

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DEL ÍNDICE DE
CONTAMINACIÓN (ICOMO) Y SU RELACIÓN CON EL ÍNDICE BIOLÓGICO
(BMWP/Col) EN EL CAÑO SECO, RESTREPO META.



DAMARIS ANDREA CUINTACO SARMIENTO
JULIETH TATIANA ROBAYO REYES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DEL ÍNDICE DE
CONTAMINACIÓN (ICOMO) Y SU RELACIÓN CON EL ÍNDICE BIOLÓGICO
(BMWP/Col) EN EL CAÑO SECO, RESTREPO META.

DAMARIS ANDREA CUINTACO SARMIENTO
JULIETH TATIANA ROBAYO REYES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniera ambiental

Director
JOSÉ ISMAEL ROJAS PEÑA
Biólogo

Co-Director
PhD. Msc. CHRISTIÁN JOSÉ ROJAS REINA
Ingeniero químico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector general

P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Arturo RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad

JOSÉ ISMAEL ROJAS PEÑA

Director Trabajo de Grado

CHRISTIÁN JOSE ROJAS REINA

Co – Director Trabajo de Grado

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA

Jurado

MARIA ALEXANDRA MENDEZ LEAL

Jurado

Villavicencio, junio 2019

Dedicatoria

Le agradezco infinitamente a Dios y la Santísima Virgen María, por llenarme de amor y sabiduría, para afrontar cada obstáculo y levantarme ante las adversidades, por guiar siempre mis pasos y bendecir mi vida permitiéndome llegar hasta aquí.

A mis padres, por darme la vida, por ser el pilar y mejor ejemplo, por impulsar, alentar, apoyar y guiarme en cada paso de mi vida, por su lucha incansable por el bienestar de sus hijos, por su amor incondicional. A mis hermanas: Sandra, y Emilce, por ser mis compañías, por enseñarme que no existe lazo igual que la hermandad, por su protección y acompañamiento desde mi primer día de vida; a María Jose y Juan Diego, por ser más que mis hermanos, por ser mi razón de lucha para querer ser cada día mejor, por permitirme ser su ejemplo. A Dumar, mi compañero, amigo y confidente, mi entero agradecimiento por su apoyo y acompañamiento en tantos momentos de mi vida, siempre teniendo las palabras adecuadas en mis momentos de flaquezas.

Damaris Cuintaco Sarmiento.

Principalmente a Dios y a la Virgen María, que hacen todo posible, son guía en mi camino, por permitirme tener buenas experiencias y enseñanzas durante este proceso, por brindarme las fuerzas, ganas y esperanzas para cumplir mis sueños y metas a diario.

A mis padres, que son las personas que me han acompañado en este proceso, han estado conmigo y me han impulsado a ser una mejor persona día a día, con su apoyo incondicional y entusiasmo, para poder seguir y nunca desfallecer ante cualquier adversidad

A mi hermano por regalarme dos hermosos sobrinos que son mi razón de ser, él que con su conocimiento y esfuerzo ha logrado sacar su familia y así ser mi ejemplo a seguir

A Felipe, mi agradecimiento por su apoyo, y el acompañamiento en la culminación de este proceso, en donde siempre tuvo una voz de aliento en mis momentos de flaquezas.

Tatiana Robayo Reyes

Agradecimiento

Gracias a nuestro director y codirector José Rojas y Christian Rojas, por brindarnos su tiempo, sus conocimientos, sus experiencias y por hacer parte de este importante proceso de formación.

A nuestro docente Jaime Orejarena, quien nos guio en la etapa inicial de éste proyecto, dándonos las bases y las personas necesarias para que esta investigación culminara con éxito. A cada una de las personas que hicieron parte de nuestro proceso de formación, a nuestros docentes, compañeros y amigos por sus lecciones y enseñanzas como profesional y como persona.

Gracias a nuestros padres quienes son nuestros guías y ejemplos, quienes nos enseñaron a no rendirnos ante las dificultades y por su apoyo incondicional, a ellos les debemos todo.

