosos. Unos prefieren corrientes rápidas, para lo cual los organismos tienen adaptaciones corporales como ganchos, ventosas y cuerpos aplanados para resistir la velocidad de la corriente; otros habitan en remansos.

En los ecosistemas lóticos se esperan mayores valores de diversidad de macroinvertebrados en los tramos de la corriente con mayor heterogeneidad del sustrato, mientras que en los tramos donde el sustrato es uniforme o existe una mayor homogeneidad del lecho de la corriente, la diversidad será menor. En los ecosistemas lénticos los macroinvertebrados habitan principalmente el área litoral y las raíces de las plantas acuáticas flotantes. En la zona litoral de los embalses son escasos, ya que el nivel del agua fluctúa permanentemente. La zona profunda de los lagos por lo regular ofrece condiciones estresantes por la falta de oxígeno y por la acumulación de gases tóxicos, por eso la fauna que allí se encuentra en la mayoría de los casos es poco variada, pero los individuos presentes pueden ser abundantes.

Debido a lo anterior, es importante que cuando se realicen estudios para evaluar la calidad del agua, éstos deban considerar todos los posibles hábitats presentes en área de muestreo. (Álvarez Arango, 2005).

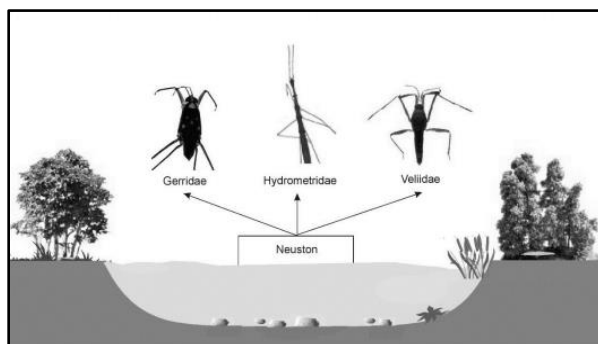
Modos de Vida de los Macroinvertebrados Acuáticos.

Los macroinvertebrados reciben diferentes nombres de acuerdo con el tipo de adaptación que presenten, ya que pueden vivir en el fondo, en la superficie o nadar libremente.

Neuston. Son los organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, sus patas y su exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que, en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial. Entre los representantes están las familias *Gerridae*, *Hydrometridae* y *Veliidae* del Orden Hemiptera (Figura 2). (Álvarez Arango, 2005).

Figura 2

Familias *Gerridae*, *Hydrometridae* y *Veliidae* del Orden *Hemiptera* como ejemplo de *Neuston*.

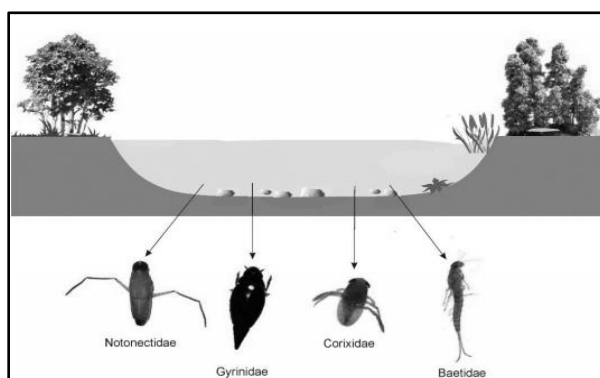


Fuente: Álvarez Arango, 2005

Necton. Son los organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran las familias *Corixidae* y *Notonectidae* del orden *Hemiptera* (*Heteroptera*); *Dytiscidae*, *Gyrinidae* e *Hydrophilidae* del orden *Coleoptera* y *Baetidae* del orden *Ephemeroptera*. (Figura 3). (Álvarez Arango, 2005).

Figura 3

Macroinvertebrados como ejemplo de *Necton*.



Fuente: Álvarez Arango, 2005

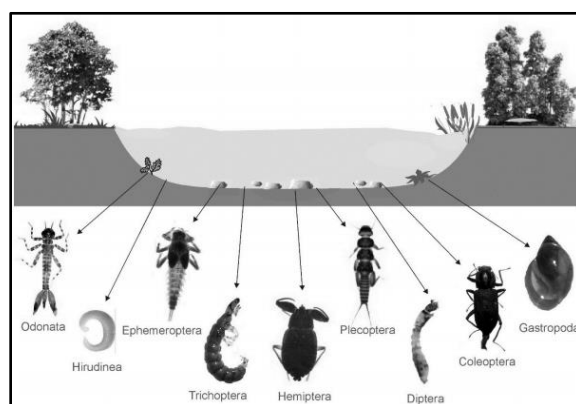
Bentos. Son todos aquellos organismos que viven en el fondo, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y otros sustratos. Los principales representantes son:

Ephemeroptera, *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Megaloptera*, *Diptera*, *Mollusca* y algunos *Hemiptera*

(Heteroptera, entre otros) Otros, como la familia Blephariceridae (Diptera), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonata (Zygoptera) se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente. (Figura 4). (Álvarez Arango, 2005).

Figura 4

Macroinvertebrados representantes de los bentos en un ecosistema acuático.



Fuente: Álvarez Arango, 2005

Marco Legal

En la tabla 9, se presenta todo el marco legal relacionado al proyecto.

Tabla 9

Marco Legal.

Decreto/Ley/Resolucion	Descripcion
Constitución política de Colombia de 1991	<p>Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines</p> <p>Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p> <p>Artículo 317: Solo los municipios podrán gravar la propiedad inmueble. Lo anterior no obsta para que otras entidades impongan contribución de</p>

	valorización. La ley destinará un porcentaje de estos tributos, que no podrá exceder del promedio de las sobretasas existentes, a las entidades encargadas del manejo y conservación del ambiente y de los recursos naturales renovables, de acuerdo con los planes de desarrollo de los municipios del área de su jurisdicción.
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección al medio ambiente
Acuerdo 010 de 1981	Por el cual se declara zona de reserva forestal protectora de la cuenca La Tablona en el municipio de Yopal, intendencia de Casanare
Resolución 245 de 1981	Por la cual se aprueba el Acuerdo N° 10 de 1981, de la junta directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del ambiente (INDERENA), por el cual se declara zona de reserva forestal protectora de la cuenca La Tablona en el municipio de Yopal, intendencia de Casanare.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamentan los usos del agua y residuos líquidos.
Acuerdo 030 de 1991	Por el cual se amplía y realindera el área de reserva forestal protectora de la cuenca hidrográfica de la quebrada La Tablona, ubicada en la jurisdicción del municipio de Yopal, intendencia del Casanare
Ley 99 de 1993	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.
Ley 388 de 1997	Ley de Ordenamiento Territorial.
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
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.
Decreto 1076 de 2015	Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

Fuente: Autores

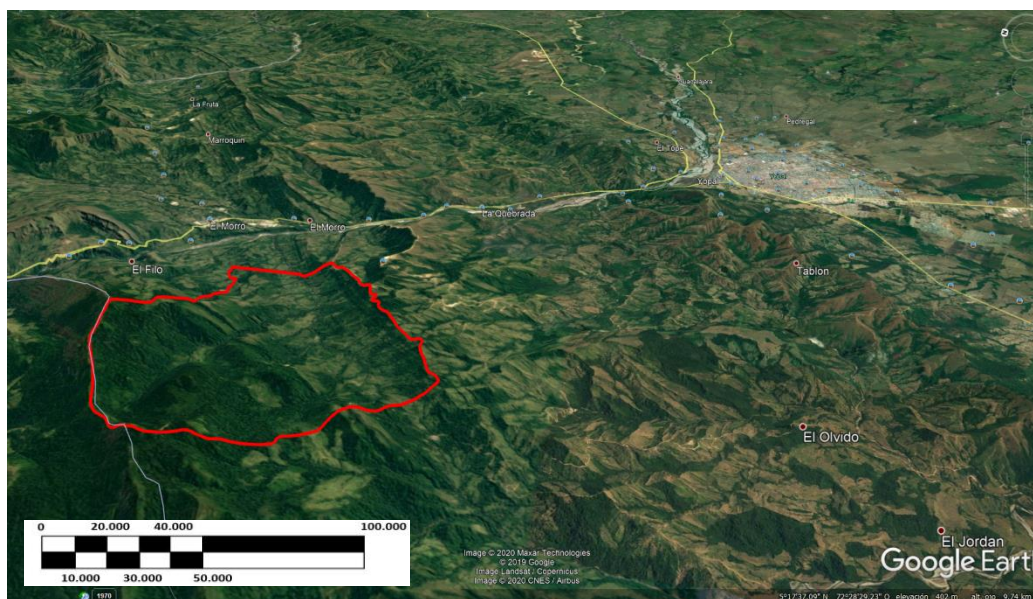
Metodología

Área de estudio

En la figura 5 se describe el área objeto de este estudio, allí se muestra delimitada la microcuenca La Tablona en color rojo y se muestra su cercanía con la cabecera municipal de Yopal.

Figura 5

Microcuenca La Tablona.



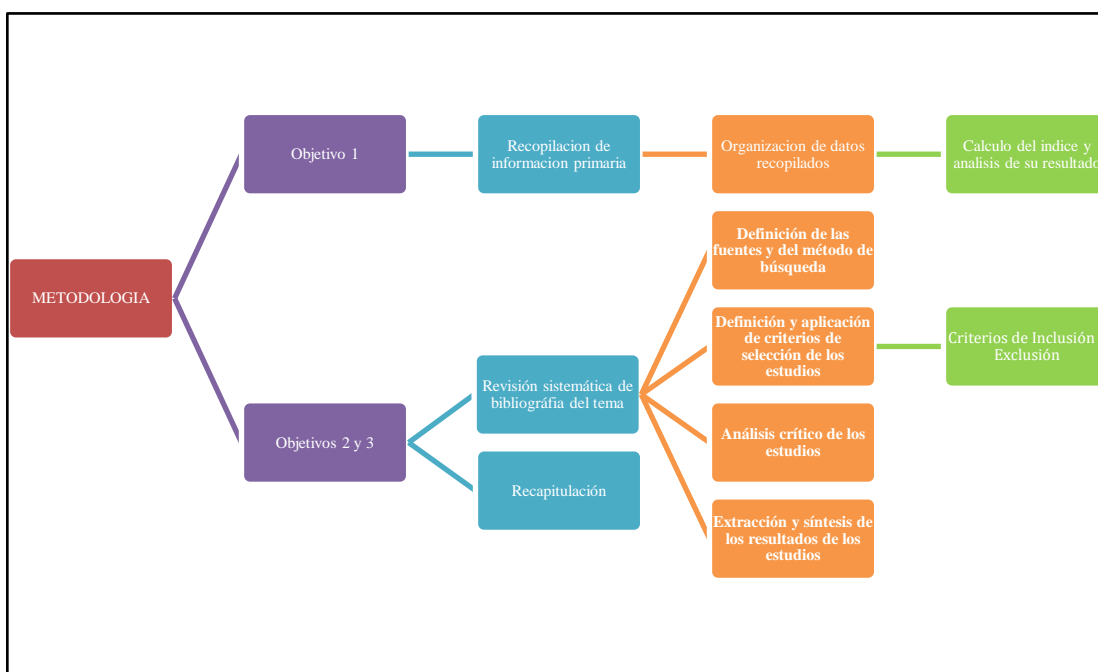
Fuente: Parques Nacionales Naturales [PNN], Registro único nacional de Áreas Protegidas [RUNAP], (2018).

La metodología que se usó para la ejecución de este proyecto se dividió en dos partes, la primera para desarrollar el objetivo 1, el cual se basó en la recopilación de información primaria de análisis físico-químicos realizados en la quebrada La Tablona en los años 2018 y 2019, con el fin de calcular el índice de calidad del agua ICA y analizar sus resultados; en la segunda parte para el desarrollo de los objetivos 2 y 3, como se muestra en la figura 6, esta se basa en un

análisis sistemático de bibliografía relacionada con el uso de bioindicadores para la determinación de la calidad del agua que se menciona en (Araujo Alonso, 2011), y se desarrolla a continuación.

Figura 6

Esquema Metodológico.



Fuente: Autores

Parte 1

Recopilación de información

En esta fase de la metodología se obtuvo información de análisis físico-químicos realizados en la quebrada La Tablona desde el año 2014 hasta el año 2019, esta información fue suministrada por la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Yopal, encargada de la planta de tratamiento de agua potable del municipio. Los muestreos fueron realizados por el laboratorio

AQUALIM, el cual se encontraba acreditado por el IDEAM según resolución 2371 del 25 de septiembre de 2012.

Organización de datos recopilados

En esta fase, se realizó una depuración de la información tratando de elegir los años en los cuales se realizaron los muestreos con mayor representatividad en tiempo y parámetros medidos, adicional a esto se buscó que se contara con la información de los parámetros que se requerían para el cálculo del ICA, los cuales eran: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y potencial de hidrogeno, esto debido a que algunos de los muestreos no contenían estos parámetros.

Cálculo del índice y análisis de su resultado

Para realizar el cálculo del índice ICA se implementó la metodología descrita por el IDEAM, donde se generaron graficas que representan los resultados obtenidos, y así poder analizar el grado de contaminación de la quebrada y a la vez determinar cuál de los parámetros involucrados tenía mayor incidencia en los resultados.

