

NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CALI EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI – VALLE DEL CAUCA - 2021

Autores

**CRHISTIAN HERNÁN MUÑOZ ORTEGÓN
ANDRÉS FELIPE MORENO WIEDMAN**

**PROGRAMA DE GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
FACULTAD DE HUMANIDADES**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
SEDE CALI, MELENDEZ**
Santiago de Cali, Octubre de 2021

NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CALI EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI – VALLE DEL CAUCA - 2021

Autores

**CRHISTIAN HERNÁN MUÑOZ ORTEGÓN
ANDRÉS FELIPE MORENO WIEDMAN**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
GEÓGRAFO**

**Directora: CECILIA OROZCO CAÑAS
Magíster en Políticas Públicas**

**PROGRAMA DE GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
FACULTAD DE HUMANIDADES
UNIVERSIDAD DEL VALLE
Santiago de Cali, Octubre de 2021**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
4. OBJETIVOS	7
4.1 Objetivo General.....	7
4.2 Objetivos Específicos	7
5. MARCO TEÓRICO	8
5.1 Calidad del Agua	8
5.2 Bioindicación.....	9
5.3 Huella Hídrica y Huella Hídrica Azul	9
5.4 Dytiscidae, Escarabajos Acuáticos Depredadores	10
5.5 Planariidae, Organismos de Aguas Poco Contaminadas	10
6. METODOLOGIA.....	12
6.1 Descripción del Área de Estudio	12
6.2 Trabajo de campo	13
6.3 Puntos de muestreo	13
6.4 La Red Surber	15
6.5 Toma de Muestras.....	16
6.6 Preservación de las muestras	18
6.7 Identificación de las muestras.....	19
6.8 Descripción de los macro invertebrados encontrados en la muestra	21
7. RESULTADOS	28
7.1 Índice de Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico, BMWP	28
7.2 Índice de Puntaje Promedio por Taxón, ASPT.....	33
7.3 Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, EPT	35
7.4 Índice de Dípteros.....	36
7.5 Índice de Calidad de Agua, ICA.....	37
8. DISCUSION	40
9. CONCLUSIONES.....	42
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntajes asignados a las diferentes familias de macro invertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col	29
Tabla 2. Puntuación BMWP/Col en el punto 1.....	30
Tabla 3. Puntuación BMWP/Col en el punto 2.....	30
Tabla 4. Puntuación BMWP/Col en el punto 3.....	30
Tabla 5. Puntuación BMWP/Col en el punto 4.....	31
Tabla 6. Puntuación BMWP/Col en el punto 5.....	31
Tabla 7. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/Col.....	31
Tabla 8. Índice del Grupo de trabajo de monitoreo biológico.	32
Tabla 9. Puntaje promedio por taxón (ASPT) en cada punto de muestreo.	34
Tabla 10. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice ASPT.	34
Tabla 11. Clasificación del índice del Puntaje promedio por taxón (ASPT).....	34
Tabla 12. Índice ETP (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).....	36
Tabla 13. Cálculo de puntaje para el índice de dípteros.	36
Tabla 14. Serie de índices, incluido el ICA calculados por el IDEAM	38
Tabla 15. Identificación de las familias.	39

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Descripción de la Cuenca del Río Cali.	12
Mapa 2. Localización de los puntos de toma de muestras.	14
Mapa 3. Índice BMWP/Col en cada uno de los puntos de muestreo.	32
Mapa 4. Índice ASPT en cada uno de los puntos de muestreo.	35
Mapa 5. Índice de Calidad de Agua (ICA), datos del IDEAM.....	39

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Red Surber construida.....	15
Ilustración 2. Tamaño del tamiz de la malla usada en la red Surber.....	16
Ilustración 3. Modo de empleo de la red Surber.	17
Ilustración 4. Elementos para la preservación de las muestras.	18
Ilustración 5. Imagen altamente detallada de Macroinvertebrates.org.	20

RESUMEN

La Cuenca del Río Cali está ubicada al norte del municipio de Santiago de Cali, departamento del Valle del Cauca, Colombia, nace en la cara oriental de cordillera occidental y termina donde vierte su agua en el Río Cauca, lo cual la hace parte de la cuenca de este río. La Cuenca del Río Cali cuenta con un área de 215² km, donde se encuentran 10 corregimientos y 41 veredas, de las cuales 25 tienen centros poblados declarados como zona urbana. La Cuenca provee de agua para 420 mil personas incluido gran parte de la Ciudad de Santiago de Cali una de las ciudades más grandes e importantes de Colombia.

En este estudio se describen diferentes índices de calidad de agua (ICA) frecuentemente usado en subcuencas de la región andina. Se usaron comunidades de macro invertebrados acuáticos que viven en los fondos del río, también llamados bentónicos. Obtenidos de diferentes partes de la Cuenca para calcular el índice de Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico, más conocido por sus siglas en inglés Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado para la región. También, se obtuvo el Puntaje Promedio Por Taxón, Average Score Per Taxon (ASPT), el índice Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera (EPT) y el índice de Dípteros. Estos índices permiten tantear los niveles de la calidad de agua en la cuenca.

Palabras clave: Calidad del Agua, Río Cali, Cuenca, BMWP/Col, ASPT, EPT, Índice de dípteros.

1. INTRODUCCIÓN

La capital del Valle del Cauca, es llamada la ciudad de los siete ríos debido a que por su entorno viajan los afluentes Pance, Lili, Meléndez, Cañaveralejo, Cauca, Aguacatal y Cali. Para la ciudad, los ríos constituyen un recurso natural de mucha importancia, cumplen función de recreación, proveedora de agua, salud, fomento turístico, generación de empleo y bienestar, los hogares de Santiago de Cali, la industria, y el comercio se benefician de un buen aporte hídrico de estos ríos.

La bioindicación, considera que un organismo es un indicador de calidad del agua cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán, 1999). Aunque existen varias especies que se las puede catalogar como bioindicadores (líquenes, algas, insectos), en este apartado se utilizarán los macro invertebrados (Bentos) como indicadores de la calidad del agua en un ecosistema lótico, los cuales tienen adaptaciones corporales como ganchos, ventosas y cuerpos aplanados para resistir la velocidad de la corriente (Roldán, 2003); y la variación de la diversidad biológica de esta especie con respecto a la calidad del agua de este ecosistema, que será determinada con base al método BMWP/Col, para Colombia.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de esta investigación tiene como finalidad evaluar la calidad del agua en diferentes puntos del trayecto del Río Cali y como esta ha sido directa o indirectamente afectada por la presencia de actividades antrópicas dentro de su cuenca. Debido a que en los últimos años se ha observado por parte de las autoridades ambientales el aumento de prácticas antrópicas en el territorio correspondiente a la cuenca del río.

El estudio posee especial importancia para las personas que viven en el municipio de Santiago de Cali, la tercer ciudad más poblada del país, quienes dependen de este recurso vital que es el agua y que influye directamente sobre su salud, y por ende, la calidad de vida de las personas, como también, su importancia sobre el medio ambiente y los diversos ecosistemas que constituyen su territorio.

Este trabajo, adicionalmente, amerita porque profundiza en una problemática que desde las instituciones públicas no se le ha dado su adecuado manejo e intervención, lo que ha generado problemas de orden público, social y ambiental.

Por último, es importante porque aporta y enriquece al saber geográfico en torno a los conflictos sociales y ambientales de las zonas rurales del municipio de Santiago de Cali. Además esta investigación puede significar un aporte y vinculación de estos saberes a las políticas públicas de ordenamiento y planificación del territorio.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los ríos, arroyos y aguas subterráneas son recursos públicos valiosos, brindan oportunidades recreativas y turísticas, hábitat para la vida silvestre, agua para usos agrícolas e industriales. Proteger nuestros recursos hídricos también protegerá la salud humana, nuestros ecosistemas y la economía. El deterioro ambiental de la cuenca del Río Cali llevaría que se pierda todas estas posibilidades de uso y aprovechamiento de este recurso.

Las políticas de gestión de la calidad del agua para prevenir, controlar o tratar los problemas ambientales relacionados con la calidad del agua, son temas amplios y complejos. Existen muchos tipos de recursos hídricos, diferentes usos del agua y varios parámetros de decisión con numerosos tomadores de decisiones involucrados en un mismo espacio y tiempo. Adicionalmente, hay muchas estrategias y tecnologías disponibles para aplicar en la gestión de la calidad del agua, por lo que los responsables de la toma de decisiones ambientales deben evaluarlas y priorizarlas para elegir el mejor plan posible para cada problema en particular.

Para proporcionar una herramienta completa pero fácil de usar en la valoración y evaluación de las políticas de calidad del agua, se ha desarrollado el concepto de índice de calidad del agua (ICA). Para obtener este índice, se necesita una metodología que no solo estructure e

identifique información relevante para el problema, sino que también ayude a los usuarios a tomar una decisión. El diseño de un sistema experto de soporte de decisiones, que pone el conocimiento experto a disposición de los usuarios no expertos, logra eso.

La Corporación Autónoma Regional de Valle del Cauca, CVC, toma permanentemente muestras para evaluar presencia de metales pesados a nivel del agua o sedimentos. Durante el 2020 la Corporación realizó un monitoreo seriado para medir la presencia de cianuro y mercurio en el agua. Sin embargo, existen muchos otros elementos que también contaminan el agua, como por ejemplo el descargue de desechos orgánicos.

¿Cuál es la calidad del agua de la cuenca del Río Cali, en el municipio de Santiago de Cali?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua del Río Cali por medio de bioindicación en el año 2021 en el municipio de Santiago de Cali.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar los índices de calidad de agua a partir de los datos.
- Analizar los resultados de los índices de calidad de agua en el Río Cali.
- Valorar el grado de influencia de las actividades en la Cuenca del Río Cali.

5. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado, se abordan los conceptos que soportan teóricamente la investigación y los cuales se soportan bajo los criterios epistemológicos e investigativos de autores y organismos internacionales y nacionales.

5.1 CALIDAD DEL AGUA

El concepto de calidad del agua, se utiliza “... para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua”¹, cuya calidad “depende principalmente del uso que se le va a dar”², en otras palabras, se refiere a la idoneidad del agua para determinados usos teniendo como condicionante sus características físicas químicas y biológicas³. Siguiendo en el último concepto, se dará sustento desde el Centro de Investigación en Control de Contaminantes Ambientales (CICCA), el cual plantea que la calidad del agua “es un concepto relativo que depende del uso que va a tener el agua o el sistema que nosotros queremos evaluar”⁴, pero que ha sido definida bajo determinados aspectos.

Es importante destacar el aporte que han venido realizando organismos internacionales, tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de Naciones Unidas (ONU), al exponer documentos y acuerdos para la protección del agua y la importancia de mantener su calidad, especialmente en la utilizada para consumo humano y fines domésticos, enfatizando sobre la “Gestión inadecuada que se realiza de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva a que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente”⁵; por lo que, señala que entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), la meta de “Reducir la proporción de población mundial sin acceso sostenible a agua potable (ODM 7)”, el cual se midió mediante el indicador de la población que utilizaba fuentes mejoradas de suministro de agua potable, pero sin tener en cuenta la ubicación, disponibilidad o calidad del agua. De allí que, es de suma importancia que los entes gubernamentales se ocupen por llevar a cabo las políticas necesarias para mantener la salubridad de aquellas fuentes fluviales, especialmente las que surten los acueductos de aguas aptas para consumo humano⁶.

¹ UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Calidad del Agua. Estados Unidos: Estudios Geológicos de los Estados Unidos, 2016.

² IBID. p. 1.

³ UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. A Primer on Water Quality. Estados Unidos: Estudios Geológicos de los Estados Unidos, 2016. p. 1.

⁴ PRAT, Narcis. En: Seminario Internacional “Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de Calidad del Agua (17-20, febrero: Santiago de Cali, Valle del Cauca). Limnología Fluvial y Bioindicación de Calidad de Agua. Barcelona España: Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona.

⁵ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Agua. 2019. {En línea} {Consultado junio 2021}. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

⁶ IBID. p. 1.