Contenido

	Pág.
1 Planteamiento del problema	16
1.1 Descripción del problema.....	16
1.2 Formulación en torno al problema	18
2 Objetivos.....	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3 Justificación	20
4 Alcance	22
5 Antecedentes.....	24
6 Marco de referencia	26
6.1 Marco Teórico	26
6.2 Marco Conceptual.	27
6.2.1 Ecosistema Acuático	27
6.2.2 Bioindicación.	28
6.2.3 Índice Biológico.....	28
6.2.4 Macroinvertebrados acuáticos	28
6.2.5 Índice de contaminación (ICO).....	29
6.2.6 Índice de contaminación por materia orgánica	29
6.2.7 Índice biológico BMWP/Col	30
6.3 Marco Legal	31
7 Metodología.....	35
7.1 Hipótesis.....	35
7.2 Área de estudio.....	35
7.2.1 Estaciones de muestreo	35
7.3 Variables de estudio.	39
7.4 Colecta de especímenes.....	40
7.4.1 Separación de muestra y determinación taxonómica.....	41

7.5	Análisis y procesamiento de datos.	42
8	Resultados.....	43
8.1	Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.....	43
8.2	Variables físicas, químicas y bacteriológicas.....	50
8.3	Determinación de índices.....	53
8.3.1	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	53
8.3.2	Índice biológico BMWP/col.....	54
8.4	Relación entre las variables físicas, químicas y bacteriológicas con la comunidad de macroinvertebrados en el Caño Seco.	56
9	Discusión de resultados.....	59
9.1	Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.....	59
9.1.1	Nivel de orden.....	59
9.1.2	Nivel de familia.....	60
9.2	Variables físicas químicas y bacteriológicas.....	61
9.3	Índices.....	63
9.3.1	Índice de contaminación por materia orgánica.....	63
9.3.2	Índice biológico BMWP/Col.....	64
9.4	Relación entre las variables físicas químicas y bacteriológicas con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.....	65
10	Conclusiones.....	68
	Recomendaciones.....	70
	Referencias bibliográficas.....	71
	Anexos.....	78

Lista de Tabla

Pág.

<i>Tabla 1 Geolocalización de los barrios colindantes a la zona de estudio.</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2.Resultado de ICOMO en las fuentes hídricas de Restrepo</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 3 Escala de valores para el índice ICOMO</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4 Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col. De acuerdo a los valores originales de BMWP y ajustados por Roldán (2003) para Colombia</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5 Clasificación de las aguas, significado de acuerdo al índice BMWP/Col.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6. Descripción del marco normativo aplicable al desarrollo del estudio.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7 Ubicación de las estaciones de muestreo</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8 Parámetros medidos con su respectivo equipo y metodología.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9Composición taxonómica general</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 10. Medida de tendencia central de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 11 Escala de valores para el índice ICOMO</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 12 Clasificación de las aguas, según el índice BMWP/col</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 13.Índice BMWP/col para el mes de julio.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 14.Índice BMWP/col para el mes de septiembre.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 15. Índice BMWP/col para el mes de octubre.</i>	<i>55</i>

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Área de estudio del caño Seco y sus barrios colindantes	23
Figura 2. Estación uno, aguas arriba	36
Figura 3. Toma de muestra en la estación uno.....	36
Figura 4. Evidencias de impactos en el punto de muestreo	37
Figura 5 Toma de muestra en el curso medio del caño Seco	37
Figura 6 Presencia de material fecal en la estación dos.....	37
Figura 7 Presencia de vertimientos directos al cuerpo hídrico	38
Figura 8 Estación de muestreo tres, aguas abajo	38
Figura 9. Toma de muestra aguas abajo, por Cuintaco.....	39
Figura 10. Colecta de especímenes con la Red D-Net.....	41
Figura 11.Limpieza de muestra e identificación taxonómica	41
Figura 12. Abundancia relativa para Phylum	46
Figura 13. Abundancia relativa para Clase	46
Figura 14. Abundancia relativa para Orden.....	47
Figura 15. Familia de macroinvertebrados recolectados para el mes de julio.	48
Figura 16 Familia de macroinvertebrados recolectados para el mes de septiembre.....	49
Figura 17. Familia de macroinvertebrados recolectados para el mes de octubre	49
Figura 18 Variables físicas, químicas y bacteriológicas por estación de muestreo en el caño Seco (A – C).	51
Figura 19 Variables físicas, químicas y bacteriológicas por estación de muestreo en el caño Seco (A – F).....	52
Figura 20. Puntaje del Índice ICOMO por estación y meses de muestreo del caño Seco (A-C) .	54
Figura 21. Diagrama de ordenación CCA de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las variables físicas, químicas y bacteriológicas en el mes de julio.....	57
Figura 22. Diagrama de ordenación CCA de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las variables físicas, químicas y bacteriológicas en el mes de septiembre	57
Figura 23 Diagrama de ordenación CCA de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las variables físicas, químicas y bacteriológicas en el mes de octubre.	58

Lista de Anexos

Pág.