Parte 2

Revisión Sistemática del Tema

Para iniciar con la ejecución del proyecto es necesario recolectar información ya existente de los diferentes estudios realizados en el país en cuanto al uso de bioindicadores acuáticos para la determinación de la calidad del agua en el transcurso del tiempo. (Araujo Alonso, 2011).

Es necesario realizar una revisión sistemática con el objetivo de reforzar la investigación que intente identificar todos los estudios relacionados al tema; las revisiones sistemáticas son el mejor esfuerzo para recopilar y sintetizar evidencia científica sobre un tema.

Definición de las Fuentes y del Método de Búsqueda

En esta fase la revisión se inicia con una búsqueda exhaustiva de la literatura publicada y no publicada; esta búsqueda contemplará:

- Bases de datos científicas como Scielo, Google académico, EBSCO, Dialnet, ScienceDirect, JSTOR, entre otros en las que pudieran estar registrados trabajos sobre el tema.
- Revistas indexadas y no indexadas
- Contacto con autores y busca de trabajos no publicados (tesis universitarias).
- Presentaciones en los principales congresos o seminarios y otras fuentes específicas como documentos públicos.

La búsqueda en las bases de datos se realizará utilizando técnicas específicas que se basan en la identificación de palabras clave y el uso de filtros metodológicos.

Definición y Aplicación de Criterios de Inclusión/Exclusión

Según (Araujo Alonso, 2011) Habiéndose extraído todas las referencias posibles de estudios primarios sobre el tema, el paso siguiente es: seleccionar entre estas, solo aquellas que cumplan ciertos requisitos mínimos (criterios de selección), estos criterios de Inclusión y exclusión se muestran en la tabla 10 y son los que definen que tipo de documento es útil para iniciar el análisis del proyecto.

Tabla 10***Criterios de Inclusión/Exclusión.***

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Revistas reconocidas por Colciencias Revistas Indexadas Nacionales e Internacionales Políticas nacionales Planes de Ordenamiento Territorial Planes de Ordenamiento y Manejo de cuencas Documentos de investigación no publicados Base de datos de Universidades. Páginas Web de noticias como: Semana, El tiempo, El espectador	Revistas no reconocidas por Colciencias Artículos que no usen bioindicadores en fuentes hídricas Noticias de fuentes no confiables.

Fuente. Autores

Análisis Crítico de los Estudios

Con los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente, la revisión se concentrará en los estudios que, en teoría, son los que poseen los resultados más confiables. Ello debe probarse revisando la validez de cada estudio en forma individual, los resultados de este análisis podrán excluir algunos trabajos que no cumplan ciertos requisitos de calidad.

Extracción y Síntesis de los Resultados de los Estudios

El paso que sigue es extraer y sintetizar los resultados relevantes de cada estudio. Dándoles un peso ponderado a que aporta cada trabajo con el fin de combinar y comparar entre sí términos metodológicos y las medidas de resultados utilizados.

Recapitulación de la Información

La revisión sistemática termina entonces con la elaboración de conclusiones o recapitulación, lo que significa, obtener un resultado más detallado, posterior a considerar varios estudios menores relacionados con el tema investigado, los cuales fueron sometidos a evaluación

en cuanto a la cantidad y calidad de los mismos, entre los parámetros de calidad evaluados, se tuvieron en cuenta temas como la homogeneidad de los trabajos en cuanto a la caracterización de bioindicadores, las fuentes bibliográficas consultadas por los investigadores, la antigüedad de las investigaciones, entre otros. Finalmente, esto permitirá Generar recomendaciones sobre la utilización de bioindicadores para definir la calidad del agua de la microcuenca La Tablona y su inclusión en los instrumentos de planificación y monitoreo de la cuenca.

Resultados

Análisis Físicoquímicos Quebrada la Tablona y Cálculo del Índice de Calidad del Agua.

La quebrada La Tablona es fuente de abastecimiento de agua para el municipio de Yopal, es por ello que la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY), viene realizando desde el año 2014 estudios físicoquímicos y bacteriológicos para monitorear y determinar la calidad de la fuente hídrica. Estos estudios permiten conocer las condiciones actuales del agua, en determinado punto y en determinada época del año. Los muestreos que allí se realizan son puntuales, se evalúan algunos parámetros *In-Situ* y otros son analizados en laboratorio.

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal suministró una copia de los resultados de los análisis de laboratorio, con ellos se logró; analizar, tabular y graficar en el tiempo, el comportamiento de algunos parámetros de importancia para determinar la calidad del agua de la quebrada la Tablona.

Los muestreos fueron realizados en tres diferentes puntos, (La bocatoma, 5 metros aguas arriba de la bocatoma, y 100 metros aguas arriba de la bocatoma) con el fin de evaluar las características físicoquímicas y biológicas de cada punto y determinar las posibles afectaciones naturales y antrópicas presentes en el recurso hídrico.

Con la información suministrada, inicialmente se organizó y evaluó la disponibilidad de información de algunos parámetros específicos (Oxígeno disuelto, Demanda Química de Oxígeno, conductividad, potencial de hidrogeno, y sólidos suspendidos totales), los cuales son base para determinar el índice de calidad del agua (ICA), de acuerdo a la hoja metodológica de Indicadores Ambientales Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) escrito y

publicado por el IDEAM, 2013. Posterior a verificar la información con la cual se contaba y escoger la temporalidad que mayor número de datos tenía, se procedió a calcular el ICA para el año 2018 y 2019 en los puntos de muestreo, 100 metros aguas arriba de la bocatoma y en la bocatoma respectivamente.

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías (Muy mala, mala, regular, aceptable y buena), 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 un tiempo t . (IDEAM, 2013).

En la tabla 11 se muestran algunos de los resultados de las variables mencionadas, los cuales para su correcto análisis, tuvieron que ser elegidos los que contaron con la mejor temporalidad. A continuación, se pueden observar los resultados en los puntos de muestreo, bocatoma para el año 2019, y 100 metros aguas arriba de la bocatoma para el año 2018, para las cinco variables requeridas para el cálculo del ICA.

En la tabla 12 Se muestra el resultado del ICA obtenido después de realizar los cálculos requeridos, para ello fue necesario, además de tener los resultados de las cinco variables requeridas para el cálculo de este índice, conocer la altura sobre el nivel del mar de los puntos donde se realizó el muestreo, la temperatura del agua en cada muestreo y el cálculo de saturación de oxígeno, entre otras variables. Para el cálculo del ICA se utilizó la ecuación propuesta por el IDEAM en la Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (IDEAM, 2013).

Tabla 11

Consolidado de los resultados de los análisis físico-químicos de las variables requeridas para el cálculo del ICA.

Monitoreo	Nombre De La Estación	Fecha Muestreo	Altitud	Oxígeno Disuelto	Sólidos Suspendidos Totales	Demanda Química De Oxígeno	Conductividad Eléctrica	Potencial De Hidrogeno
Bocatoma	La Tablona	22/02/2019	390	6,97	1	2,5	42,7	6,99
Bocatoma	La Tablona	08/03/2019	390	6,78	1	1,5	43,8	7,92
Bocatoma	La Tablona	29/03/2019	390	6,83	6	7	48,4	7,83
Bocatoma	La Tablona	25/04/2019	390	7,06	0	0	63,5	7,09
Bocatoma	La Tablona	10/05/2019	390	6,90	0	0	31,3	6,95
Bocatoma	La Tablona	31/05/2019	390	6,84	0	0	33,3	7,48
Bocatoma	La Tablona	21/06/2019	390	7,28	0	0	34,1	7,17
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	12/01/2018	398	8,34	20	20	41,8	7,25
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	09/02/2018	398	7,83	20	20	44,0	7,57
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	13/04/2018	398	7,92	20	20	39,9	7,29
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	06/07/2018	398	8,42	20	20	27,4	7,23

Fuente: Autores

Tabla 12*Resultado del cálculo del ICA para los puntos bocatoma y 100 metros aguas arriba.*

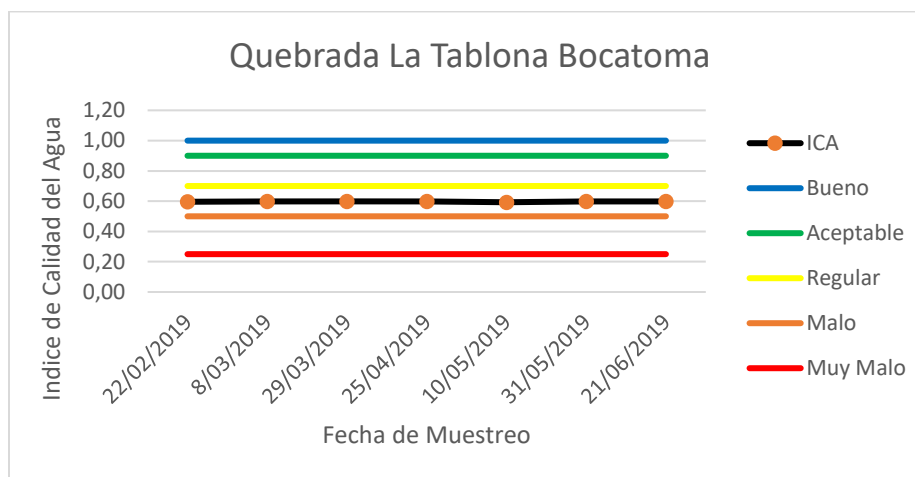
Monitoreo	Nombre De La Estación	Fecha Muestreo	Altitud	Oxígeno Disuelto	Sólidos Suspendidos Totales	Demanda Química De Oxígeno	Conductividad Eléctrica	Potencial De Hidrogeno	Temperatura	Ica	Categoría
Bocatoma	La Tablona	22/02/2019	390	6,97	1	2,5	42,7	6,99	26,8	0,60	REGULAR
Bocatoma	La Tablona	08/03/2019	390	6,78	1	1,5	43,8	7,92	24,6	0,60	REGULAR
Bocatoma	La Tablona	29/03/2019	390	6,83	6	7	48,4	7,83	23,7	0,60	REGULAR
Bocatoma	La Tablona	25/04/2019	390	7,06	0	0	63,5	7,09	23,5	0,60	REGULAR
Bocatoma	La Tablona	10/05/2019	390	6,90	0	0	31,3	6,95	24,9	0,59	REGULAR
Bocatoma	La Tablona	31/05/2019	390	6,84	0	0	33,3	7,48	24,7	0,60	REGULAR
Bocatoma	La Tablona	21/06/2019	390	7,28	0	0	34,1	7,17	22,7	0,60	REGULAR
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	12/01/2018	398	8,34	20	20	41,8	7,25	28,9	0,96	BUENO
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	09/02/2018	398	7,83	20	20	44,0	7,57	22,2	0,59	REGULAR
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	13/04/2018	398	7,92	20	20	39,9	7,29	22,3	0,59	REGULAR
100 Metros Aguas Arriba	La Tablona	06/07/2018	398	8,42	20	20	27,4	7,23	22,1	0,96	BUENO

Fuente: Autores

A continuación, en las figuras 8 y 9, se muestran gráficamente los resultados del ICA calculado para el punto de muestreo Bocatoma y 100 metros aguas arriba de la captación.

Figura 7

Calculo del ICA para el punto Bocatoma.

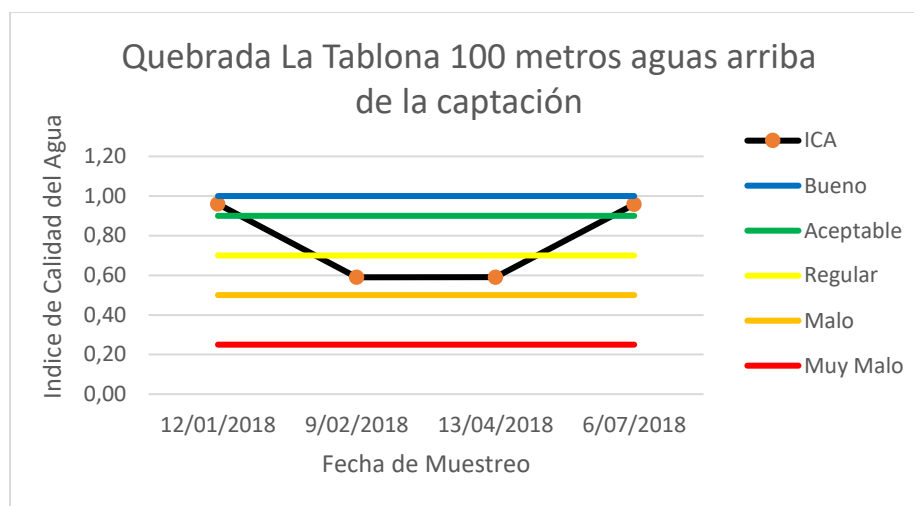


Fuente. Autores

El resultado del ICA obtenido para el punto de muestreo bocatoma, permite concluir que la calidad del agua en este punto es regular. De acuerdo a los subíndices calculados para cada parámetro y al resultado de laboratorio propiamente de cada uno de ellos, cabe resaltar que la conductividad eléctrica es la variable que posiblemente más influyó de manera negativa para el cálculo del ICA, sin embargo, los resultados de conductividad eléctrica no superan el valor máximo aceptable indicado en la Resolución 2115 de 2007 Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Minambiente 2007). Para este cálculo se tuvieron en cuenta los resultados de los 7 muestreos realizados durante el año 2019.