5.2 BIOINDICACIÓN

La bioindicación es “es una técnica de evaluación ambiental que a lo largo de los años se ha venido consolidando como método para la detección y control de la toxicidad en un determinado ecosistema. Así, desde hace dos décadas se están desarrollando métodos de bioindicación que han analizado la salud ambiental del aire, suelo y agua de los más variados entornos”⁷. Asimismo, se puede considerar como: “Un ser vivo que indica las condiciones del medio en que vive”⁸; en palabras de Capó, “son aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones, dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales”⁹. También se dará sustento a este concepto, desde otras dos fuentes; primero, desde los planteamientos que da el CICCA, que refiere específicamente a los bioindicadores de la calidad del agua, planteando “que un organismo es un indicador de calidad del agua, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas...”¹⁰. Y segundo, desde los planteamientos de Silva, Mejía y otros, que postulan que una bioindicación “se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros”¹¹.

5.3 HUELLA HÍDRICA Y HUELLA HÍDRICA AZUL

Tal y como lo señala Caballero el concepto de **huella hídrica** “fue acuñado en 2002 por los investigadores de la Universidad de Twente (Países Bajos) Arjen Hoekstra y Mesfin Mekonnen, que establecieron esta variable para obtener información valiosa sobre el consumo real de agua y los usos que hacemos de ésta, desde las fuentes superficiales y subterráneas pasando por toda la cadena de producción y distribución hasta llegar al producto final”¹².

De allí que, el concepto de algunos aportes argumentados por la Comisión Nacional del Agua

⁷ EROSKI CONSUMER. La bioindicación se consolida como método de detección y control de la toxicidad en los ecosistemas. 2002. {En línea} {Consultado marzo 2021}. Disponible en: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/la-bioindicacion-se-consolida-como-metodo-de-deteccion-y-control-de-la-toxicidad-en-los-ecosistemas.html>

⁸ DEPARTAMENTO DE URBANISMO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID. Bioindicadores. Madrid: Documentación Hábitat, 2005. p. 48

⁹ IBID. p. 1.

* Ver PRAT, Narcis. Op. Cit., p. 1

¹⁰ ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. En: Seminario Internacional. Op. Cit., Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Agua en Colombia: Estado Actual y Perspectivas. Medellín Colombia: Universidad de Antioquia.

¹¹ VÁSQUEZ SILVA, Gabriela, MEJÍA CASTRO, Germán, et al. Ciudad de México D.F.: Departamento El Hombre y su Ambiente Universidad Autónoma Metropolitana de México, 2006. 7 p.

¹² CABALLERO, A. ¿Qué es la huella hídrica y por qué es importante? 2018. {En línea} {Consultado marzo 2021}. Disponible en: <https://planetainteligente.elmundo.es/2019/eco/que-es-la-huella-hidrica-y-por-que-es-importante.html>

de la República de México sobre el concepto huella hídrica, sobre todo enfatizando en el impacto que generamos a los ciclos naturales del agua al utilizarla como factor clave en la fabricación o elaboración de productos¹³.

Para el concepto de huella hídrica azul, se dará soporte desde la definición dada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), que la define como “Volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, consumido para producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha a causa de un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia”¹⁴.

5.4 DYTISCIDAE, ESCARABAJOS ACUÁTICOS DEPRADADORES

Es uno de los grupos de escarabajos acuáticos más grandes y más comunes. Tanto los adultos como las larvas son depredadores y atacarán a una amplia variedad de pequeños organismos acuáticos. Aunque la mayoría de las especies son de tamaño pequeño a mediano, algunos adultos pueden alcanzar una longitud de 35 mm.

Hábitat, los diácidos generalmente prefieren agua lenta o estancada, como estanques, lagos, billabongs, presas y piscinas en los bordes de los arroyos. Requieren aire atmosférico, y los escarabajos adultos van a la superficie para recoger el aire que almacenan en una cámara debajo de sus élitros (cubiertas de alas) para permitirles aumentar el tiempo que pueden sumergirse. Las larvas carecen de esta capacidad, pero muchas especies usan un sifón en forma de filamentos largos al final del abdomen.

5.5 PLANARIIDAE, ORGANISMOS DE AGUAS POCO CONTAMINADAS

Un planario es uno de los muchos gusanos planos de la clase tradicional Turbellaria. Por lo general, describe gusanos planos de vida libre del orden Tricladida, aunque este nombre común también se usa para una gran cantidad de platelmintos de vida libre. Las planarias son comunes en muchas partes del mundo y viven en estanques y ríos de agua salada y dulce. Algunas especies son terrestres y se encuentran debajo de los troncos, dentro o sobre el suelo, y en plantas en áreas húmedas.

Elmidae

Las larvas son de cuerpo elongado, miden de 3- 14 mm. El abdomen está dividido en 9

¹³ REPÚBLICA DE MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. El Agua Virtual y la Huella Hídrica. {En línea} {Consultado marzo 2021}. Disponible en: <http://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/guias/NTC5613.pdf>. Consulta 22 de marzo de 2017

¹⁴ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). En: Revista de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. 2011, n° 7. p. 14

*Ver libro Metodología de la Investigación (6ª edición; página 108) del autor Roberto Hernández Sampieri.

segmentos, el noveno segmento presenta en la superficie ventral un opérculo, el cual contiene las branquias a modo de finas pilosidades. Los adultos son de cuerpo endurecido, de forma oval-elongados. Miden entre 2,5-7,0 mm. Antenas largas y filiformes; tarsos con 5 tarsómeros, el 5 tarsómero tan largo como los 4 primeros combinados.

Esta familia es completamente acuática; aunque los adultos de algunas especies son encontrados fuera del agua (Mc. Cafferty, 1981). Tanto las larvas como los adultos, se encuentran adheridos a una diversidad de sustratos, principalmente en ríos y arroyos. (Roldan, 1988). Los sustratos incluyen: troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y vegetación inmersa y emergente. De acuerdo con los hábitos alimenticios existen algunos herbívoros, mientras que otros son detritívoros (Merritt y Cummins, 1984).

Physidae.

Physidae es una familia de caracoles de agua. Son fáciles de mantener, se alimenta de la misma comida que los Planorbis: "comida para peces de fondo, lechuga, calabacín, zanahoria, etc."

Toleran temperaturas de 13 a 30 °C. Son hermafroditas, pero son necesarios dos individuos para reproducirse. La bolsa de huevos es transparente y difícil de ver a simple vista, se pueden ver a través de la luz, según vayan creciendo los faroles dentro de la bolsa se podrán ver cada vez mejor. Los Physidae se encuentran también en la naturaleza, como ríos, balsas y más. No suelen crecer mucho, no suelen pasar del centímetro.

Dugesia.

Viven en aguas poco profundas debajo de piedras, troncos sumergidos, ramas, hojas y sustratos similares.

Baetidae, Baetodes.

Viven en aguas rápidas, debajo de troncos, ramas, hojas y adheridos a vegetación sumergida.

Corixidae, Neocorixa.

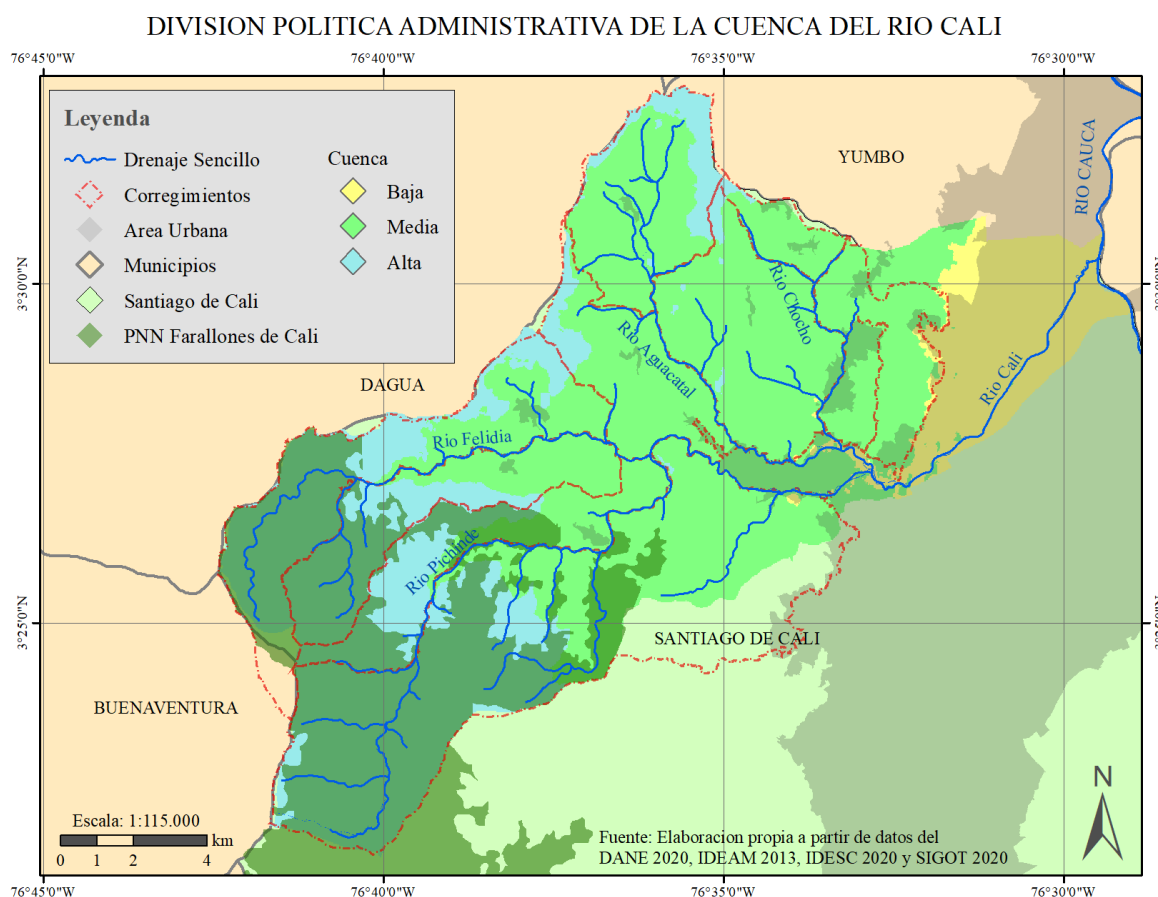
Viven en ecosistemas lóticos, en zonas de deposición de sedimentos y restos vegetales. Estas especies son bastante comunes dado su resistencia y se encuentran con facilidad (Asoambientes, 1996).

6. METODOLOGIA

6.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Cali está situada en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali en el municipio de Santiago de Cali, departamento del Valle del Cauca, Colombia. Nace en el Alto del Buey a los 4.000 msnm con una superficie total aproximada de 215 km² de los cuales el 95% corresponden al municipio de Santiago de Cali y 5% pertenecen al municipio de Yumbo¹⁵.

El río recorre una distancia cercana a los 50 Kilómetros en jurisdicción del municipio de Cali y desemboca sobre la margen izquierda del Río Cauca, luego de recorrer 16 kilómetros cruzando la ciudad de oeste a este. Entre sus afluentes se destacan las cuencas de los ríos Pichindé, Felidia, Aguacatal y Chocho, como se aprecia en el siguiente mapa, mapa 1:



Mapa 1. Descripción de la Cuenca del Río Cali.

¹⁵ ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Balance-Oferta-Demanda de agua cuenca del río Cali. 2018. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/Balance_Cali_0.pdf

6.2 TRABAJO DE CAMPO

El empleo de macro invertebrados acuáticos es una manera de seguimiento de la calidad de agua, el cual se está aprovechando significativamente en el monitoreo y fiscalización de agentes contaminantes.

En este estudio se interesó implementar estos seres vivos como indicadores de calidad para establecer los niveles de contaminación haciendo uso de la metodología BMWP/col, con el propósito de evaluar la calidad del agua a través de la recopilación de macro invertebrados acuáticos a lo largo del curso del Río Cali, el cual es uno de los principales suministros de agua del municipio de Santiago de Cali, se escogieron 5 puntos estratégicos para determinar las condiciones de alteración de la calidad del agua según las diferentes actividades al interior de la cuenca del río.