Anexo 1 Metodología empleada para la realización del estudio..	78
Anexo 2 Perfil de la sección longitudinal de la estación E1, caño Seco en AutoCAD Civil 3D..	79
Anexo 3 Perfil de la sección longitudinal de la estación E2, caño Seco en AutoCAD Civil 3D..	80
Anexo 4 Perfil de la sección longitudinal de la estación E3 caño Seco en AutoCAD Civil 3D. .	81
Anexo 5 Registro fotográfico de las familias de macrovertebrados acuáticos del orden Diptera presentes en el caño Seco.....	82
Anexo 6. Registro fotográfico de las familias de macrovertebrados acuáticos del orden Ephemeroptera presentes en el caño Seco.	83
Anexo 7 Registro fotográfico de las familias de macrovertebrados acuáticos del orden Trichoptera presentes en el caño Seco.....	84
Anexo 8 Registro fotográfico de las familias de macrovertebrados acuáticos del orden Coleoptera presentes en el caño Seco.....	85
Anexo 9 Registro fotográfico de la familia de macrovertebrados acuáticos del orden Lepidoptera presentes en el Caño Seco.....	85

Resumen

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos son ampliamente conocidos como indicadores biológicos de la calidad del agua por su sensibilidad a los cambios de las condiciones ambientales que se reflejan en su abundancia y diversidad. La investigación se realizó en el caño Seco, ubicado en Restrepo- Meta, durante los meses de julio, septiembre y octubre de 2018. Se evaluó el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice biológico BMWP/Col, así, así como también, la relación de las variables físicas, químicas y bacteriológicas con los cambios en la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados en tres estaciones de muestreo a lo largo del cauce, en cada una se fijó un segmento de 100 metros de longitud para la colecta de macroinvertebrados acuáticos con una red tipo “D” identificados hasta nivel taxonómico de familia. Igualmente, se tomaron muestras de agua para análisis de 9 variables entre físicas, químicas y bacteriológicas. En total, se cuantificaron 4510 especímenes pertenecientes a treinta y dos familias, trece órdenes y cinco clases. Las variables que presentaron mayor variación fueron, coliformes totales, $\text{DBO}_{5-20^{\circ}\text{C}}$, DQO. Por medio de un análisis de correspondencia canónica (CCA) las variables ambientales que mayor relación obtuvieron con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos fueron: coliformes totales, DQO, y DBO. Los organismos de las familias *Chironomidae* y *Baetidae* fueron más tolerantes a condiciones de contaminación por materia orgánica, teniendo una estrecha relación con la variable de coliformes totales, mientras que los organismos de la familia *Empidae* y *Coenagrionidae* toleran condiciones de contaminación por sólidos suspendidos totales. Previo a la finalización del estudio técnico se realizará la socialización de los resultados obtenidos a la comunidad y ente municipal para tener posiblemente una implementación de estrategias de mejora para los actores involucrados.

Palabras clave: Macroinvertebrados, bioindicadores, vertimientos, contaminación.

Abstract

The community of macroinvertebrates are also known as biological indicators of water quality. The investigation was carried out in Caño Seco, located in Restrepo-Meta, during the months of July, September and October of 2018. The index of contamination of organic matter (ICOMO) and the biological index BMWP / Col, were evaluated. Thus, as well as the relationship of the physical, chemical and bacteriological variables with the changes in the diversity of the macroinvertebrate community in the sampling stations along the channel, in each one of them was fixed in a segment of 100 meters long for the collection of aquatic macroinvertebrates with a type "D" network identified up to the family taxonomic level. Likewise, water samples were taken for analysis of 9 variables among physicists, chemists and bacteriologists. In total, 4510 specimens belonging to thirty-two families, three orders and five classes were quantified. The variables that present most of the variation are total coliforms, DBO5-20°C, DQO. By means of a canonical correspondence analysis (CCA) the environmental variables that obtained the greatest relationship with the community of aquatic macroinvertebrates were: total coliforms, DQO, and DBO. The organisms of the families Chironomidae and Baetidae were more tolerant to the conditions of contamination by organic matter, having a close relationship with the variable of total coliforms, while the organisms of the family Empidae and Coenagrionidae. Prior to the finalization of the document it is reduced to the socialization of the results to the community and the municipality to have as objective the implementation of improvement strategies for the actors involved