Figura 8

Calculo del ICA para el punto 100 metros aguas arriba de la captación.



Fuente. Autores

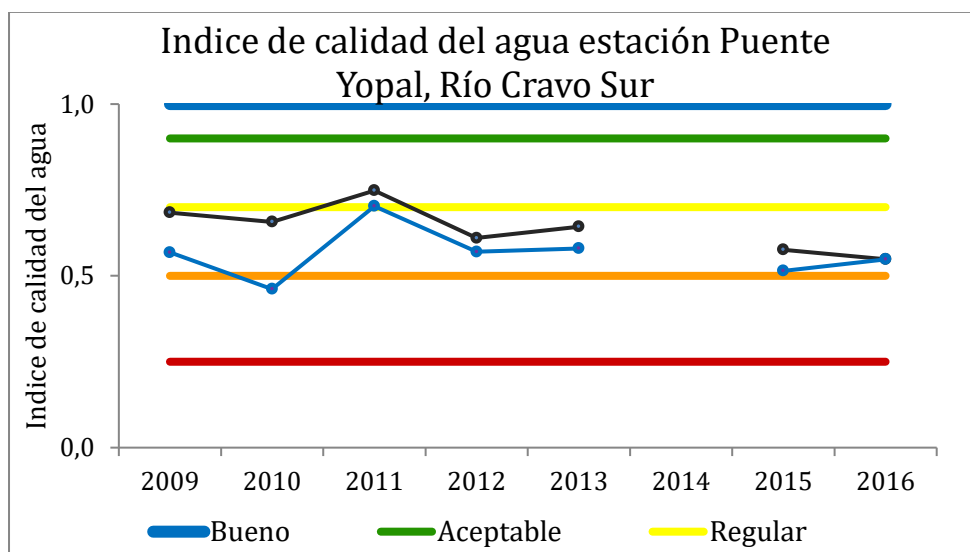
El resultado del ICA obtenido para el punto de muestreo 100 metros aguas arriba del punto de captación, permite concluir que la calidad del agua en este punto es regular, en dos de las cuatro fechas de muestreo, para las otras dos fechas de muestreo el resultado fue un poco más positivo, el ICA obtenido fue bueno, esto debido a que, tanto el resultado como el subíndice calculado para el parámetro de oxígeno disuelto fue más alto, lo que indica que el agua en el momento del muestreo presentaba mayor oxigenación. Una explicación para el aumento del OD en estas dos fechas de muestreo se puede encontrar en las condiciones climatológicas presentadas para esos dos días. (Hipolito-Muñoz et al., 2015) encontraron una relación entre el oxígeno disuelto y la precipitación pluvial en el río Zahuapan, Tlaxcala, México, allí mencionan que el aumento en los promedios de OD se presentaron en las temporadas de lluvias y por el contrario los valores de OD más bajos se presentaron en las temporadas de sequía. Teniendo en cuenta esto, se consultaron datos históricos de precipitación en las tres estaciones climatológicas del IDEAM (MORRO EL, YOPAL y AEROPUERTO YOPAL - AUT) más cercanas a la

quebrada La Tablona, con el fin de indagar si existe alguna relación entre los valores de OD obtenidos en esas dos fechas versus las precipitaciones reportadas por estas tres estaciones, posterior al análisis de esta información se puede decir que en las tres estaciones consultadas se presentaron altas precipitaciones los días anteriores a los muestreos realizados. Sin embargo, se hace necesario realizar un estudio detallado para poder concluir que existe esta correlación entre estas dos variables. Para este cálculo se tuvieron en cuenta los resultados de los 4 muestreos realizados durante el año 2018.

Los resultados obtenidos de este ejercicio se asemejan un poco al resultado del ICA calculado por el IDEAM en la estación hidrológica Puente Yopal, ubicada en Yopal Casanare, sobre el río Cravo Sur, del cual la quebrada La Tablona es uno de sus afluentes. En la Figura 10 Se puede apreciar que el resultado del ICA es de igual manera, regular y sus valores se encuentran entre 0,6 y 0,7, al igual que el ejercicio realizado en La Tablona. Este resultado evidencia que en la región en general se realizan actividades y vertimientos que afectan la calidad del agua de todas las fuentes hídricas de la cuenca del río Cravo Sur. Es importante mencionar que el cálculo del ICA del IDEAM tiene una temporalidad diferente al cálculo de los índices de la quebrada La Tablona, los cuales fueron realizados para el año 2018 y 2019, mientras que el ICA calculado en el Río Cravo Sur es desde el año 2009 al 2016. Sin embargo, los resultados son muy similares y congruentes.

Figura 9

Cálculo del ICA en estación puente Yopal, sobre el Río Cravo Sur.



Fuente: IDEAM, 2018

Entre los resultados de laboratorio entregados por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal, se encuentran algunos que, por su reconocido efecto adverso en la salud humana, son de interés prioritario según la resolución 2115 de 2007, y vale la pena mencionar, ya que, aunque en pequeñas cantidades estos sobrepasan los valores máximos aceptables, entre ellos se encuentran, metales pesados como el Cadmio, Níquel y el Plomo, además de la presencia de algunos Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Sustancias que pueden estar presentes en el agua debido a la mala disposición de residuos sólidos en el río, esto para los metales pesados, en cuanto a los hidrocarburos su presencia puede deberse a las actividades petroleras realizadas en la región y que pueden afectar de manera directa las fuentes hídricas y la salud humana.

Parámetros como Carbono Orgánico Total, Nitritos, Nitratos y Fluoruros, tienen implicaciones sobre la salud humana; entre los resultados de laboratorio analizados se pudo

evidenciar que el Fluoruro excede únicamente en uno de los muestreos realizados, el valor máximo aceptable según la resolución 2115 de 2007.

Entre las características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana, cabe resaltar los resultados en cuanto a Hierro Total, ya que excede el valor máximo aceptable dispuesto por la resolución (0,3 mg/l), en dos de los muestreos realizados; resultados de 0,51 mg/l y 0,95 mg/l en los años 2015 y 2016 respectivamente; el Manganeso cuyo valor máximo aceptable es 0,1 mg/l es sobrepasado en dos muestreos realizados en el año 2015 y 2016; y por último los Fosfatos cuyo valor máximo aceptable es 0,5 mg/l se ve sobrepasado y por bastante en dos muestreos realizados en el año 2016, para agosto y octubre los resultados fueron 2,42 mg/l y 0,74 mg/l respectivamente, estos últimos provocan el crecimiento de algas en las aguas superficiales ocasionando inconvenientes como la eutrofización del agua.

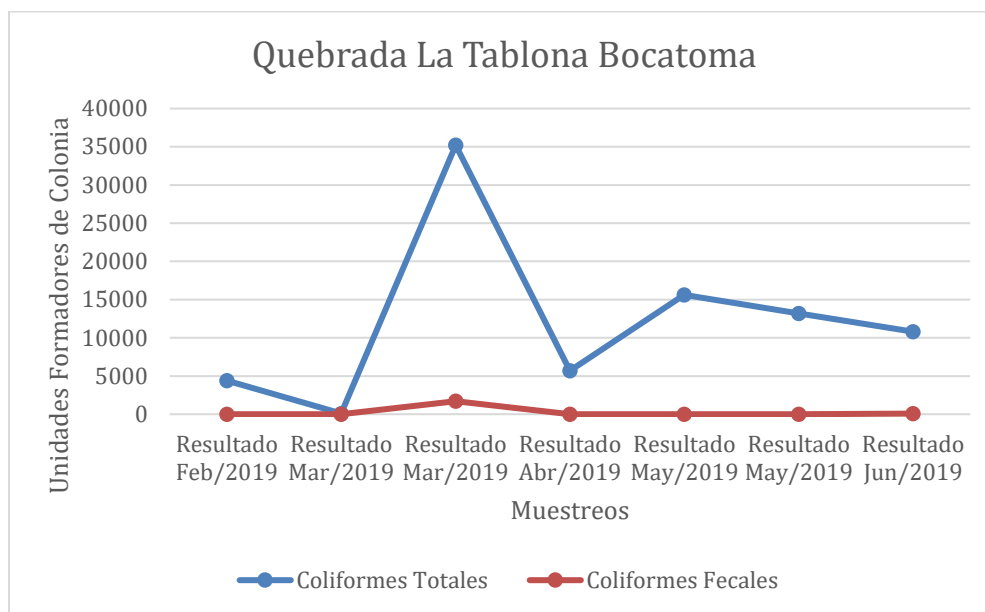
Los resultados de laboratorio de los análisis fisicoquímicos realizados en la quebrada la Tablona son muy pobres en cuanto a la medición de pesticidas y plaguicidas, por lo cual no se puede determinar el grado de contaminación por estos componentes químicos, los cuales pueden llegar a ser cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos, por esto su valor máximo aceptable para agua de consumo humano es de 0,0001 mg/l

En cuanto a las características microbiológicas del agua, los resultados para coliformes fecales y totales no son buenos, algunos de los muestreos realizados estuvieron por encima de las veintitrés mil unidades formadoras de colonia (23,000 UFC), cuando según la resolución 2115 de 2007 indica que no debe haber presencia de estos microorganismos en el agua destinada para el consumo humano, debido a las graves implicaciones a la salud que estos generan. En las figuras

11 y 12 se muestran gráficamente los resultados obtenidos de los muestreos para estas dos variables.

Figura 10

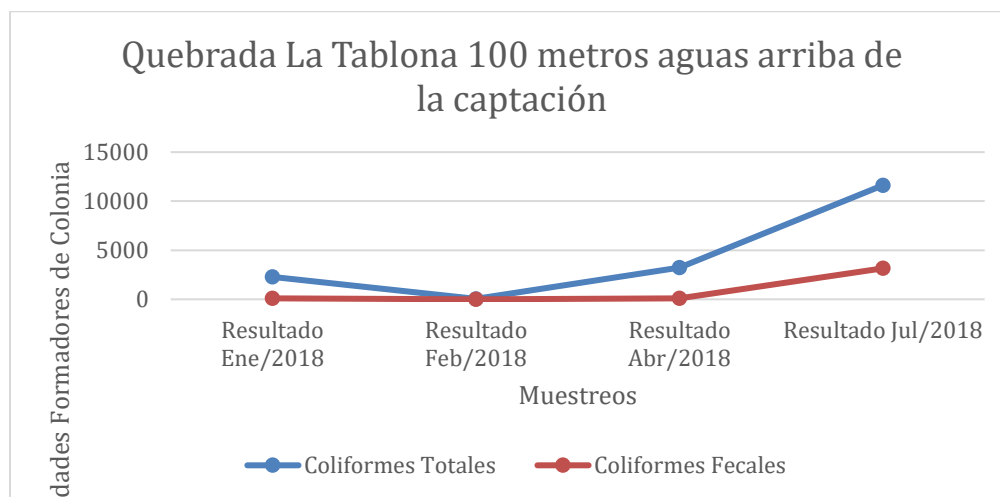
Resultados biológicos para el punto Bocatoma.



Fuente. Autores

Figura 11

Resultados biológicos para el punto 100 metros aguas arriba de la captación.



Fuente. Autor

Posibles Bioindicadores Presentes en la Microcuenca La Tablona

Tabla 13

Bioindicadores encontrados en diferentes estudios realizados en la zona.

Estudio	Autor	Bioindicadores	
		En este proyecto se identificaron 516 individuos, correspondiente a 36 familias y 11 ordenes, distribuidos así:	
		Orden	Familias
Diagnóstico de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados como organismos bioindicadores en la quebrada La Tablona, municipio de Yopal, Casanare (2011)	D. M. Granados M. y J. A. Granados, M (2011)	Amphípoda (1) Coleóptera (42) Díptera (29) Ephemeroptera (290) Haplotáxida (5) Hemíptera (52) Hidroida (1) Neuróptera (6) Odonata (2) Plecóptera (29) Trichóptera (59)	<i>Baetidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Tricorythidae, Odontoceridae, Perlidae, Ptilodactylidae, Hidridae, Hydrobiosidae, Leptoceridae, Naucoridae, Hydroptilidae, Noteridae, Belostomatidae, Chironomidae, Culicidae, Veliidae, Hydropsychidae, Elmidae, Simuliidae, Dryopidae, Palaemonidae, Corydalidae, Ceratopogonidae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Helicopsychidae, Scirtidae, Tubificidae, Odontoceridae, Gomphidae, Glossosomatidae, Limnychidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Chrysomelidae, Tipulidae.</i>
Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La	S. A. Peña, H. A. Bohórquez, A. K.	Macroinvertebrados bentónicos.	Identificaron en total 728 individuos, los cuales corresponden a 10 órdenes, 46 familias según la clasificación realizada.
		Los órdenes más comunes encontrados fueron: Ephemeroptera, Trichóptera (algunos miembros de estos ordenes son indicadores de buena calidad del agua), Hemíptera y Díptera (indicador de contaminación del	

Calabozza (Yopal, Casanare) 2018

Barrera, S. S. agua) y los órdenes Tricládida y Amphipoda encontrados en 2 de las 6 estaciones de monitoreo solo en periodo de verano.