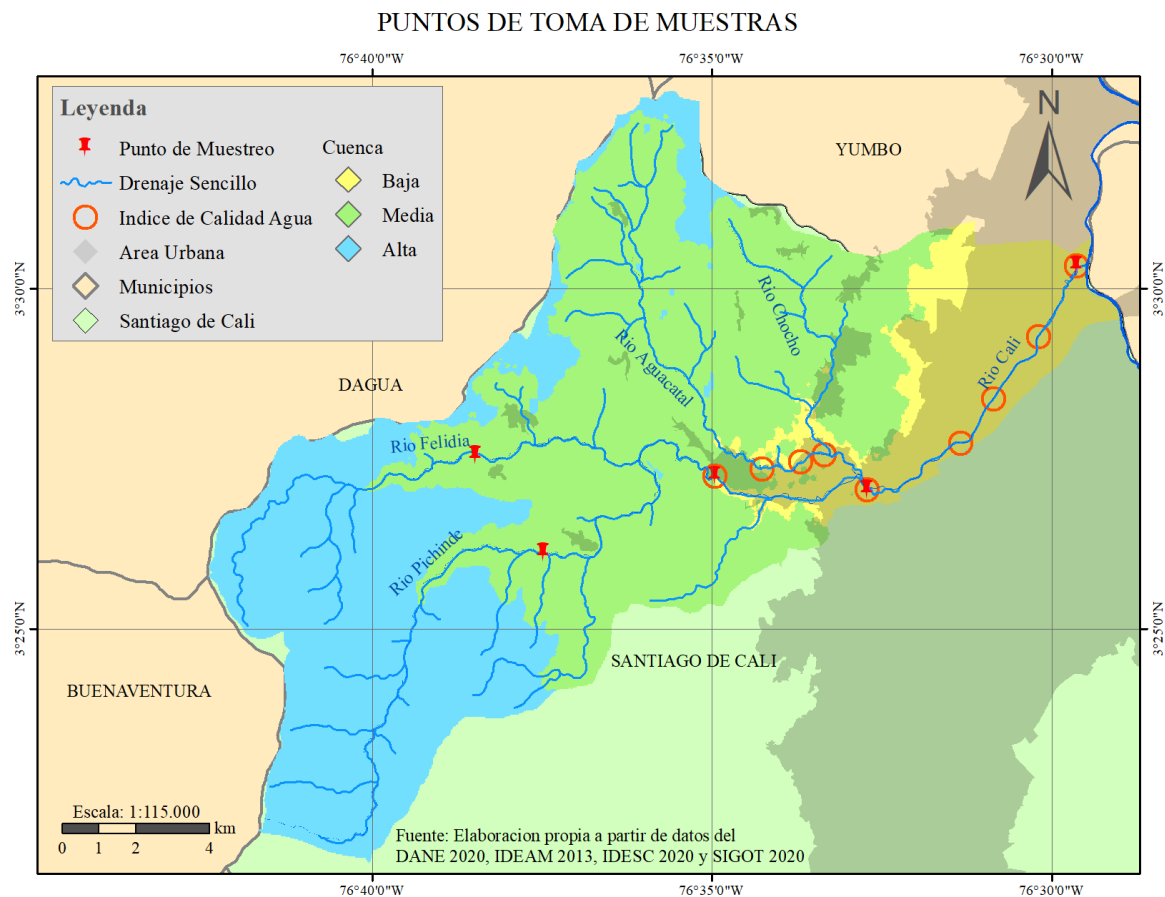
Se realizaron 10 muestreos haciendo uso de una herramienta conocida como red Surber. Los puntos de muestreo se localizaron entre los corregimientos de Pichindé y Los Andes, en la parte alta de los corregimientos de Felidia y La Leonera, en el inicio del área urbana de la ciudad de Cali, varios metros después de la desembocadura del Río Aguacatal al Río Cali y el último, ubicado algunos metros antes de la desembocadura del Río Cali a el Río Cauca.

En la evaluación y estimación de los índices, se usó el método BMWP/Col de Roldán, realizando unas cuantificaciones taxonómicas de las distintas especies, familias, género, y orden encontradas en los muestreos llevados a cabo. Asimismo, se implementaron otros cálculos para diferentes índices que se recomiendan en la literatura para complementar y contrastar los resultados obtenidos por el método BMWP/Col.

6.3 PUNTOS DE MUESTREO

Se realizó la recolección de las muestras en 5 puntos estratégicos de la cuenca, en el año 2021 en el periodo comprendido entre los meses de julio-agosto, periodo de poca precipitación y por ende de poco caudal; aunque, sí se registraron algunas lluvias. Estos cinco puntos, se escogieron teniendo en cuenta diferentes parámetros: la accesibilidad, la zonificación de la cuenca en alta, media y baja, información oficial disponible sobre índices de la calidad del agua y los principales ríos que componen la cuenca.

Como parámetro principal, se escogió en la zonificación de la cuenca entre alta, media y baja, buscando los puntos más bajos de cada una de estas zonas. La siguiente variable fue la localización de cabeceras pobladas, optando por ubicar el punto de muestreo antes de las grandes concentraciones de población o los centros urbanos.



Mapa 2. Localización de los puntos de toma de muestras.

Mientras se buscaba toda la información posible sobre la cuenca del Río Cali, se encontró una información referente a diferentes índices de calidad del agua realizado por el IDEAM¹⁶ en algunos puntos de la cuenca media y baja del Río Cali, con los cuales se terminó de decidir los puntos exactos de muestreo; ya que, convenientemente varios de estos puntos cumplían con nuestros dos anteriores criterios como se muestra en el mapa 2.

Los puntos de muestreo fueron los siguientes:

- Punto 1 (Río Pichindé - 1.5 kilómetros antes del casco urbano)
- Punto 2 (Río Felidia - 500 metros antes del casco urbano de La Leonera)
- Punto 3 (Río Cali - 100 metros después de la bocatoma del Acueducto de San Antonio)
- Punto 4 (Río Cali - Frente a El Museo La Tertulia)
- Punto 5 (Río Cali - 300 metros antes de la desembocadura Cauca)

¹⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE (IDEAM), VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – REPÚBLICA DE COLOMBIA. Macroinvertebrados acuáticos, determinación taxonómica – conteo. 2006.

6.4 LA RED SURBER

Para coleccionar las muestras de macro invertebrados, los autores construyeron una red tipo Surber debido a sus altos costos de mercado, oscilando entre los 500 mil a los 3 millones de pesos colombianos, haciendo un tanto difícil su adquisición. Sin embargo, esta red se construyó apegándose a las características contempladas por el IDEAM en el documento Macroinvertebrados Acuáticos, Determinación Taxonómica – Conteo, del año 2006¹⁷, en el cual se indica de forma específica las características de esta herramienta usada para la recolección de macroinvertebrados bentónicos.

Esta consta de: dos marcos de metal cuadrado de 30 cm, unidos por una de sus aristas formando un ángulo de 90° (ver Ilustración 1).



Ilustración 1. Red Surber construida.

Uno de los cuadrados marca el área de sustrato donde se toman las muestras y el otro marco soporta una red para atrapar los organismos procedentes de la zona de toma de muestras.

La red suele tener 69 cm de largo, sin embargo, la red que se hizo tuvo una longitud de 85 cm. El tamiz de la malla de la red Surber tiene un tamaño estándar de 9 hilos/cm¹⁸. Aunque con una malla más fina se consigue más cantidad de invertebrados pequeños y especímenes jóvenes, para este caso, usamos una tela conocida comúnmente como velo o tul que es un

¹⁷ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE (IDEAM), VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – REPÚBLICA DE COLOMBIA. Macroinvertebrados acuáticos, determinación taxonómica – conteo. 2006.

¹⁸ IBID. p. 4.

tejido ligero con estructura abierta, en forma de red, al cual se le verificó el número de hilos que posee por cm, como puede observarse en la ilustración 2.

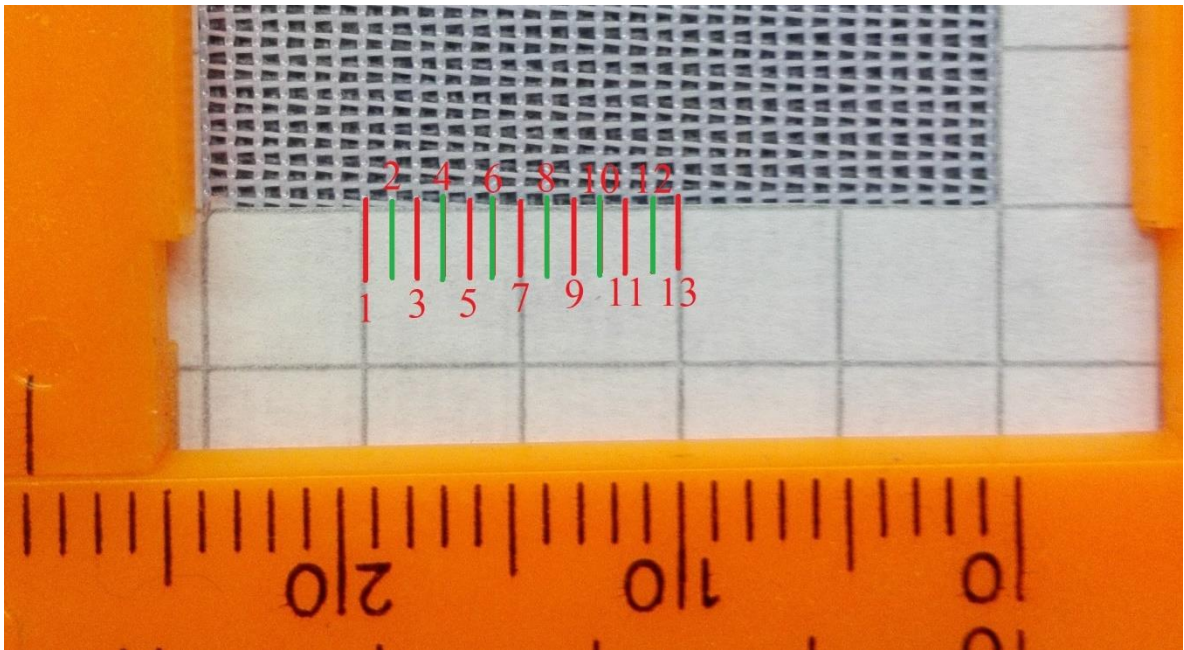


Ilustración 2. Tamaño del tamiz de la malla usada en la red Surber.

Como se aprecia, el número de hilos por cm de la malla usada en la red construida es mayor que el número estándar usado en estas redes, aun así, no es demasiada la diferencia, aproximadamente 13 hilos por cm, solo 4 o 5 hilos más del estándar; después de todo, esta herramienta es específica para macro bentos, ya que, muchos componentes de micro bentos no se colectan.

6.5 TOMA DE MUESTRAS

El marco se colocó sobre el sustrato, dejando el marco al que está unida la malla en contra de la corriente, como se muestra en la ilustración 3, y a continuación se removieron y se limpiaron las piedras dentro del área del marco que se encuentra sobre el sustrato. Los organismos removidos quedan atrapados en la red, junto con una parte del sustrato. Esta herramienta de toma de muestras, se usa en agua corriente poco profunda de 30 cm o menos, donde la red no queda totalmente sumergida, cuando se usa en aguas más profundas algunos organismos son arrastrados por encima del aparato.



Ilustración 3. Modo de empleo de la red Surber.

La toma de muestras, se realizó en sustratos de tipo guijarros y pedregosos y con profundidades por debajo de los 30 cms, la muestra se tomó con la ya descrita red de Surber construida artesanalmente que, con un tamaño de 30 cm por 30 cm de los marcos, evalúa un área de 0.09 m².

La toma de muestras con red Surber, se hizo colectando 10 submuestras, tratando de cubrir diferentes puntos de la sección transversal del curso hídrico en cada punto. Luego todas las submuestras se componen para obtener una muestra única homogénea, una muestra total por punto de muestreo, obteniendo un total de área muestreada de 0.9 m² en cada punto¹⁹.

¹⁹ CARRERA R., Carlos, FIERRO P., Karol. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Manual de monitoreo. Quito: EcoCiencia. 2001.

Una vez ubicada en su sitio, fue necesario sujetarla con una mano en las corrientes fuertes. Se procedió a remover y frotar ligeramente con las manos las rocas y piedras grandes dentro del área del marco, para desalojar a los organismos adheridos a ellas hacia la malla de la red. Se removió la grava y arena restantes con la ayuda de una vara para desalojar a los organismos que viven en el fondo y que sean arrastrados y capturados en la red.

Se removió todo el detritus después de inspeccionar si hay organismos. Se colocaron los organismos encontrados en el vial correspondiente.

Se procuró realizar el mismo esfuerzo durante la toma de cada una de las submuestras, permaneciendo aproximadamente el mismo tiempo de toma de la muestra en cada uno de los puntos de muestreo y así evitar sesgar la información por sobremuestreo o submuestreo de un determinado sitio.