Keywords: Macroinvertebrates, bioindicators, shedding, pollution.

Introducción

Actualmente, una de las más grandes problemáticas ambientales es la introducción de sustancias contaminantes a los cuerpos hídricos, como producto de los vertimientos no controlados de usos: doméstico, comercial e industrial; esto genera un impacto a corto y largo plazo sobre las fuentes receptoras (Arango et al., 2008; Salazar, 2015).

El agua es el principal recurso natural de mayor relevancia por su influencia en la sustentabilidad tanto de los ecosistemas, como de las comunidades y las actividades económicas que se desarrollan en cada región (Corpoboyacá, 2005). Los vertimientos directos realizados a los cuerpos de agua, representan una mayor amenaza al recurso hídrico y por ende a la población aledaña, debido a esto, se ven alteradas las propiedades fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua influyendo en la estabilidad del medio ambiente acuático, y de este modo, perdiendo la capacidad reguladora de las cuencas (Arango et al., 2008; Barrios, Gaviria, Agudelo, & Cardona, 2016; Corpoboyacá, 2005).

En base a lo anterior, el acelerado crecimiento poblacional y la falta de planeación territorial municipal ha generado efectos negativos en el cuidado de los ecosistemas acuáticos, ocasionado la aparición de asentamientos urbanos informales los cuales carecen de conexión a los sistemas de alcantarillado municipal, llevando a estas comunidades a conducir sus aguas negras directamente a los cauces de cuerpos hídricos (Salazar, 2015).

Como en el mayor de los casos, los contaminantes son vertidos a los efluentes y no de manera directa a los ríos de mayor orden, como sucede en caño Seco, localizado en el municipio de Restrepo-Meta, cuyo cauce recorre el casco urbano del municipio, con una longitud aproximada de 6,7 km (Figura 1) desde su nacimiento a su desembocadura. En su trayecto atraviesa los barrios El Recreo, Las Acacias, 20 De Julio, Manantial, La Plazuela y Villa Reina, colindando con asentamientos urbanos en sus dos márgenes, recibiendo vertimientos de tipo directo, y los provenientes del sistema de alcantarillado de tres de los barrios anteriormente mencionados (Secretaría de planeación, 2006).

Recientemente, una de las principales estrategias en la evaluación ambiental de los cuerpos de agua, es el uso de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores (Acosta, Ríos,

Rieradevall, & Prat, 2009), ya que estos organismos, relacionados con las condiciones ambientales del agua, podrían denotar fácilmente los procesos de contaminación.

Por lo anterior, el objetivo principal de este estudio es evaluar la calidad acuática, mediante el uso del índice de contaminación (ICOMO) y el índice BMWP/Col con la comunidad biológica de macroinvertebrados acuáticos en el caño Seco, en el municipio de Restrepo, Meta.

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Actualmente, a nivel global existe un amplio interés en preservar los ecosistemas fluviales. Según cálculos del Programa Ambiental de las Naciones Unidas, América Latina cuenta con el 65% de agua dulce del mundo, obstante, este informe resalta que América Latina ha tenido una pérdida constante de los ecosistemas acuáticos por el aumento de la explotación de material y contaminación de los cuerpos hídricos (Acosta et al., 2009; Yáñez, 2016).

La expansión de la agricultura y el crecimiento poblacional son factores que han incidido constantemente en el impacto sobre la calidad del agua (Acosta et al., 2009). Uno de los principales enfoques en la evaluación de la calidad acuática es el fisicoquímico, el cual brinda una información detallada de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas. Otro enfoque complementario, es la evaluación de las comunidades biológicas, el cual proporciona una información del estado del agua a través del tiempo, esto debido a que muchas especies poseen un ciclo de vida largo, integrando los efectos de la contaminación en el tiempo, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco, Pérez, Gonzáles, Rodríguez, & Alfayate, 2005; Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007).