Salamanca, D. A. Jimémez y W. A. Botello (2018)

Hydrophilidae, Naucoridae, Odontoceridae y Helicopsychidae presentaron correlación con un alto valor de pH. Odontoceridae y Ceratopogonidae presentaron una alta correlación en función de la altitud y moderada con la temperatura.

De igual manera, evidenciaron una alta correlación entre la temperatura y la presencia de Tricorythidae en ambos periodos. Esta familia presentó correlación negativa a la concentración de SDT y conductividad.

El periodo de verano presentó los mayores valores de BMWP, y los mayores índices de diversidad, situación que sugiere una alta calidad del agua asociada a las estaciones muestreadas en estas condiciones.

Las estaciones que presentaron la mejor calidad de agua fueron E5 y E6 durante los dos periodos.

Este estudio realizado en los llanos orientales de Colombia (Puerto López) entre los años 1969 y 1971, arrojó los siguientes resultados de macroinvertebrados de orden Hemiptera, los cuales se distribuyeron en 11 familias, y un total de géneros de 49. Importante mencionar que, de esos géneros, 41 eran nuevos en Colombia y 9 fueron descubiertos en Colombia, en la tabla a continuación se muestra el resumen de resultados:

Hemípteros acuáticos (Heteroptera) de los llanos de Colombia		Orden	Familia	Genero
S. S. Roback y N. Nieser (1974)	Hemiptera		Mesoveliidae	<i>Mesovelia mulsanti</i>
			Hydrometridae	<i>Hydrometra argentina</i>
				<i>Hydrometra guianana</i>
				<i>Limnogonus lubricus</i>
			Gerridae	<i>Limnogonus profugus</i>
				<i>Tachygerris opacus</i>
				<i>Trepobates taylori</i>
				<i>Rhagovelia calopa</i>
				<i>Rhagovelia tenuipes</i>
				<i>Velia agregia</i>
		<i>Velia stridulata</i>		

	<i>Ambrysus fossatus</i>
	<i>Ambrysus teutoni</i>
	<i>Heleocoris spinipes</i>
	<i>Limnocoris fittkaui fittkaui</i>
	<i>Limnocoris illiesi</i>
	<i>Limnocoris robustus</i>
	<i>Pelocoris binotulatus</i>
	<i>Pelocoris impicticollis</i>
	<i>Pelocoris politus</i>
	<i>Belostoma denticolle</i>
	<i>Belostoma micantulum</i>
	<i>Belostoma truxali</i>
	<i>Belostoma hirsutum</i>
	<i>Belostoma pseudoguianae</i>
	<i>Lethocerus annulipes</i>
	<i>Curicta intermedia</i>
	<i>Curicta femoralis</i>
	<i>Ranatra n. sp.</i>
	<i>Ranatra doesburgi</i>
	<i>Ranatra macrophthalma</i>
	<i>Ranatra párvula</i>
	<i>Ranatra sarmentoi</i>
	<i>Paratrephes hintoni</i>
	<i>Neoplea lingula</i>
	<i>Neoplea tenuistyla</i>
	<i>Buenoa gracilis</i>
	<i>Buenoa platycnemis</i>
	<i>Buenoa salutis</i>
	<i>Buenoa similis</i>
	<i>Martarega chinai</i>
	<i>Martarega membranacea</i>
	<i>Heterocorixa hesperia venezuelana</i>
	<i>Tenagobia incerta</i>

Tenagobia shadei
Tenagobia selecta
Tenagobia spinifera
Tenagobia socialis
Tenagobia n.sp.

Encontraron 42 géneros de macroinvertebrados, distribuidos en 23 familias en 10 ordenes, los resultados se muestran a continuación:

Ordenes más abundantes: Ephemeroptera (497 individuos), Diptera (285 individuos) y Trichoptera (1302 individuos). Familia más abundante: Chironomidae (1193 individuos).

		Clase	Orden	Familia	Género
Caracterización de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en arroyos del Campus Utopía – Universidad de La Salle (Yopal-Casanare)	K. B. Pallares, P (2017)	Insecta	Ephemeroptera	Leptohiphidae	<i>Haplohyphes sp.</i>
				Leptophlebiidae	<i>Farrodes sp.1</i>
					<i>Farrodes sp.2</i>
				Baetidae	<i>Thraulodes sp.</i>
					<i>Camelobaetidus sp.1</i>
					<i>Camelobaetidus sp.2</i>
					<i>Baetodes sp.</i>
			Trichoptera	Cenidae	<i>Caenis sp.</i>
				Hydropsychidae	<i>Smicridea sp.</i>
				Hidrotípidas	<i>Neotrichia sp.</i>
					<i>Metrichia sp.</i>
				Polycentropodidae	<i>Polycentropus sp.</i>
				Philopotamidae	<i>Chimarra sp.</i>
					<i>Wormaldia sp.</i>
Diptera	Glossosomatidae	<i>Culoptila sp.</i>			
	Chironomidae	<i>Polypedilum sp.</i>			
		<i>Tanytarsus sp.</i>			
		<i>Chironomus sp.</i>			
		<i>Stenochironomus sp.</i>			
		<i>Larsia sp.</i>			
	<i>Hudsonimyia sp.</i>				

			<i>Corynoneura sp.1</i>
			<i>Corynoneura sp.2</i>
			<i>Corynoneura sp.3</i>
			<i>Onconeura sp.</i>
			<i>Phaenopsectra sp.</i>
			<i>Cricotopus sp.</i>
			<i>Chironominae gen1.</i>
			<i>Chironominae gen2.</i>
			<i>Orthoclaadiinae gen1</i>
		Simuliidae	<i>Simulium sp.</i>
		Athericidae	<i>Athericidae gen1.</i>
		Ceratopogonidae	<i>Ceratopogonidae gen1.</i>
	Lepidoptera	Crambidae	<i>Crambidae gen1.</i>
			<i>Cylloepus sp.</i>
			<i>Hexacylloepus sp.</i>
	Coleoptera	Elmidae	<i>Microcylloepus sp.</i>
			<i>Notelmis sp.</i>
			<i>Cylloepus Larva sp.</i>
			<i>Hexacylloepus Larva sp.</i>
		Coenagrionidae	<i>Enallagama sp.</i>
	Odonata	Libellulidae	<i>Orthemis sp.</i>
			<i>Oligoclada sp.</i>
		Platystictidae	<i>Palaemnema sp.</i>
		Calopterygidae	<i>Calopteryx sp.</i>
	Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia sp.1</i>
			<i>Rhagovelia sp.2</i>
		Trichodactylidae	<i>Valdivia sp.</i>
Malacostraca	Decapoda		<i>Sylviocarcinus sp.</i>
		Palaemonidae	<i>Palaemonetes sp.</i>
		Sphaeriidae	<i>Pisidium sp.</i>
Bivalva	Veneroida		<i>Eupera sp.</i>
			<i>Sphaerium sp.</i>
Gastropoda		Planorbioidea	<i>Gundlachia sp.</i>

*Helisoma sp.**Biomphalaria sp.*

En este estudio fueron recolectados en total 231 individuos, clasificados en 16 familias, 8 órdenes, y 23 géneros. Se destaca que las familias con mayor abundancia en cada una de las temporadas de verano e invierno fueron Leptophelebiidae y Coenagrionidae, respectivamente. A continuación, se muestran los resultados de macroinvertebrados obtenidos en este estudio disgregado por familia, orden y género:

		Familia	Orden	Genero
Macroinvertebrados acuáticos e índice "ICA" como sistema de evaluación de calidad de agua de la quebrada el turrón ubicado en la vereda la Niata en el municipio de Yopal Casanare	J. T. Castañeda, M y F. A. Pérez, R (2018)	Baetidae	Ephemeroptera	<i>Psephenops</i> <i>Baetis</i>
		Belostomatidae	Hemiptera	<i>Lethocerus</i> <i>Telebasis</i>
		Coenagrionidae	Odonata	<i>Acanthagrion</i> <i>Argia</i>
		Corixidae	Hemiptera	<i>Tenegobia Socialis</i>
		Corydalidae	Neuroptera	<i>Corydalus</i>
		Elmidae	Coleoptera	<i>Macrelmis</i>
		Hydropsichidae	Trichoptera	<i>Helicopsyche</i> <i>Smicridea</i>
		Leptophelebiidae	Ephemeroptera	<i>Traverella</i> <i>Maruina</i>
		Libellulidae	Odonata	<i>Dythemis</i>
		Psephenidae	Coleoptera	<i>Molophilus</i> <i>Psephenops</i>
		Psychodidae	Diptera	<i>Clognia albipunctatus</i> <i>Baetodes</i>
		Ptilodactylidae	Coleoptera	<i>Anchytarsus</i>
		Pyralidae	Lepidoptera	<i>Sin determinar</i>
		Tipulidae	Diptera	<i>Traverella</i> <i>Hexatoma</i>
		Tubificidae	Oligochaeta	<i>Tubifex</i>

 Veliidae

Hemiptera

Microvelia
Stridulivelia

Fuente. Autores

En la Tabla 13 se muestra un resumen de 5 investigaciones, 4 de ellas realizadas en Yopal Casanare y la otra cerca al municipio de Puerto López Meta. En estas, los investigadores identificaron macroinvertebrados como organismos bioindicadores de la calidad del agua en sistemas loticos.

La primera investigación descrita en la Tabla 13 (Granados y Granados, 2011), hace referencia a la quebrada La Tablona, cuerpo de agua del cual es objeto el presente estudio; en esta investigación los estudiantes de la fundación universitaria Unisangil, en el año 2011 lograron identificar 516 especies de macroinvertebrados en cinco estaciones de muestreo, entre los órdenes identificados el que más se destaca es Ephemeroptera (indicador de buena calidad del agua), del cual se reunieron en total 290 individuos distribuidos relativamente de manera homogénea en cada estación de muestreo. El método para determinar la calidad del agua utilizado en esta investigación es el propuesto por Roldan en el año 2003 (BMWP/Col); el resultado de este, determino buena calidad del agua para las estaciones de muestreo 1, 4 y 5 y calidad del agua aceptable para las otras dos estaciones.; la de menor puntaje de calidad según el método analizado fue la estación número 3, los investigadores atribuyen la mala calidad del agua de este punto a la actividad ganadera realizada en la zona. Por otra parte, la estación con mayor puntaje fue la número 5, ésta es la estación más arriba de todo el muestreo, allí los investigadores anuncian menor actividad antrópica, la corriente es un poco más fuerte en este punto, y se cree que en allí había mayor disponibilidad de alimento.

Es importante mencionar que las fechas en las cuales se realizaron los muestreos son diferentes, en las primeras tres estaciones los muestreos se realizaron en el mes de julio (temporada seca en Colombia), en las otras dos estaciones los muestreos se realizaron en noviembre (temporada de lluvias en Colombia); esta diferencia de temporalidad para el muestreo puede distorsionar el resultado final de la investigación.

La segunda investigación referenciada en la Tabla 13 (Peña y Bohorquez, 2019), habla del uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza en el municipio de Yopal, Casanare. Fue llevado a cabo en el año 2018 y publicado en la revista Entre Ciencia e Ingeniería de la Universidad Católica de Pereira. Se realizó la caracterización de macroinvertebrados en 6 puntos de muestreo y hasta nivel familia, se aplicaron tres índices bióticos para determinar la calidad del agua de esta fuente hídrica: BMWP (Biological Monitoring Working Party), ASPT (Índice Promedio por Taxón) y EPT (Porcentaje de Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera). De igual forma que el estudio realizado en la quebrada La Tablona, el orden con mayor presencia en la mayoría de puntos de muestreo fue Ephemeroptera; Una de las conclusiones más representativas de esta investigación estuvo enfocada a los cambios significativos observados en las condiciones de calidad del agua, entre las temporadas de invierno y verano; siendo la temporada de invierno, la que menor índices bióticos presentó y donde además las condiciones fisicoquímicas del agua cambiaron significativamente; para esto, los investigadores utilizaron el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con el fin de encontrar la relación existente entre las variaciones de los parámetros fisicoquímicos versus la distribución de los taxa de macroinvertebrados. Los cambios en pH (potencial de hidrogeno), SDT (Sólidos Disueltos Totales) y temperatura son los más asociados a los cambios en la distribución de macroinvertebrados.

En esta segunda investigación a diferencia de la primera, los investigadores realizaron los muestreos en 6 puntos, teniendo en cuenta en esta oportunidad, un muestreo para cada temporada de invierno y verano, situación que permitió generar un análisis más detallado, además de lograr establecer la relación entre los parámetros fisicoquímicos medidos en campo y los macroinvertebrados encontrados en cada estación de muestreo.