6.6 PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

La preservación de las muestras, se realizó almacenándolas en recipientes plásticos con abundante alcohol al 95% (ver ilustración 4), procurando que las muestras quedasen empapadas para su posterior separación, identificación y conteo.



Ilustración 4. Elementos para la preservación de las muestras.

6.7 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se recomienda que las muestras de macro invertebrados colectadas, sean procesadas en laboratorio bajo condiciones controladas; sin embargo, el procesamiento no se realizó en laboratorio, se realizó por los investigadores con la mayor precaución posible y buscando las herramientas más adecuadas para este trabajo²⁰.

Las muestras, se depositaron sobre bandejas de poliestireno expandido blanco, usando varias fuentes de luz para que queden bien iluminada la bandeja de poliestireno expandido; a continuación, usando unas pinzas delicadas y de punta fina, se separaron los organismos con mucha precaución de no estropear los especímenes. Los residuos de detritos, se fueron separando con delicadeza de un extremo al otro de la bandeja de poliestireno expandido, hasta cerciorarse de que no quedaran organismos adheridos a estos.

Resultó ser todo un desafío y una sorpresa encontrar organismos apenas identificables a ojo desnudo, optando por la revisión con ayuda de lupas cuando se tenía sospecha de algunos residuos; ya que, muchos organismos pueden pasar desapercibidos, ya sea por su tamaño o por estar ocultos en los restos de vegetación o sustratos minerales. Las muestras se conservaron en alcohol al 95%, en recipientes herméticos.

Los macro invertebrados, se identificaron y se registraron utilizando un lente macro para cámara de celular y con el apoyo de literatura existente para esta tarea. En este caso se usó la Metodología para la utilización de los macro invertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua, documento elaborado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt del año 2005²¹, también Fichas rápidas para la identificación de macro invertebrados acuáticos, documento elaborado por Jeymy M. Walteros Rodríguez del año 2018²² y una guía en línea con fotos reales a una gran escala y detalle (ver ilustración 5) que se puede encontrar en internet en la dirección <https://www.macroinvertebrates.org/> y que está asociada a la The National Science Foundation (NSF)²³, la cual es una agencia gubernamental de los Estados Unidos que impulsa investigación y educación fundamental en todos los campos no médicos de la Ciencia y la Ingeniería, muy útil para la determinación taxonómica de los macro invertebrados.

²⁰ IBIDEM

²¹: ÁLVAREZ A., Luisa F. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2005.

²² WALTEROS, R., JEYMMY M. Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.24858.54721

²³ EASTERN NORTH AMERICA. The Atlas of Common Freshwater Microinvertebrados. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: <https://www.macroinvertebrates.org/>



Ilustración 5. Imagen altamente detallada de Macroinvertebrates.org.

Aunque se recomienda apegarse a literatura local o regional para la identificación taxonómica y el enlace sea de Estados Unidos, otros documentos, que a pesar de no pertenecer de la región neotropical, también pueden servir de apoyo, debido a que algunos géneros de macro invertebrados se hallan a nivel mundial.

De los macro invertebrados hallados en el trabajo de campo, casi todos los encontramos registrados en la página del National Science Foundation (Fundación Nacional de Ciencia)²⁴. Lo único destacable fue una discrepancia en cuanto a la nomenclatura taxonómica de uno de las especies, en cuyo caso se optó por apegarse a la guía del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

La identificación de las muestras, se realizó hasta el nivel de familia, lo cual suministra un gran nivel de exactitud entre las muestras y taxónomos; además, se requirió menos experticia para realizarlo y facilita la evaluación de los resultados.

La calidad del agua, se calcula a partir de macro invertebrados acuáticos, aplicando el Índice Biótico desarrollado en la Unión Europea adaptado a Colombia por el especialista Gabriel Roldán, el BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party / Colombia) el cual exige un nivel de determinación taxonómica de familia.

La cantidad, la combinación de especies y las densidades de estas comunidades de macro invertebrados, son mencionados por las referencias de literatura como buenos indicadores de la calidad de las aguas, sobre todo en contaminación de tipo orgánico. Vale puntualizar que

²⁴ NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras

no todas las familias o taxones tienen la misma importancia en ese sentido, pues cada una posee niveles de tolerancia propias.

Se aplica el índice biótico BMWP/Col que propone Roldán (2003), basado en la clasificación de los macro invertebrados acuáticos²⁵.

6.8 DESCRIPCIÓN DE LOS MACRO INVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA MUESTRA

Orden: **MEGALOPTERA** Familia: **Corydalidae**

Características Morfológicas:

Las larvas son grandes y robustas; tienen el cuerpo aplanado, con branquias laterales a lo largo del abdomen, poseen ocho pares de apéndices abdominales laterales no segmentados o imperfectamente segmentados que terminan en un par de propatas anales, cada una con dos ganchos terminales.

Las mandíbulas son muy prominentes.

Miden entre 10.0 y 80.0 mm.

Características Ecológicas

Viven en aguas lólicas debajo de restos de vegetación, troncos, rocas y entre raíces de vegetación sumergida. Estos insectos son depredadores muy agresivos y pueden morder, pero rara vez su mordida es dolorosa para los seres humanos.

Orden: **TRICHOPTERA** Familia: **Hydropsychidae**

Características Morfológicas

Las larvas se caracterizan por sus obvias branquias filamentosas a lo largo de la superficie ventral de su abdomen. Presentan los tres segmentos torácicos esclerotizados y ganchos abdominales bien desarrollados para adherirse de las rocas y troncos sumergidos. El cuerpo de estas larvas por lo general es fuertemente curvado y mide en su madurez, entre 10.0 y 16.0 mm de largo, y a veces hasta 30.0 mm, dependiendo del género.

Miden más de 6 mm de longitud; los segmentos torácicos completamente esclerotizados; abdomen con agallas branquiales ventrales ramificadas; base de la uña anal con un penacho de pelos largos y gruesos; no construyen casas, pero hilan redes.

²⁵ ROLDÁN P. G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 2003.

Características Ecológicas

Se consideran de vida libre pues no construyen casas como en las otras familias de este orden. Habitan ambientes lóticos, desde ríos grandes a pequeños riachuelos, donde construyen refugios fijos ubicados en los intersticios entre rocas. Son omnívoros, colectores filtradores, se alimentan de pequeños animales y material vegetal que capturan en sus redes.

Orden: **PLECOPTERA** Familia: **Perlidae**

Características Morfológicas

Se les conoce como moscas de piedra. Su cuerpo es alargado, con antenas largas, ojos compuestos, branquias torácicas en la parte ventral, abdomen con 10 segmentos y dos cercos largos, que se separan en su base.

Todas las patas tienen dos uñas. Carecen de agallas laterales en los segmentos abdominales, algunas especies pueden tener agallas ventrales filamentosas en los primeros dos o tres segmentos. La subfamilia Acroneuriinae presente en Colombia tiene traqueobranquias torácicas ventrales y carecen de penacho de branquias en el ápice del abdomen.

Poseen coloración amarillenta a marrón. Miden entre 10.0 y 30.0 mm.

Características Ecológicas

Viven sobre rocas, restos de vegetación, troncos sumergidos y fondos rocosos.

Se caracterizan por ser depredadoras.

Orden: **EPHEMEROPTERA** Familia: **Oligoneuriidae**

Características Morfológicas

Las ninfas tienen un cuerpo algo aplanado, con segmentos abdominales prolongándose en picos lateralmente, entre los cuales están ubicadas las branquias en pequeños mechones. La primera branquia abdominal es ventral, las demás son laterales. Tienen una doble fila de setas largas sobre los bordes inferiores de las patas. Sólo tienen 2 filamentos caudales.

Cuerpo comprimido; fémures anteriores con una doble hilera de setas largas sobre el lado interno; presentan penachos de branquias en la base de las maxilas. Agallas ventrales en el primer segmento abdominal, las demás son dorsales.

Miden entre 10.0 y 22.00 mm.

Características Ecológicas

Las ninfas usualmente se encuentran en ríos, particularmente en zonas correntosas, debajo de rocas, troncos y hojas. Se les reconoce como organismos filtradores.

Orden: **EPHEMEROPTERA** Familia: **Leptophlebiidae**

Características Morfológicas

Las ninfas tienen formas muy variadas, pero todas se caracterizan por tener cuerpos y cabezas aplanadas, con labrum (anillo fibrocartilaginoso) que une la cabeza al tórax, aguzados, ojos laterales, fémures amplios y pares de branquias bífidas.

Agallas abdominales en los segmentos 2 a 7 bifurcadas, en algunos casos con filamentos laterales o terminales; clipeo fusionado a la frente; cabeza generalmente prognata.

Miden entre 6.0 y 10.0 mm.

Características Ecológicas

Viven en ríos y quebradas en zonas correntosas, por lo que se caracterizan como buenos nadadores, incluso suelen reptar entre las riberas y el fondo.

Las ninfas se caracterizan por ser colectoras, se alimentan de detritos que colectan sobre las superficies de rocas y troncos. Otros se alimentan de algas, por lo que son raspadores.

Orden: **COLEOPTERA** Familia: **Ptilodactylidae**

Características Morfológicas

Larvas: cuerpo generalmente duro; abdomen con nueve segmentos; los primeros ocho segmentos pueden o no presentar agallas ventrales; segmento abdominal terminal sin opérculo y puede o no presentar penachos de agallas.

Adultos: de cuerpo oblongo a alargado; antenas con 11 segmentos, pueden ser filiformes, aserradas o pectinadas; protórax generalmente ancho en la parte posterior y angosto en la parte anterior; palpo maxilar con el segundo segmento mucho más corto que los dos siguientes combinados.

La larva tiene forma alargada, cilíndrica, seccionada y esclerotizado; poseen branquias anales con ganchos en el segmento terminal.

Las larvas son de tamaño grande, de hasta 3.0 cm. El cuerpo es de color marrón o relativamente oscuro.

Las antenas son largas y las patas torácicas relativamente pequeñas.

Características Ecológicas

Son una familia con amplia distribución espacial y muy diversa. Viven en aguas lólicas, preferiblemente en agua limpia y bien oxigenada.

Se alimenta de residuos vegetales y trozos de madera, por lo que se le conoce como fragmentador que consume detrito de planta.

Orden: **EPHEMEROPTERA** Familia: **Baetidae**

Características Morfológicas

Las ninfas son acuáticas. Sus cabezas son bien definidas y redondeadas con antenas visibles. Poseen branquias de los segmentos 1-5, 1-7 o 2-7 ovales, en lámina, nunca en filamentos. Tiene un filamento terminal más corto y delgado que los cercos caudales que son apéndices localizados en la final del abdomen y que rodean el filamento terminal.

Clípeo no fusionado a la frente; cabeza hipognata; las agallas abdominales generalmente son ovaladas, nunca con terminaciones estrechas.

Son de tamaño pequeño, pueden medir entre 5.0 y 10.0 mm. Sus cuerpos adornados con coloraciones marrones de diferentes tonalidades.

Características Ecológicas

Las ninfas de esta familia son buenas nadadoras, aunque en las lagunas son lentas. La mayoría viven debajo de troncos, rocas, hojas, y adheridos a vegetación sumergida. Se alimentan de pefiritón y material vegetal que encuentran sobre troncos y rocas, se caracterizan por ser colectores, algunos raspadores.

Orden: **DIPTERA** Familia: **Stratiomyidae**

Características Morfológicas

Porción esclerotizada de la cabeza expuesta externamente, aunque algunas veces es muy reducida; cuerpo algo aplanado dorsoventralmente; tegumento endurecido con carbonato de calcio; generalmente con ojos laterales prominentes.

Las larvas poseen una cápsula cefálica bien desarrollada y protórax más ancho que la misma.

Su cuerpo es algo endurecido y engrosado, con depósitos de carbonato de calcio.

Carecen de propatas, pero sí tienen setas y filamentos. Miden de 3.0 a 50.0 mm.

Características Ecológicas

Habitan sistemas lénticos y lólicos, en pozas, en aguas salobres, fuentes termales y materia en descomposición entre detritus y plantas vasculares.

Son organismos generalistas, por lo que se reconocen como colectores-recolectores.