Algunos estudios desarrollados en Latinoamérica han utilizado la comunidad de macroinvertebrados para evaluar los efectos ambientales de los vertimientos en los diferentes cuerpos de agua, ya que son usados como testigos del deterioro ambiental de las aguas superficiales (Arango et al., 2008). Éstas comunidades reflejan las condiciones y los cambios que ocurren en el sistema, llevando a cabo una evaluación completa del estado de las aguas superficiales y el estado ecológico, obteniendo valores que permiten observar el comportamiento de la contaminación en el momento del muestreo y en un periodo de tiempo determinado (Figueroa, Valdovinos, Araya, & Parra, 2003; Alonso Ramírez & Gutiérrez, 2014; Walteros, Castaño, & Marulanda, 2016).

En Colombia se han desarrollado estrategias de gestión y se han implementado algunas medidas de manejo mediante la unión de diferentes esfuerzos institucionales, como la creación de áreas protegidas y cambios en la legislación, lo cual han permitido focalizar acciones para la conservación y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos del país (Moreno, Caro,

Pinilla, & Osorio, 2017). Estos esfuerzos son importantes, dada la elevada diversidad de los ecosistemas ubicados en el Neotrópico (Tundisi & Matsumura, 2008). En el caso de los ríos neotropicales, existe un gran número de especies de diferentes grupos taxonómicos que conforman una red muy intrincada, conectada de tal manera que algunas de las formas de vida que la componen son altamente especializadas en cuanto a la bioindicación de los cuerpos hídricos (Willis, Winemiller, & Lopez, 2005).

En el departamento del Meta los cambios en las fuentes de agua son debidos a diversas actividades, entre ellas se encuentra: la extracción petrolera, extracción de gravas y arenas fluviales, ganadería, monocultivos, y urbanismo. Las consecuencias de éstas actividades se reflejan en la modificación de las características físicas y químicas de los cuerpos de agua, por ello es importante realizar estudios que permiten la evaluación de la calidad del agua, mediante la implementación de herramientas como los índices de calidad ambiental y así comprobar el efecto negativo de estas actividades sobre ellos, generando medidas para mitigar los impactos (Moreno et al., 2017).

La información disponible de este tipo de problemática en el departamento de Meta no está publicada y es de difícil acceso, algunos estudios han realizado avances relevantes en temas de taxonomía y ecología relacionados con la calidad acuática derivados de trabajos, informes técnicos, proyectos de orden regional y puntual, algunos de ellos concentrados en los grandes cuerpos de agua principales del departamento como lo han sido los ríos Marayal y Humada en la vía que comunica a Villavicencio con San Martín y el río Camoa en Granada (Moreno et al., 2017; Rojas, 2016).

El municipio de Restrepo Meta, es un municipio cercano a la ciudad capital, de principal importancia en la conexión urbana de los demás municipios del piedemonte llanero, y el cual ha tenido un crecimiento poblacional considerable en el área urbana, en los últimos años. A lo largo de su cabecera municipal, está ubicado el caño Seco, el cual recibe todos los vertimientos por parte de la comunidad residente y al día de hoy no ha contado con el desarrollo de proyectos respecto a su calidad; por ello es importante empezar a generarlos, debido a que este cuerpo de agua es importante para la actividad socio económica de la población, puesto que es el suministro principal para las actividades agrícolas, vivienda, entre otros; con la implementación de los índices de contaminación e índices biológicos, se logra conocer el estado actual del cauce y de este modo se facilita la toma de decisiones frente a esta problemática, sumado a esto el municipio, cuenta con

una planta de tratamiento de agua residual, que actualmente no se encuentra en funcionamiento total (Secretaría de planeación, 2006).

1.2 Formulación en torno al problema

El presente trabajo plantea como premisa la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué medida los vertimientos originados por la población circundante al cuerpo hídrico, caracterizados a través de los parámetros; DQO, DBO, Conductividad, pH, Temperatura, OD, Coliformes fecales y totales, afectan la composición de la comunidad bioindicadora de macroinvertebrados acuáticos, presentes en el caño Seco, Restrepo – Meta ?