La investigación de Roback y Nieser (1974), sobre los Hemípteros en los llanos orientales de Colombia y referenciada en el tercer lugar de la Tabla 13. De las 5 investigaciones citadas, es la única referenciada en un lugar diferente a Yopal, sin embargo, es relevante mencionarla y analizarla debido a que pertenece a la región de la Orinoquia Colombiana y además, por su similitud en las condiciones geográficas y físicas con el municipio de Yopal en Casanare. Los muestreos se efectuaron en la laguna Mozambique y en el río Metica. Entre las particularidades de la investigación cabe mencionar que se realizaron mediciones de pH en el agua por medio de papel indicador Hyperion con resultados no mayores a 5.0 unidades de pH, con una clasificación de aguas de carácter ácido, a diferencia de la quebrada La Tablona en Yopal, donde según los análisis fisicoquímicos realizados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado del municipio, se midieron unidades de pH en un rango entre 6.5 y 7 unidades de pH en promedio, es decir aguas carácter neutro. Adicionalmente se tomaron otros parámetros fisicoquímicos como alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, entre otros. Los muestreos fueron realizados a finales de 1969 y a principios de 1971 considerados en su momento, final de temporada de lluvias para el primer año e inicio de temporada seca para el segundo año en mención.

Pese a la poca información adquirida en campo, referente a las características fisicoquímicas del agua y a la escasa recolección de información climatológica de la época, el

estudio permitió caracterizar un número considerable de macroinvertebrados, inclusive descubrir nuevas especies para el país y para la región de la Orinoquia, sin embargo, la falta de información limita conocer las razones por las cuales se ve afectada o favorecida la presencia de bioindicadores.

En la Tabla 13, en cuarto lugar, se menciona la investigación de Pallares Paredes, K. B. (2017), en la cual realizó, la caracterización de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en arroyos del Campus Utopía – Universidad de La Salle en Yopal-Casanare, esta investigación es una de las más completas en cuanto a qué, sus objetivos son muy puntuales: 1. Identificar hasta el nivel taxonómico más bajo posible los macroinvertebrados presentes en el estudio. 2. Determinar su estructura trófica. 3. Describir las principales variables fisicoquímicas de los puntos de muestreo y, por último. Establecer la relación entre los macroinvertebrados encontrados y las condiciones fisicoquímicas y ambientales de la zona.

Entre lo más relevante que da a conocer esta investigación, está lo que tiene que ver con la identificación de géneros (*Haplohyphes*, *Camelobaetidus*, *Cylloepus*, *Smicridea*, *Corynoneura sp.1*, *Stenochironomus*, *Farrodes sp.2*, *Neotrichia*, *Chironominae gen 1*, *Simulium*, *Oligochaeta*, *Farrodes sp.1*, *Hexacylloepus*, *Culoptila* y *Caenis*), cuando las condiciones fisicoquímicas del agua tienen ciertas características, en este caso los valores de oxígeno disuelto en el agua son altos y los de fosfato son bajos, por otra parte determinaron que los géneros: (*Corynoneura sp.2*, *Polypedilum*, *Hudsonimyia*, *Tanytarsus*, *Hirudinea*, *Onconeura*, *Larsia*, *Orthocladinae gen 1*, *Phaenopsectra*, *Cricotopus* y *Chironominae gen 2*), prefieren las aguas de carácter más alcalino a diferencia del género *Pisidium*, el cual está relacionado con aguas de carácter ácido.

Se confirmó que las familias Chironomidae y Simuliidae fueron las más abundantes en este estudio, este resultado coincide con la primera investigación, en la cual, se identificaron estas mismas familias.

De las 5 investigaciones relacionadas, solo ésta, habla de los grupos tróficos, la autora menciona en la discusión de resultados, que los estudios realizados en Colombia para determinar los grupos tróficos son bastante escasos. Por otra parte, también concluye que el caudal no influyó en la distribución de los macroinvertebrados a diferencia del pH, oxígeno disuelto y los fosfatos, quienes si tienen una gran relevancia en el momento de establecer la presencia de macroinvertebrados.

Para finalizar el análisis de la Tabla 13, en quinto lugar, se puede observar la investigación realizada por Castañeda y Pérez (2018), quienes evaluaron la calidad del agua de la quebrada El Turrón ubicada en la vereda La Niata en Yopal Casanare, por medio del uso de macroinvertebrados y el cálculo del índice “ICA”.

Este estudio fue realizado en el año 2018, incluyó el cálculo del índice ICA en las temporadas de invierno y verano. A diferencia de las otras investigaciones en esta los autores contrataron un laboratorio privado para realizar los muestreos y los análisis fisicoquímicos, en los puntos de muestreo definidos en la quebrada El Turrón. Los resultados del índice ICA clasificaron la calidad del agua de la quebrada como clasificación media, es importante mencionar que la afectación a la calidad del agua de esta quebrada la puede generar la actividad petrolera desarrollada en la zona de estudio, a la actividad ganadera y la cercanía con el relleno sanitario del municipio.

En cuanto a los macroinvertebrados identificados durante la época de verano, se puede decir que en las tres estaciones de muestreo predominó una familia diferente Leptophelebiidae (prefieren aguas con mayor cantidad de oxígeno disuelto), Primera estación y Tipulidae y Beatidae segunda y tercera estación respectivamente baja concentración de oxígeno disuelto y mayor adaptación a medios contaminados (Castañeda y Pérez, 2018).

Para la temporada de invierno, ellos encontraron más familias de macroinvertebrados, especialmente en la última estación (aguas abajo), esto debido a que las velocidades del agua en esta época, son más rápidas. En las tres estaciones predominó la familia Coenagrionidae se encuentra en varios hábitats, especialmente en corrientes moderadas. (Castañeda y Pérez, 2018).

El índice BMWP/Col clasificó el agua de las tres estaciones de muestreo, como moderadamente contaminadas para la temporada de verano y moderadamente contaminada en la primera estación, mientras que en las otras dos estaciones ligeramente contaminadas para la temporada de invierno; el índice ASPT las clasificó como aguas severamente contaminada en las dos temporadas; contrariamente el IBF clasificó el agua como excelente en verano y muy mala en invierno en la primera estación de muestreo; en la segunda estación fue buena en verano y relativamente mala en invierno y en la estación número 3 regular en las dos temporadas.

De los tres índices biológicos calculados, el que más coincide con el resultado del índice ICA, clasificación media, es el del BMWP/Col que clasifica el agua como moderadamente contaminada y contrasta con los otros dos índices que la clasifican, uno como contaminación severa y el otro como buena o regular.

Las 5 investigaciones aportaron a la ciencia información relevante para determinar el tipo de macroinvertebrados presentes en estos tipos de cuerpos de agua, a pesar de las fallas en

cuanto a cómo se realizaron los estudios, tuvieron aciertos significativos que para este estudio fueron importantes, los resultados obtenidos permiten tomar decisiones respecto a la manera en que se puede ordenar el territorio teniendo como base el comportamiento de las cuencas hidrográficas.

Relación de los Macroinvertebrados Acuáticos y los Parámetros Físico Químicos de la Calidad del Agua

Los bioindicadores son organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat (Morais et al., 2009 citado por Morales 2011). El bioindicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas según Zúñiga de Cardozo y Caicedo, (1997), citado por Morales (2011), es decir, son sensibles a las alteraciones de los factores físicos y químicos del medio en el que viven a pesar de la aceptación a nivel mundial de la utilización de bioindicadores para conocer las condiciones de los ecosistemas, ya sean acuáticos o terrestres. Segnini, (2003), citado por Morales (2011), define los siguientes factores como controversiales al considerar una especie bioindicadora:

1. Muchas especies indicadores tienen un área de distribución geográfica muy limitada, lo cual restringe su utilidad.
2. El punto de vista del investigador y el tipo de perturbación influye sobre la calificación de una especie como indicadora.
3. Las especies indicadoras no se pueden utilizar cuando el origen de la perturbación o contaminación sea diferente al enriquecimiento orgánico.

Sin embargo, muchos estudios han centrado su metodología especialmente en la utilización de macroinvertebrados para conocer el estado de los ecosistemas acuáticos lenticos o loticos.

Los grupos de macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en sus ciclos de vida. Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua. Ejemplos incluyen chinches (Hemiptera) como los

Corixidae y *Belostomatidae* la mayoría de los escarabajos (Coleoptera; como *Hydrophilidae* y *Helmidae* aunque la pupa es generalmente terrestre), crustáceos, moluscos, sanguijuelas y planarias. (Hanson, Springer y Ramírez 2010).

Los macroinvertebrados de agua dulce tienen un papel importante dentro de los ecosistemas acuáticos especialmente en los procesos ecológicos, energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera. (Hanson et al., 2010), donde son el eslabón perfecto para transportar energía en los niveles tróficos en la cadena alimenticia.

Para poder encontrar la relación de los macroinvertebrados y los parámetros físico-químicos es necesario conocer que todo ser vivo reacciona a los cambios o alteraciones que se generan en su ambiente y es así que funcionan los bioindicadores.

Factores Abióticos que Intervienen en los Macroinvertebrados Acuáticos

Los factores abióticos son aquellos factores ambientales que influyen en la estabilidad y productividad de los ecosistemas, a continuación, se presenta una serie de factores que influyen en los ecosistemas acuáticos.

Penetración de la Luz Solar:

La radiación solar cumple 2 funciones básicas e indispensables en los ecosistemas acuáticos; el calentamiento del agua y la fotosíntesis; la cantidad de penetración de la luz que sale, está sujeta por el grado y el tipo de materia suspendida y disuelta que tenga el agua, para poder conocer e identificar las zonas que son capaces de mantener la actividad fotosintética es necesario conocer medidas de cantidad de luz disponibles a través de la columna de agua. La energía proveniente del sol es la principal fuente de energía para los sistemas ecológicos,

organismos como las algas y las plantas verdes usan esta energía para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas y se convierten en la base de la vida de la tierra, sin embargo, exponerse a altos niveles de energía solar, en particular, radiación ultravioleta tiene un efecto perjudicial en la mayoría de los seres vivos. Zagareze et al. (1998).

Ahora bien, ya que entendimos la importancia de la energía en la producción primaria de los ecosistemas acuáticos y que se tiene claro que esta es indispensable para realizar procesos básicos como son la fotosíntesis, es necesario discutir si los macroinvertebrados también tienen una relación con este componente abiótico, el tiempo de desarrollo de estos organismos varía mucho desde pocas semanas hasta años, estas variaciones dependen de la especie y de factores ambientales, como la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento.

Por lo anterior, es necesario revisar la dieta de estos organismos y analizar si la producción primaria de un ecosistema afecta o no la presencia de los macroinvertebrados.

El alimento de los organismos de agua dulce puede provenir dentro del ecosistema acuático (autóctono) o desde la tierra (alóctono). Los herbívoros y carnívoros se alimentan de organismos vivos como algas filamentosas o de otros organismos, mientras que los detritívoros se alimentan de materia orgánica en descomposición (detritus). Según el tipo de alimentos que los organismos consuman, se pueden distinguir varios grupos funcionales dentro de estas categorías, Es importante anotar que el comportamiento alimenticio puede cambiar a través del ciclo de vida del animal y que algunos animales ingieren diversos tipos de alimento (son omnívoros) Hanson et al. (2010).

Es decir, que la producción primaria de los ecosistemas acuáticos puede alterar significativamente en la disponibilidad de alimentos para el ensamble de macroinvertebrados, si

existe disponibilidad de alimento la especie inicia su ciclo de vida con normalidad hasta llegar a la reproducción. Los macroinvertebrados controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos que depende de la actividad fotosintética que a su vez depende de la penetración de la luz. Estos organismos se alimentan en gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos. Muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, por lo que podemos deducir, que la penetración de la luz en los ecosistemas acuáticos es un factor determinante para la vida de estos organismos.