Orden: **COLEOPTERA** Familia: **Elmidae**

Características Morfológicas

Adulto: Son escarabajos verdaderamente acuáticos. Sus cuerpos tienen diferentes formas, que van desde alargadas a cilíndricas, algo comprimidas. La cabeza está metida en el protórax, algunas veces cubierta por este. De formas ovaladas a alargadas con la superficie del cuerpo brillante o pubescente; antena filiforme o claviforme con 7 a 11 segmentos o con un mazo de 5 o 6 segmentos; todos los tarsos con cinco segmentos y tienen uñas largas; coxa anterior redondeada, miden entre 1 y 9 mm.

Algunos organismos tienen cuerpo pubescente. La mayoría son de color negro o marrón oscuro. Pueden medir entre 1.0 hasta 100.0 mm.

Larva: Son de diversas formas. Sus cuerpos son duros y semicirculares. Poseen un opérculo en el noveno segmento abdominal, donde se ubican las branquias y un par de ganchos. Presentan patas torácicas bien desarrolladas. Los colores varían entre amarillo, ocre y marrón. Son de tamaños variados. Antenas cortas, con 2 a 3 segmentos; cuerpo cilíndrico o casi cilíndrico; último segmento abdominal con un opérculo ventral.

Características Ecológicas

Es un grupo ampliamente distribuido en el trópico. Viven en aguas corrientes bien oxigenadas y en diversos micro hábitats. Se alimentan de detritos y algas, por lo que se les reconoce como colectores.

Clase: **HIRUDINEA** Orden: **GLOSSIPHONIIFORMES** Familia: **GLOSSIPHONIIDAE**

Conocidos comúnmente como sanguijuelas. Son de coloración clara, tienen manchas oculares agrupadas en medio del extremo anterior del cuerpo.

Orden: **TRICHOPTERA** Familia: **Philopotamidae**

Características Morfológicas

Las larvas son de color marrón, amarillento o anaranjado; presentan una placa dorsal en el protórax la cual frecuentemente está bordeada por una línea negra notoria. Las larvas hacen refugios fijos con redes que construyen en la superficie del sustrato.

La característica más importante para reconocer esta familia es que presentan el labrum membranoso con las márgenes laterales prolongadas en forma de T.

Usualmente las larvas maduras miden entre 10.0 y 12.0 mm de longitud y a veces hasta 16.5 mm.

Características Ecológicas

Las larvas habitan ambientes lóticos, desde ríos grandes hasta en nacientes de riachuelos con cauce rocoso y cubierto de musgo y/o hojarasca.

Se reconocen como organismos filtradores.

Orden: **EPHEMEROPTERA** Familia: **Leptohyphidae**

Características Morfológicas

Las ninfas son de cuerpo robusto, pequeño y cubierto con setas cortas. El segundo par de branquias son operculares, de formas ovalada o triangular y no se juntan en la mitad del cuerpo. Presentan tres filamentos caudales. El fémur de la primera pata presenta una hilera de setas largas.

Agallas en el segundo segmento abdominal ovaladas, triangulares o semitriangulares sin juntarse en la mitad del abdomen, cubriendo las agallas de los segmentos abdominales 3 a 6, las cuales son simples o bilobuladas, con márgenes sin flecos.

Estas ninfas pueden medir entre 3.0 y 10.0 mm.

Características Ecológicas

Son comunes en ríos y quebradas, asociados a troncos, hojas y rocas. Son colectoras-recolectoras y se alimentan de detrito que se depositan en el fondo.

Orden: **DIPTERA** Familia: **Chironomidae**

Características Morfológicas

Las larvas tienen la cabeza esclerotizada oscura y bien definida. No tienen patas, pero hay una proyección o propata debajo de la cabeza que usan para moverse. El cuerpo es liso, con forma curvada. Tienen dos patas anales al final del abdomen.

Protórax con dos propatas ventralmente; segmentos del cuerpo sin prominentes tubérculos dorsales ni setas.

Las larvas tienen tamaños variables, entre 2.0 y 30.0 mm. Son de colores variables, entre verdes, amarillos, rojos, blancos.

Características Ecológicas

Son una familia cosmopolita y con una distribución muy amplia. Por tanto, se les encuentra tanto en aguas lólicas, como lénticas, preferiblemente donde haya abundante materia orgánica en descomposición, pero existen excepciones que habitan en aguas muy limpias.

Se caracterizan por ser colector-recolectores, filtrador e incluso existen algunos depredadores. Puede alimentarse de mezclas de algas, bacterias y materia orgánica que encuentran en los sedimentos.

Orden: **DIPTERA** Familia: **Limoniidae**

Características Morfológicas

Estas larvas presentan un cuerpo cilíndrico, que termina en un espiráculo con tentáculos cortos. La cápsula cefálica es incompleta de manera parcial y suele retraerse dentro del tórax. A menudo tienen branquias anexas alrededor.

Cabeza parcial o completamente retráctil dentro del protórax; espiráculos apicales usualmente formados por 1 a 3 o 5 a 7 pares de lóbulos cortos que a menudo están bordeados con pelos.

Suelen medir entre 3.0 a 50.0 mm, pero cuando alcanzan la madurez, algunas especies sobrepasan los 100.0 mm.

Las larvas son de colores opacos a oscuros.

Características Ecológicas

Las larvas son encontradas en los márgenes de los sistemas lólicos y lénticos de agua limpia, entre detritus, sedimento orgánico fino, hidrofitos vasculares y algas. Por lo que algunas especies suelen ser depredadoras, fragmentadoras de detritus o tejido vivo de plantas y la mayoría colectores-recolectores.

7. RESULTADOS

7.1 ÍNDICE DE GRUPO DE TRABAJO DE MONITOREO BIOLÓGICO, BMWP

El índice de Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico más conocido por su sigla en inglés BMWP, Biological Monitoring Working Party se desarrolló en Inglaterra en 1970, como un procedimiento sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macro invertebrados como indicadores, bioindicadores; para emplear este índice, solo se requiere llegar hasta la categoría de familia y la información es de tipo cualitativa; es decir, informa de la presencia o ausencia de los organismos.

El índice posibilita calcular la calidad de un ecosistema acuático por medio de la valoración de las familias acuáticas que habitan en el mismo; se asigna a cada familia un valor definido a partir de su resistencia a la contaminación que va en una escala de 1 a 10, de modo que las familias más tolerantes a la contaminación obtienen un menor valor total que aquellas familias que necesitan una mejor calidad de las aguas en las que habitan.

La totalidad de los valores que se obtienen para cada taxón a nivel de familia en cada punto de muestreo da el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto evaluado.

En este trabajo se empleó un método depurado por Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt a partir del propuesto por Roldán (2003), dado que se ha comprobado que ciertas familias no cuentan con un valor como organismos indicadores de la calidad del agua y se descartaron, a otros se les ha cambiado su puntaje de bioindicación, también se han incluido algunas familias. Además a otras familias no se les da puntuación, ya a que los registros son insuficientes y se sabe poco sobre su ecología.

A continuación, se presentan algunos motivos por los que se decidió que ciertas familias no son muy útiles como indicadores de la calidad del agua, las cuales son:

Chironomidae: Esta familia de dípteros comprende géneros y especies que se pueden encontrar en todo el rango de calidad del agua, desde aguas muy limpias hasta aquellas que están altamente contaminadas y en las que el oxígeno disuelto, que es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua, está agotado, como es el caso de la familia Chironomus Stempellina, la cual tienen la capacidad de extraer oxígeno en condiciones de ausencia casi absoluta de este disuelto en el medio acuático.

Dytiscidae: Esta familia no es buena indicadora de calidad de agua, pues tienen la habilidad de tomar el oxígeno directamente de la atmósfera, además de la facultad para estar fuera del agua y una vez fuera volar para trasladarse a otros lugares.

Gerridae: Son seres vivos bastante tolerantes a distintas clases de contaminación antrópica; sin embargo, si se encuentra cualquier elemento que disminuya la tensión superficial del

agua, por este motivo no se les tiene en cuenta como buenos indicadores de la calidad del agua.

Hidracarina: Ácaros acuáticos que no son buenos indicadores de la calidad del agua; ya que, tienen una amplia distribución, son altamente resistentes a diversos tipos de condiciones.

Para este trabajo se usará la tabla 1, tal y como se aprecia a continuación, pues allí se presentan los diferentes valores otorgados a las familias de macro invertebrados acuáticos encontrados en el trabajo de campo, para el cálculo del índice BMWP/Col con los cambios descritos anteriormente.

Tabla 1. Puntajes asignados a las diferentes familias de macro invertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae	2
Haplotaxida, Tubificidae	1

El puntaje se obtuvo a partir de los organismos encontrados en cada uno de los puntos de muestreo, tal y como se muestra en las siguientes tablas 2, 3, 4, 5 y 6.

Tabla 2. Puntuación BMWP/Col en el punto 1.

Punto 1 (Río Pichindé - 1 km antes del casco urbano)			
Orden	Familia	Número	Valor BMWP/Col
Megaloptera	Corydalidae	1	6
Trichoptera	Hydropsychidae	26	7
Plecoptera	Perlidae	22	10
Ephemeroptera	Oligoneuriidae	1	9
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	11	9
Coleoptera	Ptilodactylidae	1	10
Ephemeroptera	Baetidae	6	7
Coleoptera	Elmidae	3	7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	2	7
Total		73	72

Tabla 3. Puntuación BMWP/Col en el punto 2.

Punto 2 (Río Felidia - 500 metros antes del casco urbano de La Leonera)			
Orden	Familia	Número	Valor BMWP/Col
Trichoptera	Hydropsychidae	9	7
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	4	9
Ephemeroptera	Baetidae	5	7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	4	7
Coleoptera	Elmidae	1	7
Total		23	37

Tabla 4. Puntuación BMWP/Col en el punto 3.

Punto 3 (Río Cali - Inicio de su casco urbano)			
Orden	Familia	Número	Valor BMWP/Col
Trichoptera	Hydropsychidae	4	7
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	18	9
Ephemeroptera	Leptohyphidae	9	7
Ephemeroptera	Baetidae	21	7
Coleoptera	Elmidae	5	7
Trichoptera	Philopotamidae	1	9
Diptera	Chironomidae	1	2
Total		59	48

Tabla 5. Puntuación BMWP/Col en el punto 4.

Punto 4 (Río Cali - 300 m después del Río Aguacatal)			
Orden	Familia	Número	Valor BMWP/Col
Diptera	Chironomidae	22	?
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	2	9
Diptera	Limnoria	1	3
Ephemeroptera	Baetidae	21	7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	1	7
Total		47	26

Tabla 6. Puntuación BMWP/Col en el punto 5.

Punto 5 (Río Cali - 300 m antes del Río Cauca)			
Orden	Familia	Número	Valor BMWP/Col
Megaloptera	Corydalidae	1	6
Diptera	Chironomidae*	54	0*
Ephemeroptera	Baetidae	5	7
Total		60	13

*Familia no muy útil como indicadora de la calidad del agua ya que se pueden encontrar en todo el rango de calidad del agua y la cual en la tabla de Puntajes asignados por el BMWP/Col tendría un valor de 2, a no ser que sea la especie dominante de la muestra, en tal caso tiene un valor nulo.

Los puntajes del BMWP/Col para cada punto son representados a partir de una clasificación de calidades de agua; adicionalmente, también se indican los colores comúnmente usados en representaciones cartográficas, tal y como se puede observar en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/Col.