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua del caño Seco, mediante la implementación del índice de contaminación ICOMO y BMWP/Col y su relación con los macroinvertebrados acuáticos, en el Municipio de Restrepo, Meta.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y caracterizar los aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos principales de la cuenca.
- ✓ Cuantificar el índice de contaminación (ICOMO) y el índice biológico BMWP/col en el cuerpo de agua caño Seco, Restrepo, Meta.
- ✓ Relacionar los parámetros medidos con la comunidad de macroinvertebrados presentes en el caño Seco.

3 Justificación

La evaluación ambiental del componente fisicoquímico con las comunidades biológicas han sido los métodos más utilizados para la medición ambiental (Sermeño Chicas, 2010). Por otra parte, el estudio de estas comunidades biológicas, permite una visión más integral del impacto ambiental de los ecosistemas acuáticos en el tiempo, sumado a esto, ayuda a generar una retrospectiva de las cualidades del medio en el cual se desarrollan los diferentes individuos acuáticos. Las variables fisicoquímicas proporcionan información puntual del estado de la calidad acuática, en este sentido, las comunidades biológicas son un buen complemento, ya que estas al habitar en el cuerpo de agua, pueden generar diferentes tipos de respuestas en relación al estrés de su ecosistema (Sermeño-Chicas et al., 2010; Valverde, Caicedo, & Aguirre, 2012).

El índice de contaminación por materia orgánica ICOMO usa parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, permiten determinar la influencia de este tipo de contaminación, la cual es común de las descargas de aguas residuales domesticas en el cuerpo de agua. Sumado a esto se analizará también el índice biológico BMWP/Col mediante la información de presencia/ausencia de familias taxonómicas de organismos sensibles o tolerantes a la contaminación de la comunidad de macroinvertebrados.

El municipio de Restrepo no cuenta con un sistema de tratamiento de agua residual, por ende, sus principales vertimientos son realizados directamente a los cuerpos de agua municipales (Secretaría de planeación, 2006). Actualmente esta zona cuenta con tres cuerpos de agua receptores de estos vertimientos, entre ellos el caño Seco. Este cuerpo hídrico recibe los vertimientos del sector urbano del municipio (Secretaría de planeación, 2006).

En el caño Seco se localizan los siguientes barrios: Recreo, Acacias, Veinte de Julio, Manantial, Plazuela y Villa Reina, encontrándose entre los dos últimos el complejo ganadero (Secretaría de planeación, 2006), el cual ha sido altamente intervenida mediante procesos de urbanización, deforestación, contaminación por vertimientos líquidos y sólidos. Esto ha generado constante pérdida de la biodiversidad, el paisaje, y sus valores ambientales. La deficiencia en la cobertura del alcantarillado obedece a un desorden en la planificación del uso del suelo y una carencia de conciencia ambiental de la población local que ha provocado el aumento de la contaminación de las fuentes hídricas en el municipio (Secretaría de planeación, 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior, la finalidad de este trabajo es contribuir con conocimiento básico y aplicado sobre el estado de la calidad acuática del caño Seco, con el fin de aportar un estudio técnico, para que el ente competente (Alcaldía de Restrepo) genere estrategias para la toma de medidas de mitigación de impacto antrópico, la conservación de los ecosistemas acuáticos y la gestión sustentable de los recursos en el municipio de Restrepo y la región.

4 Alcance

El municipio de Restrepo se encuentra dividido en 19 veredas y 23 barrios en total. Ubicando el caño Seco entre los barrios el Recreo y Villa Reina, siendo en total 6 barrios que vierten al cauce. En el marco geológico regional se sitúa en el borde del piedemonte llanero, específicamente en las estribaciones de la cordillera Oriental (Secretaría de planeación, 2006) Para el año 2004 el municipio de Restrepo contaba con una población aproximada de 14.126 habitantes y para el año 2019 la población es de 17.285 según datos del DANE (Secretaría de planeación, 2018). Es de resaltar que estos barrios en conjunto con las veredas aledañas tienen influencia directa sobre el cuerpo hídrico, por lo cual se ha presentado una evidente pérdida ecológica y de las características del agua. Por lo anterior, esta área cobra importancia para evaluar la calidad del agua a partir del uso del índice de contaminación ICOMO y BMWP/Col relacionándolo con las comunidades bioindicadoras de macroinvertebrados acuáticos presentes, a partir de esto se propone a la entidad municipal hacer un estudio técnico con los resultados de la investigación, que sirva a la Alcaldía para generar alternativas y recomendaciones de mejora enfocados a la comunidad. Adicionalmente el estudio pretende buscar indicadores alternativos a los usualmente empleados para caracterizar la calidad del agua, que se enfocan en los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, en este caso de índice de BMWP/Col que considera a la microbiota del cuerpo hídrico y como su diversidad es indicativo de la calidad del agua. Esto permitiría que futuros estudios en la región emplearan este tipo de indicadores, que no requieren gran cantidad de reactivos y equipos para su monitoreo.