Temperatura

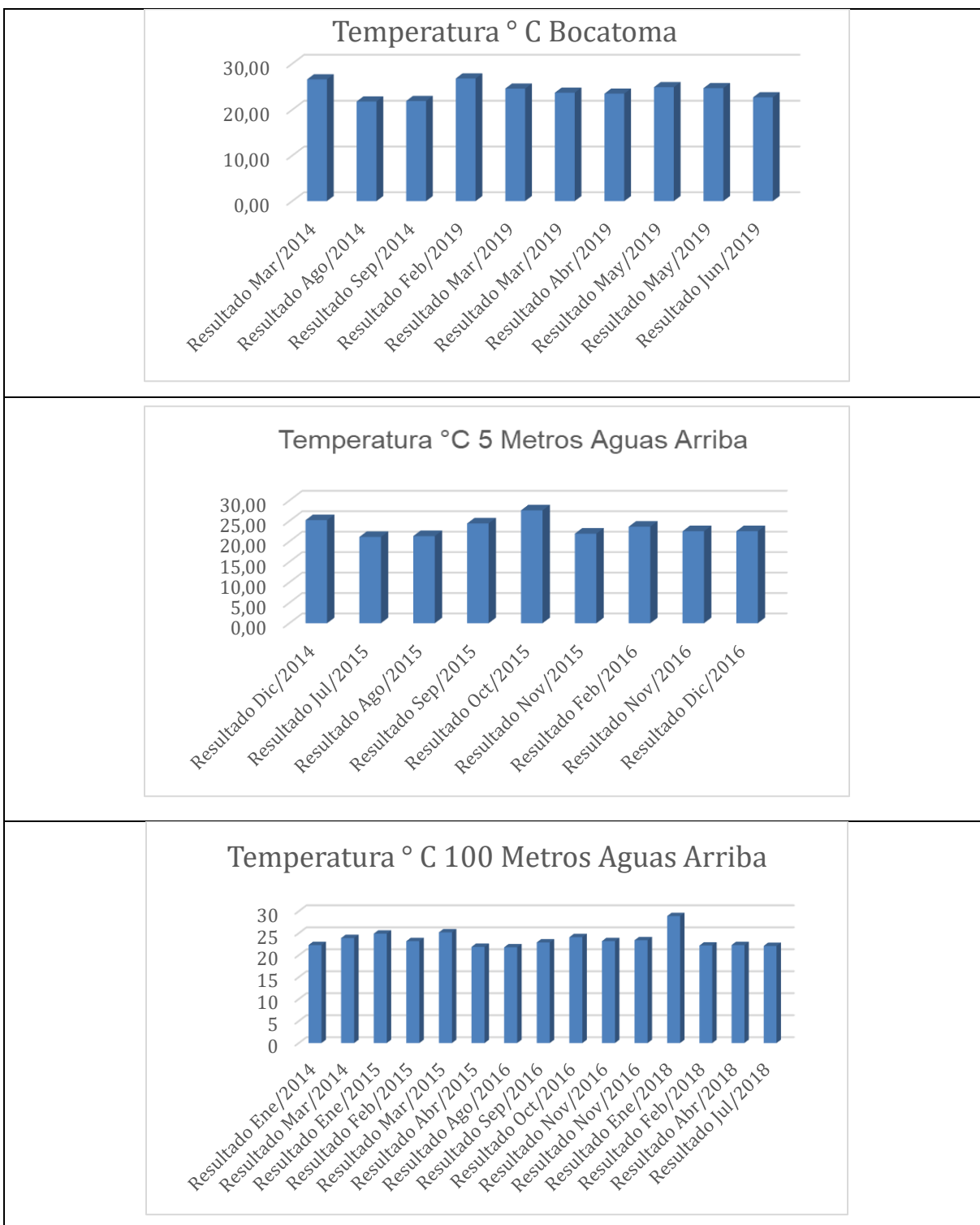
Anteriormente se consideró la porción de radiación solar y su importancia fotosintética en la producción de primaria de los ecosistemas acuáticos, ahora bien, la temperatura puede dar las condiciones necesarias para la vida para plantas acuáticas y animales siendo las temperaturas templadas benéficas para el crecimiento de la población acuática.

Sin embargo, algunos organismos vivos tienen tolerancias a temperaturas bajas como el camarón antártico (*Nematocarcinus lanceopes*) resultó más apto para poblar y/o sobrevivir en un ambiente particular como el agua marina polar que puede alcanzar $-1,8^{\circ}\text{C}$, de cualquier forma, si la temperatura aumenta puede tener un efecto perjudicial, contribuyendo a declinar la diversidad biológica en cuerpos de agua con rangos mayores a 20°C . (Roldan y Ramírez, 2008)

Las aguas con temperaturas más cálidas hacen que exista un menor contenido de oxígeno disuelto, haciendo que los organismos acuáticos aumenten su tasa de respiración y consuman más oxígeno, aumentando la posibilidad de que presenten enfermedades, parásitos y elementos químicos tóxicos para ellos.

Figura 12

Temperaturas en puntos de muestreo Quebrada La Tablona.



Fuente: Autores

Según las investigaciones de (Pritchard, 1991, como se citó en Hanson et al. (2010) Al parecer, ningún organismo puede vivir en temperaturas mayores de 50°C y muy pocos soportan temperaturas mayores de 40°C. En aguas termales de muchos lugares del mundo se han encontrado ciertas especies de Hemiptera, Coleoptera (Dytiscidae e Hydrophilidae, Odonata (Coenagrionidae),) y Diptera (Chironomidae, Stratiomyidae y Ephydriidae). Sin embargo, es muy limitada la información que se encuentra sobre estas áreas.

En la Figura 13 se muestran los resultados de las temperaturas medidas *In-Situ* para cada uno de los puntos de muestreo, en ninguno de los casos la temperatura del agua excede los 29°C, como tampoco está por debajo de los 20°C, lo que indica que son aguas cálidas. Un cuerpo de agua posee 14,6 mg/l de oxígeno a 0°C y puede bajar su concentración a 6,4 mg/l a 40°C, (Roldán, 2003). Es por esta razón que las concentraciones de OD encontradas en los muestreos dependen directamente de la temperatura del agua, por otra parte, las temperaturas del agua observadas en los muestreos realizados no restringen o limitan la presencia de bioindicadores en la quebrada La Tablona.

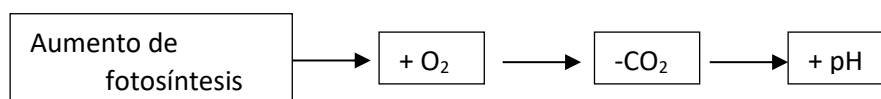
Gases Disueltos en el Agua

Los gases más importantes en el agua son el Oxígeno (O₂) Dióxido de Carbono (CO₂), el primero producto de la fotosíntesis o por la agitación del agua y el segundo de la respiración, ambos son importantes para que exista un adecuado balance en el metabolismo global del ecosistema. (Roldan y Ramírez, 2008).

En la figura 14, se explica mejor las reacciones en cadena que se producen con alguna alteración de estos gases en el agua.

Figura 13

Reacción en cadena por alteración de gases en el agua.



Fuente: Autores.

El aumento de un proceso de fotosintético en un ecosistema acuático aumenta los niveles de Oxígeno donde a su vez produce una disminución del CO₂ y un aumento de pH como consecuencia de incremento de la respiración. Variaciones drásticas de estos gases ocasionan una fuerte reducción de especies e incremento de su productividad; ya que el CO₂ desencadena una serie de reacciones químicas en el agua, las variaciones de concentración alteran significativamente los niveles de pH siendo un limitante para muchas especies. (Roldan y Ramírez, 2008).

Oxígeno Disuelto

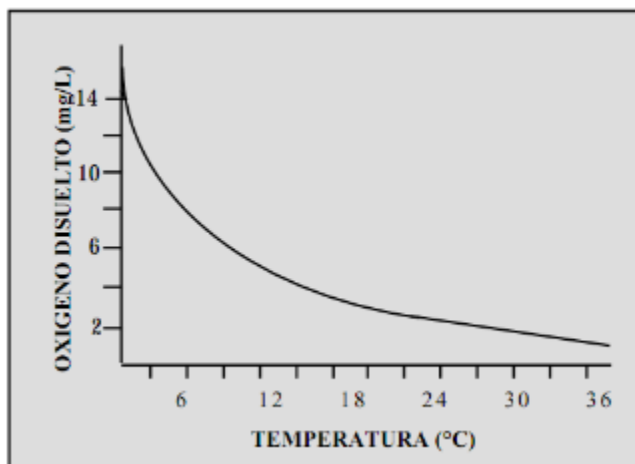
Cuando se realiza trabajo de campo uno de los parámetros fundamentales a medir para establecer la calidad del agua es el Oxígeno Disuelto (OD), de igual forma, este parámetro es fundamental para garantizar la vida acuática ya que muy pocas especies soportan niveles bajos de este parámetro, las principales fuentes de oxígeno en los ríos y las quebradas son la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis y la agitación moderada.

Cuando las plantas y los animales respiran se produce un consumo de oxígeno, las demandas bioquímicas (soluble y fina/particulada y sus pendida), química y bentónica de oxígeno, los afluentes, la agitación hacen que los noveles de oxigeno disminuyan; por ejemplo, en las cascadas frías, la concentración de oxígeno es menor que la esperada. (Roldan y Ramírez, 2008).

Un buen indicador de la vida de muchos organismos es el oxígeno disuelto, por ejemplo, los peces son sensibles a niveles bajos de este elemento, es decir a la Hipoxia, estos organismos son más susceptibles a la reducción de OD por la mañana en días cálidos, ya que las algas dejan de producir oxígeno un día anterior al atardecer. Las concentraciones de OD varían de acuerdo a las variaciones de otros factores como la temperatura, fotosíntesis, por esto, durante el día las concentraciones de OD son mayores y en la noche son bajas. Las aguas con temperaturas más altas disuelven menos el oxígeno, por lo tanto, disminuyen las posibilidades de encontrar vida, es decir que la temperatura de los ecosistemas acuáticos es un factor determinante para la disponibilidad de OD. Goyenola, G. (2007).

Figura 14

Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua.



Fuente: Ortega Sánchez (2014)

En la anterior figura 15 se muestra la estrecha relación entre la temperatura y el OD en el agua, donde se confirma que entre menor sea la temperatura de un ecosistema acuático la posibilidad de que los niveles de oxígeno disueltos presente, sean mayores.

Los bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua puede causar consecuencias fatales como la muerte de adultos y jóvenes, reducción en el crecimiento huevecillos y larvas.

Figura 15

Rangos de concentración de oxígeno disuelto y sus consecuencias.

[OD] mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Fuente: Goyenola, G. (2007)

De igual manera existen microorganismos resistentes a condiciones bajas de oxígenos conocidos como organismos anaerobios como algunas bacterias *Bacteroides* sp. y *Clostridium*., según la figura 16 las condiciones aceptables o adecuadas para el crecimiento de organismos acuáticos oscilan entre 5 y 12 mg/L, incluyendo el grupo de macroinvertebrados. Debido a las diferentes variaciones de disponibilidad de Oxígeno esto organismos tienen una diversidad de adaptaciones para obtener oxígeno del agua en los ambientes acuáticos.

Las larvas y pupas de mosquitos (Culicidae) y varias otras moscas, las larvas y adultos de algunos escarabajos (Dytiscidae e Hydrophilidae) son un ejemplo del primer grupo, estos insectos mantienen contacto con la superficie del agua o de forma temporal, para obtener oxígeno directamente de la atmósfera; En el segundo grupo, el insecto cuando está sumergido lleva un suministro de aire en su cuerpo; el siguiente grupo de insectos llevan una película permanente de aire (un plastrón) encima de su cuerpo; y por último, el cuarto grupo tiene extensiones de cutícula alrededor de los espiráculos (branquias espiraculares) y el aire atrapado sirve como una branquia física al igual que en el grupo anterior. Hanson et al. (2010).

Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH es traducido por sus siglas en el potencial de hidrogeniones (H⁺), este nos muestra la concentración de estos iones en el agua y como una sustancia puede tener condiciones de intensidad ácida o básica. Además expresa la actividad del ion hidrógeno y se relaciona ampliamente con la acidez y la alcalinidad de una sustancia. (Roldan y Ramírez, 2008).

Figura 16

Valores de alcalinidad y pH de algunos ecosistemas acuáticos neotropicales

Tipo de ecosistema	Alcalinidad (mgCaCO₃ L⁻¹)	pH
Ríos		
Amazonas y tributarios en partes bajas	1,0≤10,0	4,5-6,9
Amazonas en partes altas	10	6,5-7,5
Cauca	10,0-60,0	6,0-8,0
Magdalena	10,0-60,0	6,5-8,0
La mayoría de ríos y quebradas andinas	10,0-50,0	6,5-7,5
Vinagre (Parque Puracé-Colombia)	0,0	1,5-2,5

Fuente: (Roldan y Ramirez, 2008)

Las aguas naturales tienen pH que oscilan entre 6,0 y 9,0. La figura 17 presenta los valores registrados de este parámetro en algunos ecosistemas neotropicales. Por ejemplo, el río Amazonas y algunos de sus tributarios en las partes bajas registran valores hasta 4,5; estos valores son muy comunes en ríos con abundante materia orgánica en descomposición y cauces lentos. Un caso muy particular es el río Vinagre, localizado en el Parque Natimal Puracé (Colombia), el cual nace en la vertiente occidental del volcán Puracé y presenta valores de pH con rangos entre 1,5 y 2,5. (Roldan y Ramírez, 2008).

Las variaciones de pH de estos ecosistemas se pueden dar de forma diaria o por temporadas, y la mayoría de los seres vivientes que los habitan se han adaptado para tolerar esas fluctuaciones. Sin embargo, la vida en agua dulce puede verse limitada cuando se expone a extremos en el pH o cuando los niveles cambian de manera rápida, incluso si el cambio ocurre

dentro de un rango que suele ser tolerado por el ecosistema, una manera más común de disminuir las formas básicas de alimentos es cuando el pH empieza a disminuir, un ejemplo claro son los insectos acuáticos que son parte de la cadena fundamental y son el alimento para los peces y no podrán reproducirse y dejarán de sobrevivir. Si el pH baja, los peces no pueden reproducirse, y los más jóvenes comienzan a morir y los peces adultos mueren sofocados. El ecosistema sigue cambiando a medida que las nuevas especies de plantas y algas invaden y el sistema queda completamente desprovisto de la vida vegetal, crustácea y de los peces originales. (PNUD, 2017)

Fosfatos y Nitratos

Los fertilizantes que son eliminados del suelo o el viento, las excreciones humanas o animales y los detergentes y productos de limpieza son las principales fuentes de fosfatos que se encuentran en las aguas residuales y que son vertidas directamente a las aguas superficiales.

La carga de fosfato total se compone de ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada.