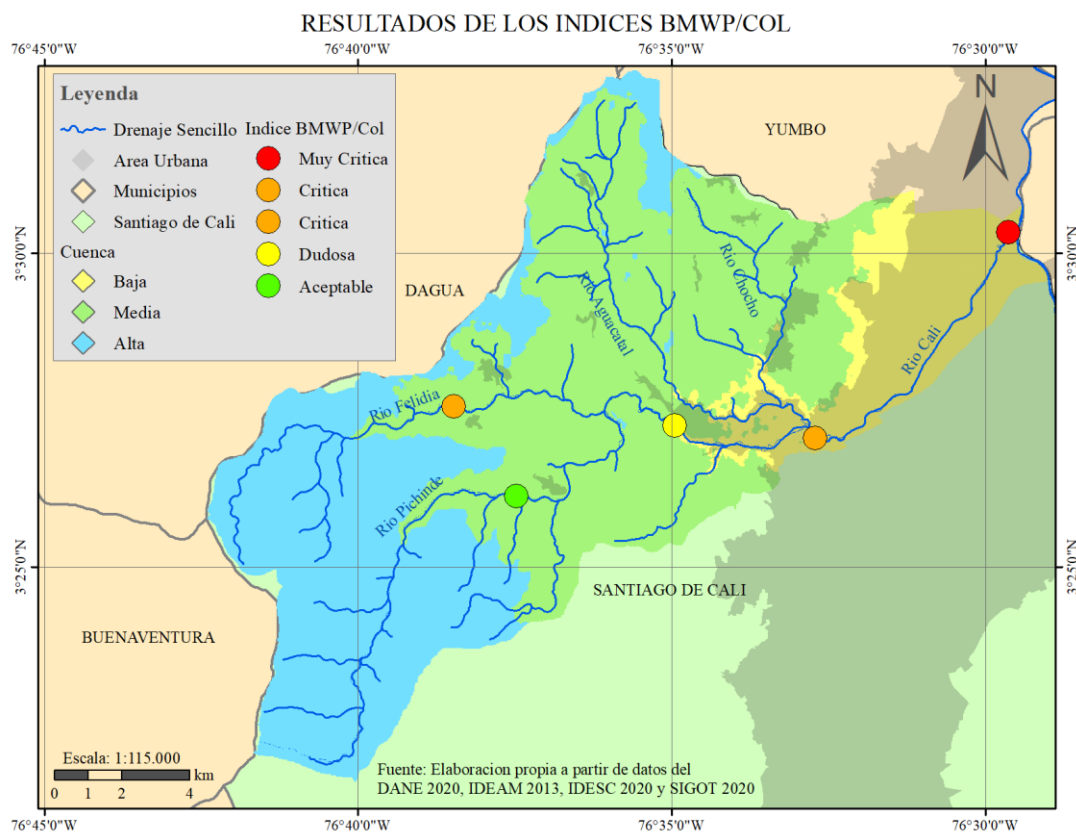
Clase	Calidad	Valor del BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	≥ 150	Aguas muy limpias	
		123-149	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	71-122	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	21-45	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Critica	< 20	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

Resultados de clasificación de los resultados de los puntajes BMWP/Col para cada uno de los puntos de muestreo tomados para este trabajo, tabla 8.

Tabla 8. Índice del Grupo de trabajo de monitoreo biológico.

Punto	Valor del BMWP/Col	Calidad	Significado	Color
1	72	Aceptable	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	Verde
2	37	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
3	48	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
4	26	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
5	7	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Rojo

Este es el primer resultado obtenido, de los cuales se pudo evidenciar que, como era de esperarse, los puntajes BMWP/Col indican una mejor calidad de agua, en los puntos muestreados en la parte alta de la cuenca del Río Cali, y a medida que los puntos se encuentran en puntos más bajos de la cuenca señalan una peor calidad de agua, tal y como puede observarse en el mapa 3.



Mapa 3. Índice BMWP/Col en cada uno de los puntos de muestreo.

La información anterior coincide con el escenario que se preveía desde el inicio del análisis de resultados. El agua en el punto 1 de muestreo, perteneciente al Río Pichindé, registra niveles de calidad de agua aceptables, esto no quiere decir que se encuentre en un buen estado; más allá de eso, lo anterior nos advierte sobre un grado de intervención que no debería existir sobre la cuenca alta y en su mayor parte perteneciendo al área del Parque Natural Nacional los Farallones de Cali.

El nivel de calidad del agua obtenido en el punto 2 de muestreo resultó con una clasificación de calidad de agua bastante baja, consecuencia del escaso número de organismos encontrados en este punto del Río Felidia, el cual como se ha comentado anteriormente, aguas arriba de su cauce se localizan numerosas minas ilegales, cuyas actividades los estarían contaminando fuertemente con sustancias como mercurio y cianuro.

En el punto 3 de muestreo, el cual se ubica después de que las aguas del Río Felidia se viertan sobre el Río Pichindé. Su calidad de agua en niveles aceptables, muy probablemente sea resultado precisamente de la combinación de las aguas de buena calidad del Río Pichindé y de las aguas de calidad dudosa del Río Felidia.

El siguiente punto de muestreo se tomó después de los tributarios del Río Aguacatal y Río Chocho. Allí se observa que la calidad del agua es bastante crítica, determinado por el tipo de macro invertebrados recolectados, en su mayoría pertenecientes a la familia Chironomidae, y que según las observaciones del método del índice aclara que si esta es la familia dominante en la muestra, no sea considerado puntaje alguno para el cálculo del índice. Este tipo de organismo se alimenta de sustancias orgánicas en descomposición. Se presume que esto sea consecuencia del alto grado de poblamiento de estas dos subcuencas que son la del Río Aguacatal y la del Río Chocho.

En el último punto, justo antes de que el Río Cali deposite sus aguas en el Río Cauca, los niveles de calidad del agua empeoran hasta llegar a grados muy críticos. Las comunidades de macro invertebrados en este punto es muy similar a la del punto 4, siendo una muestra compuesta en su mayoría por organismos de la Familia Chironomidae.

7.2 ÍNDICE DE PUNTAJE PROMEDIO POR TAXÓN, ASPT

Por otra parte, también se calculó el puntaje promedio por taxón llamado comúnmente ASPT (Average Score per Taxon) por sus siglas en inglés, de igual manera muy valioso para evaluación de la calidad del agua. Este se calculó dividiendo el puntaje total BMWP/Col de cada punto por el número de taxones encontrados en cada uno de los puntos muestreados, con lo que se tiene como resultado el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macro invertebrados hallados en cada punto muestreado. Este puntaje se mide desde el 0 hasta el 10. Un puntaje bajo de ASPT vinculado a una valoración baja del índice BMWP/Col, se traduce en una calidad de agua gravemente contaminada. A continuación, en la tabla 9, se presentan los resultados del puntaje promedio por taxón para cada punto de muestreo

Tabla 9. Puntaje promedio por taxón (ASPT) en cada punto de muestreo.

Punto de muestreo	Número de taxones encontrados	BMWP/Col	ASPT
1	9	72	8.0
2	5	37	7.4
3	7	48	6.9
4	5	26	5.2
5	2	7	3.5

Para comprender los resultados del índice ASPT, se usaron los parámetros indicados en la Tabla 10, calculados a partir de un ajuste en los puntajes del índice de acuerdo con las condiciones locales.

Tabla 10. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice ASPT.

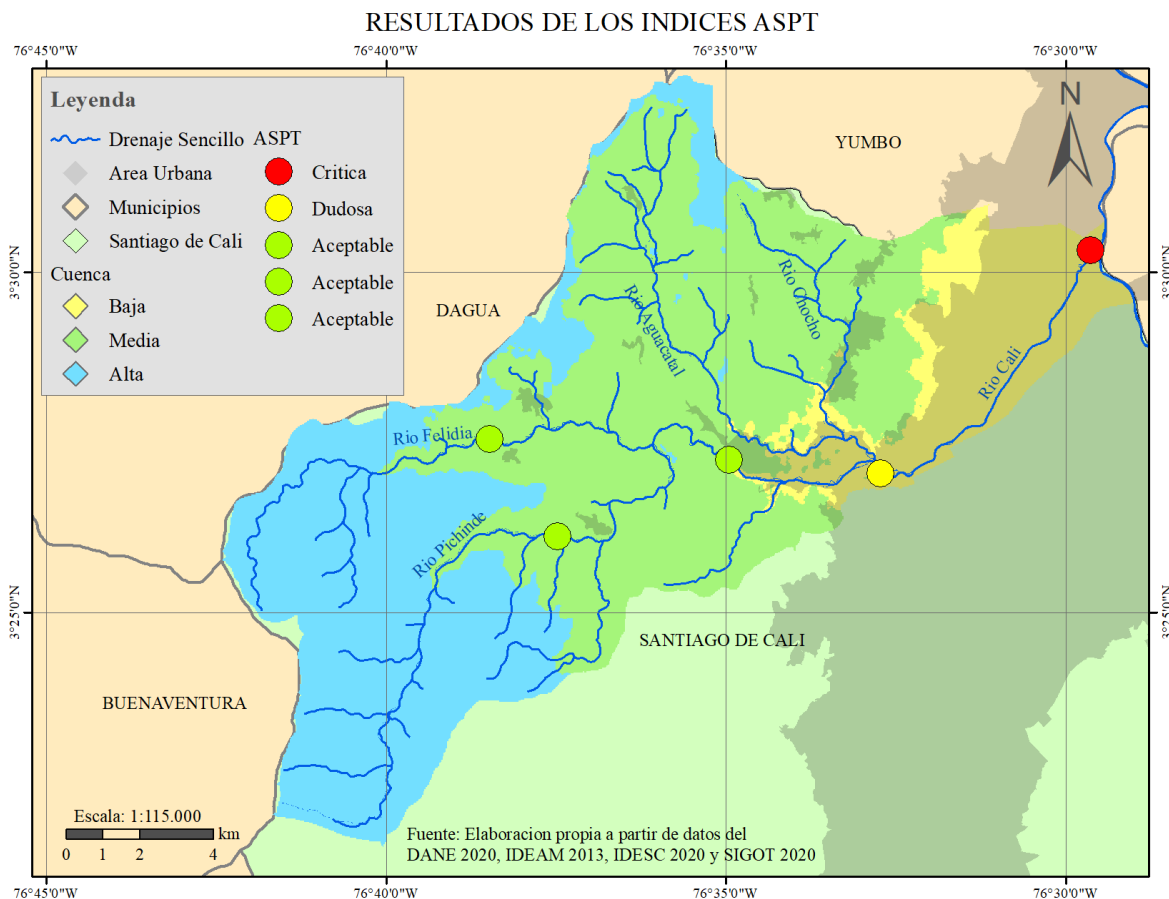
Clase	Calidad	Valor del BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	> 9 -10	Aguas muy limpias	
		> 8 - 9	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	> 6.5 - 8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	> 4.5 - 6.5	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	> 3 - 4.5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Crítica	1 - 3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

De los anteriores valores obtenemos los puntajes promedio por taxón (ASPT) para cada punto de muestreo, los cuales presentamos a continuación en la tabla 11.

Tabla 11. Clasificación del índice del Puntaje promedio por taxón (ASPT)

Punto	Valor del ASPT	Calidad	Significado	Color
1	8.0	Aceptable	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
2	7.4	Aceptable	Aguas no muy contaminadas	
3	6.9	Aceptable	Aguas moderadamente contaminadas	
4	5.2	Dudosa	Aguas muy contaminadas	
5	3.5	Crítica	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

El segundo índice obtenido en el transcurso del trabajo, en el que, como resultado, se pudo evidenciar que hay una clasificación de la calidad del agua de la cuenca del Río Cali con una mejor calidad en cada punto, en comparación con la clasificación de calidad obtenida del índice BMWP/Col, tal y como puede observarse en el siguiente mapa 4:



Mapa 4. Índice ASPT en cada uno de los puntos de muestreo.

7.3 ÍNDICE EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA, TRICHOPTERA, EPT

Este análisis toma en consideración la abundancia de tres órdenes de macro invertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. Estos grupos son: Ephemeroptera (mayor tolerancia a la contaminación), Plecoptera (no tolera la contaminación y solo existe en aguas limpias) y Trichoptera (tolerancia media).

El índice ETP se calculó dividiendo el número de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos significan aguas más oxigenadas y limpias.

La siguiente tabla 12, muestra el resultado de los valores del índice EPT para cada punto de muestreo.

Tabla 12. Índice ETP (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)

Índice ETP (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)			
Punto de muestreo	Número de individuos colectados	Número de individuos EPT	Índice EPT
1	73	68	0.9
2	23	22	1.0
3	59	53	0.9
4	47	24	0.5
5	60	5	0.1

Los resultados de este índice coinciden con el índice de puntaje promedio por taxón (ASPT) dejando los tres primeros puntos con un grado de calidad de agua bastante aceptable. El punto de muestreo cuatro entraría en un nivel o grado medio de contaminación y el punto final, cerca de la desembocadura del Río Cauca, terminó con una valoración de ETP muy baja, indicando una muy mala calidad de agua.

Personalmente este índice ETP y el índice ASPT nos parecen un tanto imprecisos, con resultados muy polarizados; sin embargo, coherentes y totalmente relacionables con los dos índices anteriores.

7.4 ÍNDICE DE DÍPTEROS

El índice de dípteros²⁶ se calculó dividiendo el número de individuos de orden díptera en cada uno de los puntos por el número total de individuos colectados en cada uno de los puntos de muestreo; los valores más altos determinan la presencia de materia orgánica en el agua.

A continuación, la tabla 13 con los cálculos para la clasificación de la calidad de agua para cada uno de los puntos estudiados.