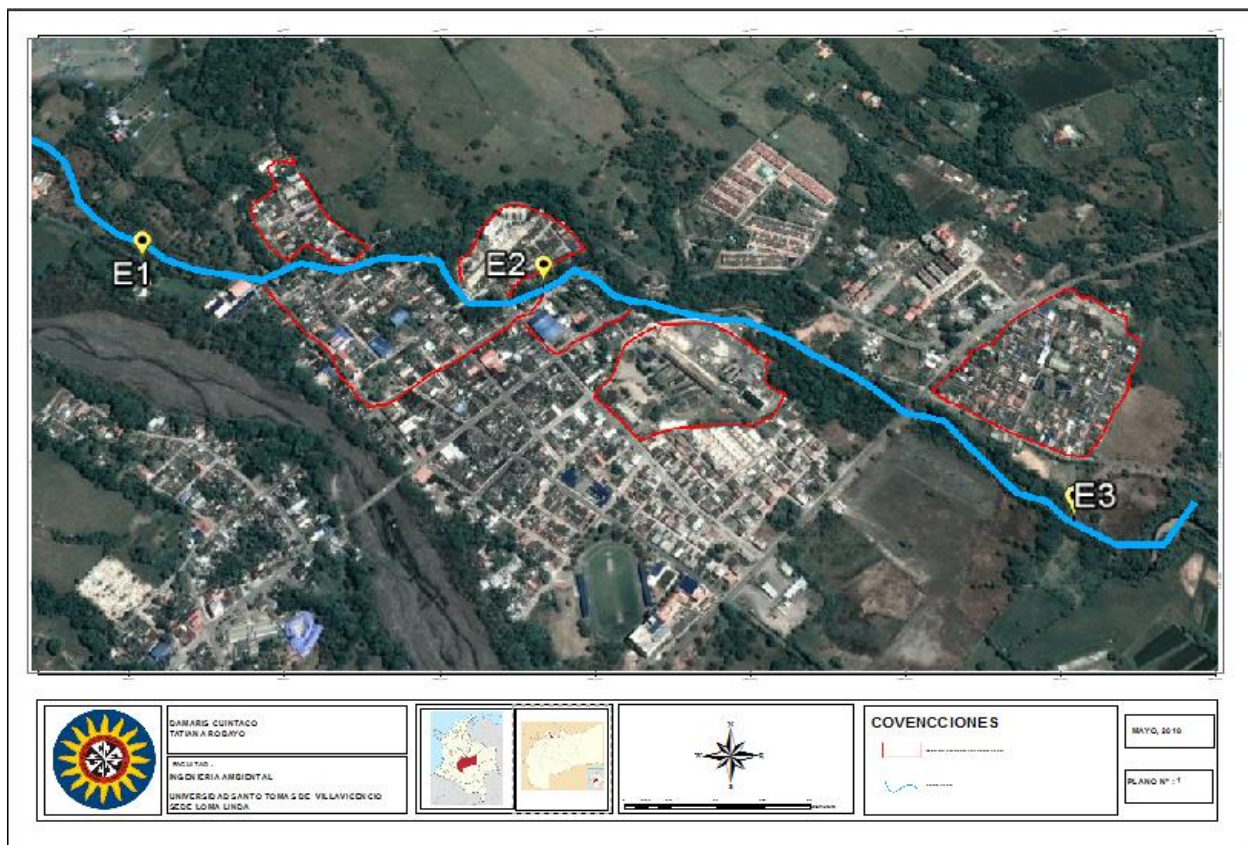


Figura 1. Área de estudio del caño Seco y sus barrios colindantes, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

Tabla 1.
Geolocalización de los barrios colindantes a la zona de estudio.