Las proporciones de nitrógeno (N) y Fosforo (F) son indispensables para la vida, generalmente en el planeta se encuentra más nitrógeno que fósforo, y las especies han evolucionado para vivir en estas condiciones, pero, si éstas proporciones se alteran, los organismos sufren alteraciones que hacen que reduzcan su capacidad de crecimiento y mantenimiento de las funciones vitales. (El fósforo, 2017)

La eutrofización es un proceso que se genera por las aportaciones excesivas de nitrógeno y de fósforo en las fuentes hídricas, como consecuencia de esto se genera una fertilización que origina un crecimiento no controlado de algunas especies de algas en superficie que impiden el paso de la luz al fondo del lago, que hacen que las algas del fondo no pueden realizar la

fotosíntesis y los niveles de oxígeno se disminuyen significativamente, de igual manera este tipo de contaminación de nitrógeno y fósforo afecta también a las plantas acuáticas que viven sumergidas o flotando en el agua. (El fósforo, 2017)

Aunque la eutrofización natural ocurre normalmente en cualquier sistema acuático continental existen muchos factores que hace que el proceso se vaya acelerado como lo son las actividades agrícolas, vertimientos industriales y domésticos, este proceso ocasiona un aumento de la producción en términos de biomasa así como la disminución de diversidad de especies, fuertes cambios de oxígeno disuelto, dióxido de carbono y pH en el ciclo día-noche, alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el fondo; y aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz. (Roldan, 2016).

Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 gramos. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ en aguas tranquilas. (Pütz, 2010)

Como antecedente, Los polifosfatos provenientes de los detergentes de aguas residuales provocaron en el Lago Erie en Estados Unidos y Canadá durante los años 70 un incremento importante del ion fosfato, que provocó la muerte de los peces y de algunas especies marinas. Las algas empiezan a crecer de manera desmedida cuando hay mayor concentración de fosfatos ya que este ion funciona como nutriente de crecimiento para ellas, esto, lo que a su vez afecta la cantidad de oxígeno presente en el agua y, por ende, el crecimiento descontrolado de materia

orgánica viva, situación que conlleva una mayor tasa de descomposición, que finalmente conduce a un proceso franco de eutrofización. (Bolaños, Cordero y Segura, 2017).

Por lo anterior, la alteración en los cuerpos de agua ocasionada por procesos de eutrofización genera procesos de disminución de oxígeno disuelto en el agua y por lo tanto afectación en la producción primaria de los ríos.

Turbiedad

Según Roldan y Ramírez 2008 la turbiedad es el nivel en que el agua interfiere con la transmisión de la luz a través de ella; por este motivo, la luz es remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad aloctona es aquella originada en el agua por aporte de materiales externos y la producida dentro del mismo cuerpo de agua se designa como autóctona.

Normalmente, los ecosistemas acuáticos tropicales, especialmente ríos y embalses de bajas alturas sobre el nivel del mar, son muy turbios por el arrastre de materiales, propiciado por la alta lixiviación que se da en estas regiones.

La transmisión de la luz es uno de los papeles más importantes que realiza la turbidez en los ecosistemas hídricos, es por esta razón que incide directamente en la producción primaria y en el flujo de energía dentro del ecosistema.

El origen natural de la turbiedad se debe a partículas de roca, arcilla y fango; algas y otros microorganismos; mientras que el antropogénico se da a partir de desechos domésticos e industriales, microorganismos, erosión, entre otros. (Roldan y Ramírez, 2008).

Determinación del Uso de Bioindicadores Acuáticos en los Instrumentos de Planificación Territorial de las Cuencas Hidrográficas.

Debido a que los cuerpos de agua de los llanos orientales presentan características de baja pendiente, sus aguas corren con menor velocidad, situación que genera el estancamiento del agua en algunos tramos del río, derivando en la disminución del oxígeno disuelto en el agua; esta variable es una de las que más determina la presencia de macroinvertebrados.

Los análisis fisicoquímicos permiten conocer algunas de las condiciones del agua en el momento específico en el cual se realiza el muestreo, sin embargo, determinar la calidad del agua por este método no es suficiente, por lo cual es necesario complementar el estudio con el componente biológico presente en la zona; no solo en el agua, en el aire y en el suelo se pueden encontrar especies indicadores de alguna condición adicional que los estudios fisicoquímicos no permiten visualizar. Adicionalmente los bioindicadores permiten determinar la calidad del ambiente con mayor precisión y rapidez, con tan solo realizar una observación detallada del entorno, de esta manera para un conocedor en el tema, visualizar algunas especies le permite hacer una valoración y un diagnóstico primario para determinar el grado de contaminación o afectación que tiene un ecosistema.

Un indicador ambiental es un parámetro con unidad de medida que puede ser usado para plantearse metas, medir grado de afectación, o para conocer el estado de los diferentes componentes de un ecosistema de los aspectos abióticos o bióticos; para caracterizar, estudiar, evaluar y monitorear el territorio, los indicadores constituyen un insumo clave en la identificación de sectores que requieren mayor grado de atención, y para la priorización y creación de políticas, programas y acciones que ayuden a mitigar los impactos que generan

alteraciones a los ecosistemas; Así mismo, un diagnóstico del territorio debe estar sustentado en indicadores que reflejen una realidad en un periodo de tiempo determinado, es decir, tomar una “fotografía” del estado actual de los diferentes ecosistemas presentes en el área de estudio. En efecto, contar con un diagnóstico soportado en datos confiables permite realizar proyecciones y plantear diferentes alternativas para la toma de decisiones al respecto. Esta prospectiva se concreta en los planes de ordenamiento territorial, los cuales deben incluir un sistema de monitoreo a la gestión que opere a través indicadores, y a la vez permita la medición de las metas planeadas, entre otros.

En Colombia, el monitoreo y seguimiento de las cuencas hidrográficas es deficiente, no se tiene un buen registro o por lo menos acceso a la información de la salud del territorio, este monitoreo de los cambios de los ecosistemas se realiza por medio de diferentes métodos y mediciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sin embargo, desde hace algún tiempo el uso de bioindicadores se ha venido aumentando y su aceptación como método de evaluación y calidad ecológica del ambiente ha crecido y se ha validado.

A veces el uso de variables fisicoquímicas o abióticas no permite detectar el impacto debido a que las concentraciones a las que puede estar presente no sean detectables, aunque esté generando un efecto adverso, ya que las técnicas analíticas actuales no permiten su detección.

Ruso et al. (2017)

“Para este tipo de inconvenientes muchos organismos son de gran ayuda para detectar la presencia de contaminantes, así como su grado de afectación” Ruso et al. (2017)

El biomonitoreo ayuda a determinar el impacto sobre los organismos expuestos a niveles de contaminación, a diferencia de los métodos tradicionales como los análisis físico o químicos

que solo evalúan su parte abiótica (aire, agua, suelo); además, el monitoreo convencional en áreas urbanas e industriales requiere de técnicas cada vez más costosas y complejas, por lo cual se hace necesario el uso de mecanismos alternativos que permitan obtener información relevante a precios más accesibles. (González Coto, 2014)

Según indica (Molero, (s.f.), como se citó en González Coto, 2014), los bioindicadores representan variables a las que es más difícil acceder directamente; además permiten conocer la diferencia entre la cantidad del contaminante existente en el medio y la fracción que realmente entra en contacto con los organismos y llega a ser incorporada en su cuerpo (“biodisponibilidad”); lo anterior tomando en cuenta que una parte de los contaminantes nunca entran en contacto con los organismos y otros poseen una baja tasa de permanencia en el medio a pesar de ser acumulados, incorporados y eliminados por los organismos, de forma variable. Mediante este tipo de indicadores, se provee información sobre la exposición durante un periodo largo y se involucra la interacción de los contaminantes.

Los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas son el instrumento de planificación territorial que busca el buen uso y administración de los recursos naturales, de manera que de un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de esos recursos y la conservación de la estructura biológica de la cuenca, estos planes se aplican mediante fases y ciclos. Las seis fases conforman un ciclo, cada ciclo marca un horizonte de tiempo para el cual el POMCA responde y su culminación marca un nuevo comienzo que dé cuenta de otras circunstancias sin perder de vista el conocimiento, la información y los logros obtenidos; dentro de las fases de formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS, la fase de diagnóstico es el estado actual de la cuenca en sus componentes: físico-biótico, socioeconómico y cultural, político administrativo, funcional y de

gestión del riesgo servirán de base para el análisis situacional y la síntesis ambiental de la cuenca objeto de ordenación y manejo. Por lo anterior, el diagnóstico accederá a conocer la situación a la que actualmente se enfrenta la cuenca y abordar de manera integral las potencialidades, conflictos, limitantes y posibles restricciones ambientales; además de brindar la posibilidad de identificar entre ellas las relaciones causa-efecto, las cuales serán el soporte para el desarrollo de las fases de prospectiva y zonificación ambiental y de formulación.

Aunque los bioindicadores son una excelente opción para realizar monitoreos en las cuencas hidrográficas, es necesario saber seleccionar el organismo ya que las poblaciones deben ser abundantes, muy sensibles a los cambios en el medio donde habitan, con poca movilidad, fáciles de identificar y bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico. En cuanto más estrecho sea su límite de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico.

La utilización de bioindicadores en la detección de procesos y estados en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas:

- Los organismos almacenan información que los parámetros físico-químicos no revelan, y que, en un determinado momento, pueden obviarse.
- El monitoreo biológico evita el análisis de un número innecesario de parámetros químicos y físicos, ya que en los organismos se manifiestan muchas de estas variables.
- La acumulación de sustancias en los tejidos de ciertos organismos, puede reflejar el nivel de contaminación ambiental, al determinar la concentración de estas sustancias en los bioindicadores.

- La selección de pocas especies indicadoras, va a simplificar y reducir los costos de monitoreo de calidad de un ecosistema, obteniéndose solo información concreta, desechando muchos datos complicados de manejar e interpretar.

Un bioindicador ideal debería representar a los parámetros ambientales que están íntimamente relacionados con él, pero esto raramente se presenta. Los buenos indicadores ambientales deben tener las siguientes características:

- Fáciles de identificar, ya que dudas taxonómicas pueden confundir la interpretación de los datos.
- Sencillos de muestrear y cuantificar, ya que solo necesitas unas redes económicas y no equipos de alta gama o tecnología.
- Su distribución tiene un rango alto, ya que existen especies que poseen hábitats restringidos y de limitada distribución, cuya ausencia puede confundirse con la presencia de polución y no estar asociada con ella.
- Abundantes, por si nuestra muestra se daña se puede volver a realizar el ensayo de muestreo.
- Asociados a numerosos datos biológicos y ecológicos, para poder facilitar el análisis y comparación de resultados de estudios y legados de polución o índices bióticos obtenidos en otros sitios.

Muchos organismos responder de manera diferente a las alteraciones presentadas en su medio, por ejemplo, para los monitoreos de los cuerpos hídricos los peces son los mejores aliados debido a que su ciclo de vida es largo y permite tener datos sobre contaminación sucedida tiempo

atrás. Su tamaño y movilidad les permite influir en el transporte de sustancias y elementos en los ecosistemas ya que sirven como bioacumuladores de contaminantes pues se encuentran en el nivel superior de la cadena alimenticia; los líquenes epifitos han sido utilizados para evaluar los niveles de contaminación especialmente aquella producida por el dióxido de azufre ya que produce la acidificación de la corteza del árbol y del liquen. (Lijteroff, Lima y Prieri, 2009).

Por lo anterior, los bioindicadores son una buena herramienta para conocer los estados de los ecosistemas apoyando la fase de Diagnóstico, seguimiento y monitoreo en los instrumentos de planificación territorial especialmente en lo referente a las cuencas hidrográficas; disminuyendo los costos de los estudios y aumentando la precisión de los cambios generados en las fuentes hídricas, suelo o aire.

Conclusiones

- El agua de la quebrada La Tablona, tiene problemas de contaminación por diferentes factores alrededor de su cuenca, a pesar de ser un área que se encuentra protegida. Esto a consecuencia de las diferentes actividades económicas que se realizan en esta área tales como ganadería extensiva, cultivos agrícolas y presencia de población. Esto lo confirmó el índice de calidad del agua calculado para este estudio, el cual indicó calidad del agua REGULAR.
- Las 5 investigaciones consultadas y analizadas suministraron información referente a los macroinvertebrados encontrados en las diferentes fuentes hídricas de la región, situación que permitió concluir de manera preliminar cuales eran las familias más representativas en esta región y además permitió conocer cuáles son los factores y las condiciones ambientales y geográficas que limitan o favorecen la presencia de estos organismos, siendo así, el orden de mayor presencia fue el Ephemeroptera seguido del Diptera con las familias Chironomidae y Simuliidae. El parámetro fisicoquímico que más influye en la distribución de los macroinvertebrados es el pH.
- Existen muchos factores abióticos que intervienen en los macroinvertebrados acuáticos que hacen que sean sensibles a dichos cambios en los parámetros del agua y modifiquen su presencia o ausencia, entre los que se encuentran la penetración de la luz solar, la temperatura, los gases disueltos en el agua, Oxígeno Disuelto (OD), potencial de Hidrogeno (pH), Fosfatos, nitratos y turbiedad, así como las temporadas de invierno y verano hacen que disminuya y aumente el caudal y que se transporten mayor o menor cantidad de sólidos disueltos y suspendidos.