Tabla 13. Cálculo de puntaje para el índice de dípteros.

Índice de dípteros			
Punto de muestreo	Número de individuos colectados	Número de individuos del orden Diptera	Índice de dípteros
1	73	0	0.0
2	23	0	0.0
3	59	1	0.0
4	47	23	0.5
5	60	54	0.9

²⁶ ARANGO, María C., ÁLVAREZ, Fernanda L., ARANGO, Alexandra G., TORRRES, Orlando E., MONSALVE, Asmed de Jesús. Calidad del agua de las quebradas la cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. En Revista EIA, n° 9, 121-141 p. 2008

Este índice cabe dentro de los dos últimos, aportando unas calidades de agua muy congruentes con los dos últimos índices, el ASPT y el EPT.

7.5 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA, ICA

Entre más datos, se obtengan y se puedan contrastar la información será más precisa. Durante la búsqueda de información encontramos algunas evaluaciones de la calidad de agua, realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales conocido como el IDEAM.

Para comprender la situación en lo que se refiere a la cantidad y calidad del agua en Colombia, se elaboró el "Sistema de Indicadores Hídricos" que busca contestar las dudas acerca de la oferta del recurso agua y las limitaciones por alteraciones a la disponibilidad o a la calidad de la misma.

El Índice de calidad del agua es el puntaje numérico que clasifica en uno de cinco niveles, la calidad del agua de una corriente, basándose en los cálculos conseguidos a partir de cinco o seis variables, observadas en una estación de monitoreo.

Significado de cada variable:

Oxígeno disuelto (OD):

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

Sólidos suspendidos totales (SST):

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

Demanda química de oxígeno (DQO):

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica; ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

Conductividad eléctrica (C.E.):

Está relacionada con la presencia de sales en solución cuya disociación genera cationes y aniones capaces de transformar energía eléctrica. Refleja condiciones de mineralización.

Potencial de hidrógeno (pH):

Mide el nivel de acidez o basicidad de las aguas; niveles extremos afectan los procesos de osmorregulación de la flora y fauna acuática.

La ubicación exacta de cada uno de los puntos de este muestreo se señala a continuación:

Punto 1 - Entrada al perímetro urbano - Bocatoma Acueducto San Antonio

Punto 2 - Entrada al perímetro urbano - Puente Azul

Punto 3 - Intermedio - El Ancla, antes de desembocar el Río Cali

Punto 4 - Salida - Después de la Quebrada el Chocho o en el Sifón

Punto 5 - Intermedio - Después de la entrega del Río Aguacatal, Frente al Museo La Tertulia

Punto 6 - Intermedio - Frente a la Clínica Los Remedios

Punto 7 - Intermedio - Frente al barrio La Isla, Puente Cancha - Vivero

Punto 8 - Intermedio - Frente a Cartones América (Cl. 70 - Cr. 2A)

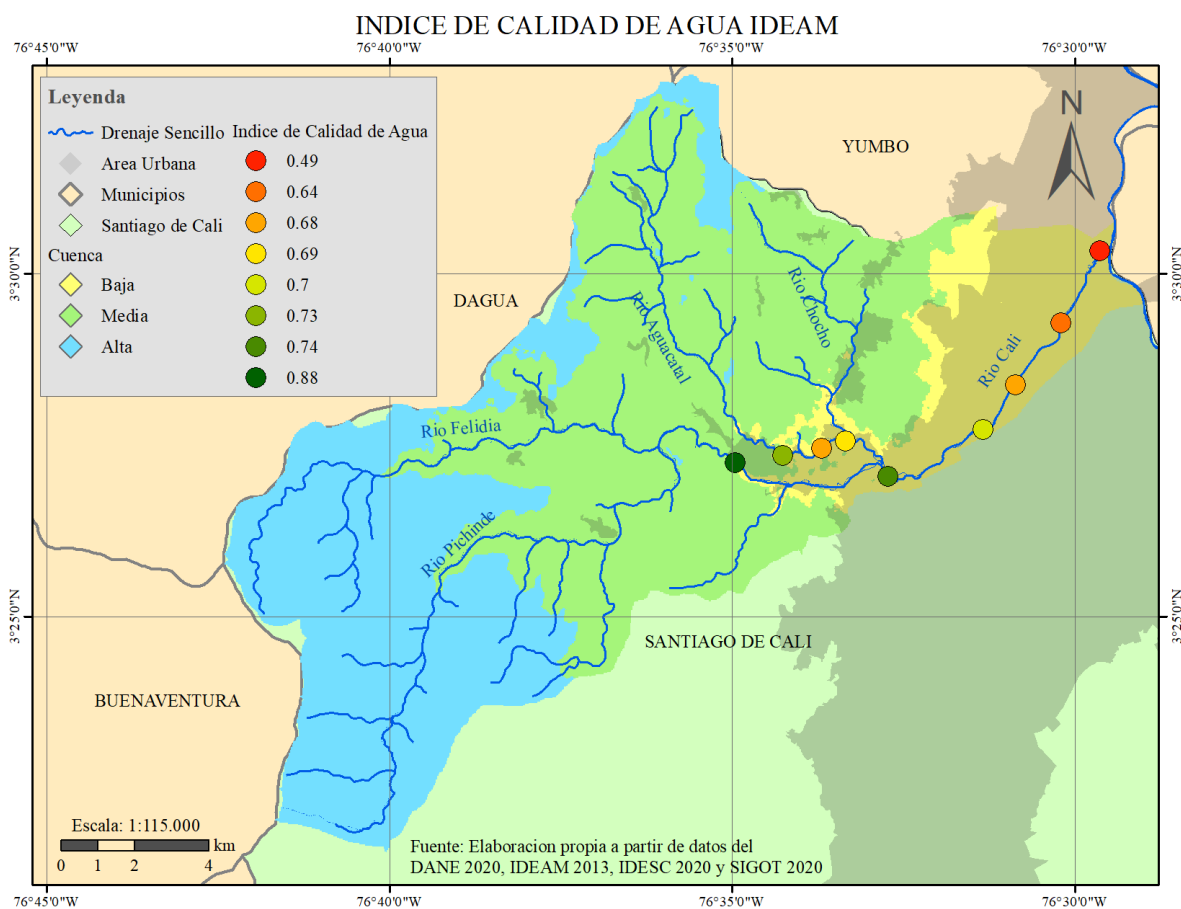
Punto 9 - Salida del perímetro urbano 200 metros antes de desembocadura al Río Cauca

Lastimosamente existen mediciones de la calidad del agua en algunos puntos específicos de la cuenca baja del Río Cali y algunas en el tributario Río Aguacatal. Se Presentan los valores por el IDEAM para cada uno de los puntos tomados en el año 2015 (ver tabla 14).

Tabla 14. Serie de índices, incluido el ICA calculados por el IDEAM

Punto	Río	SST	OD	pH	DQO	C.E.	ICA
1	Cali	1.75	100.77	7.15	8	164.9	0.88
2	Aguacatal	5.2	74.59	7.43	19	275	0.73
3	Aguacatal	5.6	70.94	7.7	21.5	526	0.68
4	Aguacatal	7.25	75.85	7.64	24.6	530	0.69
5	Cali	16	99.54	7.43	24.32	472	0.74
6	Cali	16	88.07	8.46	16	472	0.7
7	Cali	24	78.32	8.54	18	420	0.68
8	Cali	28	78.03	8.52	23	435	0.64
9	Cali	48	62.14	6.58	207	650	0.49

Para su representación (ver mapa 5), se usaron los colores que van de azul a rojo, dependiendo del nivel de la calidad de la misma, siendo azul una buena calidad, luego el color verde, luego el amarillo, naranja, y por último rojo, color designado a la peor calidad de agua.



Mapa 5. Índice de Calidad de Agua (ICA), datos del IDEAM

En los 5 puntos estudiados desde el área menos urbana hasta las partes más bajas del río, se identificaron con más alto puntaje la presencia de las siguientes familias:

Tabla 15. Identificación de las familias.

Puntos estudiados	Orden	Familia	Número	Valor BMWP/Col
Punto 1 (Río Pichindé)	Plecoptera	Perlidae	22	10
Punto 2 (Río Felidia)	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	4	9
Punto 3 (Río Cali - Inicio de su casco urbano)	Ephemeroptera	Leptohyphidae	18	9
Punto 4 (Río Cali - 300 m después del Río Aguacatal)	Ephemeroptera	Baetidae	21	7
Punto 5 (Río Cali - 300 m antes del Río Cauca)	Ephemeroptera	Baetidae	5	7

Fuente: Elaboración propia.

La calidad de agua que se determina en función de la abundancia de macro invertebrados cuyos grupos predominantes indican que: Ephemeroptera (mayor tolerancia a la contaminación), Plecoptera (no tolera la contaminación y solo existe en aguas limpias) y Trichoptera (tolerancia media). Teniendo en cuenta esta valoración de las familias en cada uno de los puntos estudiados, se pudo evidenciar que, como era de esperarse, los puntajes BMWP/Col indican una mejor calidad de agua, en los puntos muestreados en la parte alta de la cuenca del Río Cali el punto 1 en el Río Pichindé y en el punto 2 en el Río Felidia, y a medida que los puntos se encuentran en puntos más bajos de la cuenta señalan una peor calidad de agua (Punto 5).

Con respecto al cálculo, el puntaje promedio por taxón llamado comúnmente ASPT, para la evaluación de la calidad del agua, se realizó dividiendo el puntaje total BMWP/Col de cada punto por el número de taxones encontrados en cada uno de los puntos muestreados, con lo que se tiene como resultado el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macro invertebrados hallados en cada punto muestreado. Se tiene que el puntaje fue 8.0 (Aceptable: ligeramente contaminadas).

El índice BMWP/Col mostró que la calidad del agua en el Río Pichindé es aceptable, lo cual significa que su condición es ligeramente contaminada o donde se evidencian efectos de contaminación; pero, para el punto muestreado ubicado en el Río Aguacatal el resultado del índice indicó que, los niveles de calidad son críticos equivalentes al de aguas muy contaminadas, presumiblemente resultado de la actividad minera ilegal que se practica próxima a su nacimiento.

8. DISCUSION

Tomamos en cuenta los impactos generados por la extracción minera en la parte alta de la cuenca del Río Cali de la ciudad de Santiago de Cali, específicamente, lo referente a los generados sobre los niveles de calidad del agua del Río Cali.

En tal sentido, se evaluaron los niveles de calidad del agua del Río Cali en el municipio de Santiago de Cali al año 2021. La fuente de aprovisionamiento del río, tiene una capacidad de producción de 1.80 m³/seg, para surtir de agua potable a 420.000 consumidores localizados en la parte antigua de la ciudad. Por ello, la planta de tratamiento una planta a gravedad, la componen 20 Filtros rápidos, doce con tecnología americana tipo ascendente y ocho con tecnología francesa de tipo descendente; cuatro tanques de almacenamiento con una capacidad de 40.000 mts³. La planta cuenta con cinco salidas a gravedad: Refuerzos Norte, Sur, Centro, Nacional, La Normal, y una por bombeo llamada Bellavista.

Sin embargo, la presencia de minería de subsistencia subterránea en la cuenca del Río Chocho, corregimiento de Golondrinas, ha derivado en un estado ambiental crítico que, se expresa en una gama de impactos ambientales negativos de diferente intensidad, de los cuales, los más relevantes son: contaminación de corrientes naturales de agua por el aporte

de aguas residuales con contenidos de ácidos sulfúricos y sedimentos de escombros de la minería; pérdida de la biodiversidad debido a la siembra de especies arbóreas foráneas; erosión del suelo causada por la deforestación y apertura de carreteras; contaminación del suelo por la disposición inadecuada de material estéril.

Sin embargo, la minería que se encuentra actualmente en la cuenca funciona sin ningún control y sin cumplir los requerimientos de ley, lo cual puede tener impactos devastadores para la cuenca en términos ambientales y para sus habitantes en términos de salud. En lo alto del Río Cali, en la zona de los Farallones, se sigue presentando minería ilegal que contamina el río con mercurio y cianuro. El 90% de estos químicos se queda en el lecho del río. De las 21.526 hectáreas de la cuenca hidrográfica, aproximadamente el 40% tiene erosión leve y moderada; es decir que se han perdido cerca de 4.000 hectáreas.