- Los macroinvertebrados son una herramienta fácil, económica y acertada para la utilización de monitoreos biológicos para determinar el estado ecológico de las fuentes hídricas. Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar, Son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones locales. Relativamente fáciles de identificar. Presentan los efectos de las variaciones ambientales en corto tiempo. Proporcionan información para integrar efectos acumulativos. Poseen ciclos de vida largos, Son apreciables a simple vista. Se pueden cultivar en el laboratorio. Responden rápidamente a los tensores ambientales. Varían poco genéticamente esto soportado en los estudios realizados en Colombia de Gabriel Roldan y a nivel mundial.

Recomendaciones

- La Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado de Yopal es la encargada de realizar los monitoreos de la microcuenca abastecedora la Tablona, sin embargo estos monitoreos se realizan solo con parámetros físico-químicos y microbiológicos. Complementar estos estudios con muestreos biológicos, lo cual permitirá tener una información más amplia y completa de la cuenca. Con esto las autoridades municipales y departamentales tendrán más herramientas en el momento de planificar y ordenar sus territorios.
- En Colombia, las cuencas se enfrentan a impactos generados por actividades antrópicas como la agricultura, industria, consumos humanos de las grandes ciudades y afectaciones diarias que aumentan la degradación de los ecosistemas, de igual manera, el monitoreo y seguimiento de las cuencas hidrográficas es deficiente, no se tiene un buen registro o por lo menos acceso a la información de la salud del territorio lo cual es necesario siendo este un instrumento importante para realizar acciones de conservación de las cuencas hidrográficas.
- Si bien se han realizado estudios en la región de la Orinoquia de los macroinvertebrados como indicadores biológicos de la calidad del agua, estos estudios no son suficientes para tener una representatividad y aceptación de estos organismos para determinar calidad del agua en la región, por lo cual se recomienda su utilización.

Referencias

- Alcaldía de Yopal. (2013). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT)*. Recuperado de https://yopalcasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/yopalcasanare/content/files/000456/22770_pot.pdf
- Alcaldía de Yopal. (2018). *Plan de Desarrollo Municipal 2018-2019*. Recuperado de <http://www.yopal-casanare.gov.co/noticias/plan-de-desarrollo-municipal-alcaldia-municipal-de-yopal>
- Álvarez Arango, L. (2005). *Metodología para la Evaluación De Los Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores De Los Recursos Hidrobiológicos*. Instituto Alexander Von Humboldt [HUMBOLDT]. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>
- Araujo Alonso, M (2011). *Introducción A La Medicina Basada En Evidencias*. Revista Biomédica Revisada Por Pares, 11(11). doi: 10.5867/medwave.2011.11.5220. Recuperado de <https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/mbe01/5220>
- Bolaños-Alfaro, J., Cordero-Castro, G. y Segura-Araya, G. (Octubre-Diciembre 2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, 30(4). Pág. 15-27. doi: 10.18845/tm.v30i4.3408
- Castañeda, J. y Pérez, F. (2018). *Macroinvertebrados acuáticos e índice "ICA" como sistema de evaluación de calidad de agua de la quebrada El Turrón ubicado en la vereda la Niata en el municipio de Yopal Casanare*. (Trabajo de grado). Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL, Yopal, Casanare, Colombia.

- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE]. (2008). *Seminario internacional: Cogestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos*. Costa Rica. Recuperado de <https://www.catie.ac.cr/en/libros-o-capitulos/2635-seminario-internacional-cogestion-de-cuencas-hidrograficas-experiencias-y-desafios.html>
- Contraloría Departamental de Casanare. (2013). *Informe sobre el estado de los recursos naturales y el medio ambiente vigencia 2012*: Yopal. Recuperado de [contraloriacasanare.gov.co › informe-ambiental-vigencia-2012](http://contraloriacasanare.gov.co/informe-ambiental-vigencia-2012)
- Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia [Corporinoquia]. (2018). Resumen Ejecutivo del *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del Río Cravo Sur*. Recuperado de https://www.corporinoquia.gov.co/files/A%20MAPAS%20RESUMEN%20EJECUTIVO_.pdf
- Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia [CORPORINOQUIA]. (2013). *Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) 2013-2025*. Yopal. Recuperado de http://www.corporinoquia.gov.co/files/pgar/doc_final_%20PGAR_2013_2025.pdf
- Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia [Corporinoquia]. (s.f). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL RESERVA FORESTAL MICROCUENCA LA TABLONA (PMA)*
- Díaz Barragán, L. M. (2016). *Determinación de la vulnerabilidad producida por el desabastecimiento del sistema de acueducto en el municipio de Yopal, Casanare*. (Trabajo de grado, Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil). Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/51

El fósforo ha pasado de ser un nutriente a ser un contaminante global. (17/03/2017). *La ciencia es noticia*. Recuperado de <https://www.agenciasinc.es/Noticias/El-fosforo-ha-pasado-de-ser-un-nutriente-a-ser-un-contaminante-global>

García Murillo, P. G. (2018a). Evaluación de tres desinfectantes contra el moho gris causado por *Botrytis cinerea* en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 9(1), 39–45. <https://doi.org/10.14483/2248762X.13882>

García Murillo, P. G. (2018b). Producción de orellanas (*Pleurotus ostreatus*) como alternativa para el tratamiento de residuos sólidos de origen vegetal en Bogotá D.C. *Redes de Ingeniería*, 9(1), 26–31. <https://doi.org/10.14483/2248762x.13858>

García-Murillo, P. G. (2014). Evaluación de tres aislamientos del género *Trichoderma*, en combinación con pregerminación controlada de semillas, contra *Botrytis cinerea* y *Rhizoctia solani*. *Actualidades Biológicas*, 36, 236–237. Retrieved from <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/resumenesviiiCongMicologia.pdf>

García-Murillo, P. G. (2015). Bioprospección de microorganismos nativos como alternativa de manejo de enfermedades en cultivos de la Sabana de Bogotá. *Revista CITAS*, 1(1), 9–19. Retrieved from <http://portal.ustadistancia.edu.co/citas/ediciones/vol-1/files/assets/basic-html/page9.html>

García-Murillo, P. G. (2019). Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 5–12. <https://doi.org/10.14483/2248762X.15091>

- García, I. y Páez, R. (2014). *Aproximación a la problemática de acueducto y alcantarillado en la ciudad de Yopal*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.fce.unal.edu.co/publicaciones/images/documentos-econografos-economia-67.pdf>
- Gestión sostenible del agua [gidahatari]. (2013). *Impactos de la agricultura en el recurso hídrico*. Recuperado de <http://gidahatari.com/ih-es/impactos-agricultura-recurso-hidrico>
- González-Coto, J. (2014). *Bioindicadores como aliados en el monitoreo de condiciones ambientales*. CEGESTI Éxito empresarial, 252. Recuperado de http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_252_240214_es.pdf
- Goyenola, G. (2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA. Recuperado de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf
- Granados, D. y Granados, J. (2011). *Diagnóstico de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados como organismos bioindicadores en la quebrada La Tablona, municipio de Yopal, Casanare*. (Trabajo de grado). Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL, Yopal, Casanare, Colombia.
- Gualdrón Durán, L. (2016). *Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos*. Revista Dinámica Ambiental, 1(1), [83-102]. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/4593/3916>

Guillot, G. (1997). *Bioindicación: algunas consideraciones y reflexiones generales*. En: *Seminario invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales*. Bogotá: Guadalupe, p. 169-182.

Hanson, P., Springer, M. y Ramírez, A. (2010). *Revista de Biología Tropical. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*, 58(4). Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0034-77442010000800001

Ibáñez, S., Moreno H. y Gisbert, J. (s.f.). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología%20de%20una%20cuenca.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2013). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.02+HM+Indice+calidad+agua.pdf/64d91908-a788-4df8-9391-481d898c692c>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2018). *Índice de calidad del agua estación Puente Yopal, Río Cravo Sur* [Grafica]. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/agua>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua (ENA)*. Bogotá, D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá, D.C.

Lijteroff, R., Lima, L. y Prieri, B. (2009). Revista internacional de contaminación ambiental. *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina*, 25(2). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200006

Los Macrófitos. (16, abril 2016) *Los Macrófitos como indicadores del estado ecológico*. Recuperado de <http://www.biosfera.es/los-macrofitos-como-indicadores-del-estado-ecologico/>

Lozano Ortiz, L. (2015). *La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá*. Umbral científico, núm 7, diciembre, 2005, [5-11] Universidad Manuela Beltrán Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400702>

Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [Minambiente]. (22 de junio 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. [Resolución 2115 de 2007]/ Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Resolucion_2115.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 124 p. Recuperado de

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/direccion-integral-de-recurso-hidrico/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico#documentos-de-inter%20C3%A9s>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2 de agosto de 2012). *Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones*. [Decreto número 1640 de 2012]. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/GUIA_DE_POMCAS.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2018). *Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/GUÍA_METODOLÓGICA_FORMULACIÓN_PMA_MICROCUENCAS.pdf

Morales Salinas, N. (2011). *¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos. Propuesta Metodológica*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/10195/1/naferedivarmoralessalinas.2011.pdf>

Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M. y Jiménez, J. (01 de mayo de 2015). SciElo. *Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México, 6(5)*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S2007-24222015000500005

Olivero Verbel, J. (15 de diciembre de 2017). Esto es lo que contamina nuestras fuentes hídricas. *Revista Semana*. Recuperado de <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/atrato-el-río-tiene-la-palabra/articulo/lo-que-contamina-nuestras-fuentes-hidricas/551273>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1992). *Documento técnico de pesca*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/T0537S/T0537S00.HTM#toc>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s00.htm#TopOfPage>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2019) *Agua*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:targetText=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,muertes%20por%20diarrea%20al%20a%C3%B1o>.

Ortega Sánchez, M. H. (2014). *Caracterización físico-química de las aguas de la laguna Mapagüña provincia de Chimborazo*. (Trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE). [Grafica]. Recuperado de <https://docplayer.es/76340693-Departamento-de-ciencias-de-la-tierra-y-de-la-construccion-carrera-de-ingenieria-geografica-y-del-medio-ambiente.html>

- Pallares Paredes, K. B. (2017). *Caracterización de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en arroyos del campus Utopía – Universidad de La Salle (Yopal-Casanare)*. (Trabajo de grado). Universidad de la Salle, Bogotá D. C., Colombia Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/22>
- Patiño Pescador, G. (2015). *Evaluación de la Calidad del Agua por Medio de Bioindicadores Macroinvertebrados Acuáticos en la Quebrada la Vieja*. (Trabajo de grado de Tecnóloga/ Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4724/1/Pati%C3%B1oPescadorGinaAlejandra2015.pdf>
- Parques Nacionales Naturales [PNN], Registro único nacional de Áreas Protegidas [RUNAP]. (2018). *Cuenca Hidrográfica de la Quebrada la Tablona*. Recuperado de <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/423>
- Peña, S., Bohórquez, H., Barrera, A., Salamanca, S., Jiménez D. y Botello, W. (2019). Entre Ciencia e Ingeniería. *Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare)*, 13(25), [14-22]. doi: <https://doi.org/10.31908/19098367.4010>
- Püts, P. (2010). *Eliminación y determinación de fosfato*. Interempresas. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>
- Roback, S. y Nieser, N. (1974). Aquatic Hemiptera (Heteroptera) from the Llanos of Colombia. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 126, 29-49. Recuperado de www.jstor.org/stable/4064729

- Roldan Pérez, Gabriel A. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col.* Recuperado de https://www.academia.edu/5085896/Bioindicaci%C3%B3n_de_la_calidad_del_agua_en_Colombia_Roldan_2003
- Roldan Pérez, Gabriel A. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica.* Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen (40), [254-274]. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082016000200007&script=sci_abstract&lng=es
- Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical.* 2ª ed. Medellín: Universidad de Antioquia. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=FA5Jr7pXF1UC&printsec=frontcover#v=onepage&qyf=false>
- Ruso, Y., De La Ossa, J., Fernández, Y., Ferrero, L., Martínez, E. y Sánchez, J. (Noviembre, 2017). *Uso de bioindicadores de comunidades bentónicas como herramientas para la evaluación del impacto medioambiental generado en el medio marino.* Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Recuperado de <http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/UA-Uso+bioindicadores+comunidades+bent%C3%B3nicas+medio+marino+Lizaso+2017.pdf/48a1922b-d3a3-4e8c-a04a-e91617b06617>
- Salazar, M., Valencia, M. y Figueroa, A. (2014). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Transporte de Materia Orgánica Particulada en una Corriente Altoandina:*

Quebrada Arrayanales (Cauca – Colombia), 12(2), 160-169. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a18.pdf>

Vannote, R., Minshall, G., Cummins, K., Sedell, J. y Cushing, C (1980) *The River Continuum Concept*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (37), [130-137]. Recuperado de https://web.archive.org/web/20061125083254/http://www.colorado.edu/geography/geomorph/envs_5810/vannote_1980.pdf

Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., y Castro, T. (2006). *Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua*. *ContactoS.* (60), [41-48] Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/279448839_MICROORGANISMOS_COMO_BIOINDICADORES_DE_CALIDAD_DE_AGUAS/download

Zagareze, H., Cravero, W., Villafañe, V. y Helbling, W. (1998). *Ciencias del Mar. Efecto de la radiación ultravioleta sobre los ecosistemas acuáticos*, 8(45). Recuperado de http://aquaticcommons.org/16701/2/CienciaHoy1998_8_45_22.pdf