Para efectos del estudio, se realizó la recolección de las muestras en 5 puntos estratégicos en el año 2021 entre los meses de julio-agosto, periodo de poca precipitación y por ende de poco caudal; aunque, sí se registraron algunas lluvias. Estos cinco puntos, se escogieron teniendo en cuenta diferentes parámetros; como la accesibilidad, la zonificación de la cuenca en alta, media y baja, información oficial disponible sobre índices de la calidad del agua y los principales ríos que componen la cuenca.

No obstante, la totalidad de los índices coinciden en un muy preocupante escenario para la calidad del agua depositada por el Río Cali al Río Cauca; para ese punto ubicado aproximadamente a 300 metros antes de la desembocadura, los índices concuerdan en una calidad muy crítica del agua, lo cual corresponde a aguas altamente contaminadas.

Los usos de estos índices de evaluación del agua, realizada a lo largo del área de la cuenca, como también muchos otros indicadores de calidad de agua, contribuyen al aumento de la precaución que se debe desarrollar para tomar decisiones a nivel administrativo y aportar herramientas para mejorar la calidad del agua de los cuerpos del agua, a lo largo de toda la cuenca del Río Cali.

Desde su nacimiento y desde sus primeras corrientes de agua se notó una afectación considerable por parte de actividades humanas referentes a labores de extracción de materiales. Estas áreas requieren una mejor administración y la implementación de proyectos para aumentar la conciencia de la importancia de la calidad ambiental por parte de la comunidad, fomentar la conservación y asegurar una vigilancia efectiva por parte de las autoridades correspondientes.

9. CONCLUSIONES

El índice BMWP/Col mostró que la calidad del agua en el Río Pichindé es aceptable, lo cual significa que su condición es ligeramente contaminada o donde se evidencian efectos de contaminación; pero, para el punto muestreado ubicado en el Río Aguacatal el resultado del índice fue que los niveles de calidad son críticos, equivalentes al de aguas muy contaminadas, presumiblemente resultado de la actividad minera ilegal que se práctica próxima a su nacimiento.

El puntaje promedio por taxón o índice ASPT para el punto de muestreo en la parte alta del Río Pichindé, la calidad coincide con la obtenida por el índice BMWP/Col; sin embargo, para el punto en la parte alta de la cuenca en el Río Aguacatal este índice indica una calidad de agua aceptable, mucho mejor calificada por el índice BMWP/Col, esto de alguna manera correspondería más con la calidad de agua esperada en este punto, cabe anotar que es este punto en el que se capturaron menos cantidad de especímenes.

Cada índice usó diferentes formas de observar la información obtenida a partir de las muestras para evaluar la calidad del agua. Consideramos que el índice BMWP/Col proporciona una buena representación de las condiciones actuales de los cinco puntos de muestreo a lo largo de la cuenca.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Balance-Oferta-Demanda de agua cuenca del río Cali. 2018. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/Balance_Cali_0.pdf

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Cali en Cifras 2019. {En línea} {Consultado Octubre 2021}. Disponible en: <https://www.cali.gov.co/documentos/1704/capitulos-de-cali-en-cifras/>

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Identificación de la situación ambiental de la cuenca hidrográfica del río Cali, Zona Urbana de Santiago de Cali. 2005. {En línea} {Consultado agosto 2021}. <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/dagma/informeejecutivorioscaliyaguacatal.pdf>

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Cali. 2011. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/Cali/POMCH%20Rio%20Cali%202011.pdf

ÁLVAREZ A., Luisa F. Metodología para la utilización de los macro invertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2005.

ARANGO, María C., ÁLVAREZ, Fernanda L., ARANGO, Alexandra G., TORRRES, Orlando E., MONSALVE, Asmed de Jesús. Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. En Revista EIA, n° 9, 121-141 p. 2008

ASOAMBIENTES. Caracterización hidrológica Y evaluación de la Calidad de las aguas de las subcuencas del municipio de Cali ríos: Pance, Lili, Meléndez, Cali Cañaveralejo, Aguacatal y Cauca. Santiago de Cali: DAGMA noviembre, 1996. 148 p.

CABALLERO, A. ¿Qué es la huella hídrica y por qué es importante? 2018. {En línea} {Consultado marzo 2021}. Disponible en: <https://planetainteligente.elmundo.es/2019/eco/que-es-la-huella-hidrica-y-por-que-es-importante.html>

CARRERA R., Carlos, FIERRO P., Karol. Los macro invertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Manual de monitoreo. Quito: EcoCiencia. 2001.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE Y DEL CAUCA Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Cali. 2011. {En línea} {Consultado marzo 2021}. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/Cali/POMCH%20Rio%20Cali%202011.pdf

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA. (s. f.). Cortolima. Recuperado 20-06-07, de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_collo/diagnostico/apendices/invertebrados/fichas_coleopteros.pdf

CUMMINS, K., & MERRITT, R. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America [PDF] (4ta Ed.). <https://doi.org/10.2307/1467288>

DEPARTAMENTO DE URBANISMO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID. Bioindicadores. Madrid: Documentación Hábitat, 2005.

EASTERN NORTH AMERICA. The Atlas of Common Freshwater Microinvertebrados. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: <https://www.macroinvertebrates.org/>

GOBERNACIÓN DE VALLE DEL CAUCA. Anuario estadístico del Valle del Cauca 2018. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: <https://www.valledelcauca.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=viewpdf&id=285>

HAWKES, H. A. Origin and development of the biological monitoring working party score system. En Wat. Res. Vol. 32, n°. 3, 964-968 pp., 1997.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE (IDEAM), VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – REPÚBLICA DE COLOMBIA. Macro invertebrados acuáticos, determinación taxonómica – conteo. 2006.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. Estudios sobre macro invertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras

PÉREZ V, Gerson J., ARRIETA A., ALÍ M. CONTRERAS A., JOSÉ G. RÍO CAUCA: la geografía económica de su área de influencia. Banco de la República. Centro de estudios económicos regionales (CEER). Cartagena. {En línea} {Consultado agosto 2021}. Disponible en: https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_225.pdf

PÉREZ-VALBUENA, Gerson Javier, ARRIETA-ARRIETA, Alí Miguel, CONTRERAS-ANAYA, José Gregorio. Río Cauca: la geografía económica de su área de influencia. Banco de la República. Centro de estudios económicos regionales (CEER). Cartagena. {En línea} {Consultado marzo 2021}. Disponible en: https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_225.pdf

PRAT, Narcis. En: Seminario Internacional “Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de Calidad del Agua (17-20, febrero: Santiago de Cali, Valle del Cauca). Limnología Fluvial y Bioindicación de Calidad del Agua. Barcelona España Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona: Centro de Investigación en Control de Contaminantes Ambientales (CICCA).

REPÚBLICA DE MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. El Agua Virtual y la Huella Hídrica. En línea. Tomado de (<http://politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/guias/NTC5613.pdf>). Consultado 22 de marzo de 2017.

ROLDÁN P., Gabriel A. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 2003.

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel A. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2003. 170 p. (Colección Ciencia y Tecnología).

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. En: Seminario Internacional. Op. Cit., Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Agua en Colombia: Estado actual y Perspectivas. Medellín Colombia: Universidad de Antioquia.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. A Primer on Water Quality. Estados Unidos: Estudios Geológicos de los Estados Unidos, 2016.

VÁSQUEZ SILVA, Gabriela: MEJÍA CASTRO, Germán, et al. Ciudad de México D.F.: Departamento el Hombre y su Ambiente Universidad Autónoma Metropolitana de México, 2006. 7.

WALTEROS, R., JEYMMY M. Guía rápida para la identificación de macro invertebrados acuáticos. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.24858.54721

ZAMBRANO C., ESTEFANIA. Evaluación de calidad de agua para consumo humano en las cuencas priorizadas del departamento del Valle del Cauca a partir de la información generada por los mapas de riesgo. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental. 2019. 133 p. {En línea} [Consultado agosto de 2021]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11198/T08531.pdf?sequence=5&isAllowed=>

Santiago de Cali, marzo 10 de 2022

Profesor

Javier Enrique Thomas B

Director

Departamento de Geografía

Asunto: Evaluación trabajo de Grado “*NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CALI EN RELACIÓN CON LAS ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN DE MINERÍA EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI – VALLE DEL CAUCA - 2021*”

Cordial saludo

Adjunto a la presente, la evaluación del trabajo de grado de la referencia, lo cual entrego los resultados de acuerdo a l siguiente formato:

FORMATO DE EVALUACIÓN TESIS DE PREGRADO

Título de la tesis:

Niveles de calidad del agua del río cali en relación con las actividades de extracción de minería en el municipio de santiago de cali – valle del cauca – 2021

ESTUDIANTES: Crhistian Hernán Muñoz Ortegón, Andrés Felipe Moreno Wiedman

NOMBRE DEL EVALUADOR: Alan Giraldo

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se presenta de manera sucinta la problemática de estudio. Sin embargo se identifica el propósito del mismo y el tema a abordar.

2. JUSTIFICACIÓN

Se presenta una argumentación sencilla sobre la importancia del tema abordado y del desarrollo del trabajo de grado.. Sin embargo, hay elementos que deben ser incorporados en caso de que se quiera evaluar la posibilidad de publicar este trabajo.

3. OBJETIVOS

Los objetivos son identificados. El objetivo general no incorpora elementos relacionados co la explotación minera eje cetral del tema de einvestigacion y del propoisto del mismo. Se sugiere ajustarlo (ver recomendación en el texto).

4. MARCO TEÓRICO

El marco teórico del estudio presenta una contextualización conceptual y antecedentes adecuado. Se incorporación información sobre el marco legal, y se finaliza con un párrafo síntesis.

5. MARCO CONTEXTUAL

Se presentan de manera amplia la descripción de los diferentes elementos involucrados en la obtención de la información de análisis y la descripción de la zona de estudio.

6. MARCO CONCEPTUAL

Se describe de manera amplia los elementos conceptuales (caracterización geográfica) que van a ser determinantes para la discusión de los resultados.

7. ACTIVIDADES EXTRACTIVAS

Se describen las actividades mineras que se realizan en la cuenca (área de estudio) incluyendo su localización espacial e incluso se presenta información sobre actividad minera ilegal..

9. TRABAJO DE CAMPO

Se describe de manera amplia y detallada los resultados obtenidos, los elementos utilizados, los análisis realizados, y los valores de los estimadores seleccionados. Se hace una descripción tabular y espacial de los resultados obtenidos de calidad de agua a través de la implementación de los diferentes indicadores utilizados y se argumenta su relación con las condiciones o factores que promueven una alta modificación del entorno lacustre de interés. Se describen las principales características morfológicas de las familias identificadas.

10. ANALISIS

Se presentan los resultados obtenidos de manera ordenada y consecuente con los objetivos propuestos para el desarrollo de la investigación y se finaliza con una síntesis.

11. BIBLIOGRAFIA

La bibliografía reportada es relevante al tema, es amplia y suficiente.

Resultado de la Evaluación

No aprobado: cuando no se presenta coherencia metodológica y argumentativa en lo disciplinar y teórico, para el cumplimiento de los objetivos planteados.

☐

Pendiente: en caso de que se sugieran observaciones y el trabajo requiera de ajustes por parte del autor.

☐

Aprobado: cuando se cumple con los objetivos propuestos, hay coherencia metodológica y argumentativa,

☒

*Se anexa documento con algunos comentarios



Santiago de Cali, 18 de abril de 2021

Profesor
JAVIER E. THOMAS BOHORQUEZ
Director Programa de Geografía
Universidad del Valle

Cordial saludo

Luego de dar lectura al documento corregido de trabajo de grado desarrollado por los estudiantes **CHRISTIAN HERNÁN MUÑOZ ORTEGÓN y ANDRÉS FELIPE MORENO WIEDMAN**, denominado “**Niveles de Calidad del Agua del Río Cali en el Municipio de Santiago de Cali – Valle del Cauca - 2021**”, dirigido por la docente Cecilia Orozco Cañas correspondiente al requisito parcial para obtener el título de geógrafo(s), me permito presentar el concepto de evaluación con un criterio de calificación: **APROBADO**, considerando que los estudiantes llevaron a cabo las correcciones y abordaron las consideraciones hechas a partir de la primera revisión que realicé de su documento.

Sin otro particular, agradezco por la atención brindada.

Atentamente,



JHONATTAN FERNANDEZ CORDOBA, MSc.

Profesor Hora Catedra
Departamento de Geografía.
Universidad del Valle, Cali – Colombia
Jhonattan.fernandez@correounivalle.edu.co