Estaciones de muestreo	Coordenadas		Área de Estudio	Barrios Colindantes
	N	W		
1	04°15'55.04"	73°34'07.7"	Aguas arriba	Recreo y Acacias
	04°15'50.08"	73°33'44.1"	Aguas	20 de Julio,
2			vertimiento	Manantial
	04°15'33.7"	73°33'18.2"		Villa reina y Vereda
3			Aguas abajo	los medios

Nota: * Coordenadas geográficas de las estaciones, objeto de estudio con sus respectivos barrios aledaños a la fuente hídrica caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

5 Antecedentes

Un problema constante en el deterioro de las cuencas urbanas, son las altas concentraciones de material orgánico en los cuerpos hídricos producto de los vertimientos realizados por parte de la población aledaña, como consecuencia a esto, las comunidades biológicas presentes en la cuenca presentan diferentes tipos de respuesta como resultado al estrés generado de los aumento de las cargas contaminantes orgánicas e inorgánicas (Brousett, 2018; Chará, Chará, Zúiga, Pedraza, & Giraldo, 2010; Roldán, 2016; Toro, Schuster, & Kurosawa, 2003).

El índice de contaminación por materia orgánica ICOMO fue diseñado e implementado por (A. Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997) en Colombia, ha sido citados numerosas veces a nivel nacional y regional, estos estudios se han enfocan en cuerpos de agua receptores de vertimientos de aguas residuales (Torres, 2008).

Roldan y colaboradores en la universidad de Antioquia realizaron proyectos de limniología en el río Medellín y el embalse de Peñol, en el cual compararon las características fisicoquímicas y biológica (Roldán, 2009). Seguido a esto, se publicó una guía para la identificación macroinvertebrados en el departamento de Antioquia y para el año 2003 se realizó una adaptación al modelo Biological Monitoring Working Party score (BMWP), para los ríos colombianos (Roldán, 2003).

La Universidad Nacional de Colombia, ha desarrollado estudios en diferentes cuencas del departamento de Meta, ubicadas en los municipios de Acacias, Guamal, Villavicencio, Puerto López, Puerto Gaitán, Puerto Lleras, Cumaral y Restrepo, realizando un análisis de la comunidad de macroinvertebrados y microalgas del perifiton, para recolectar las características más relevantes de las familias de macroinvertebrados presentes y estudiar las modificaciones que los diferentes vertimientos provenientes de las actividades económicas que se desarrollan en el departamento tengan sobre ellas, para tener como resultado un listado de taxones y microalgas registrados para el departamento del Meta (Moreno et al., 2017).

Otros estudios realizados en la región incluyen el realizado en tres ríos el piedemonte llanero Humadea, Marayal y Camoa, por el grupo de estudio en Recursos Hidrobiológicos Continentales del departamento de Biología de la universidad del Cauca, se realiza un registro durante una época de lluvia de macroinvertebrados acuáticos. Como resultado de este estudio se

obtuvo un registro físico-químicos del agua y se capturaron macroinvertebrados acuáticos epicontinentales, y se implementaron índices de diversidad biológica Shannon-Weaver (H'), Sorensen (S) dando como resultado según el índice BMWP/Col que en los tres ríos cuentan con una buena calidad de agua (Zamora, 2015).

Adicionalmente, la entidad ambiental del departamento del Meta, Corporación Autónoma Regional del Meta (CORMACARENA), ha realizado estudios en diferentes fuentes hídricas superficiales receptoras de vertimientos domésticos, en municipios como Granada, Villavicencio y Restrepo; en éste último municipio, las principales cuencas de estudio fueron el río Upín, río Caney, caño Caraño y caño Seco, implementando el índice ICOMO, lo cual arrojó un puntaje de ICOMO, para caño Seco de 0.62 y 0.64 mostrando una calidad de agua “mala”, esto permitiendo evidenciar procesos de contaminación (Cormacarena, 2011).

Tabla 2.

Resultado de ICOMO en las fuentes hídricas de Restrepo.

Estación	ICOMO	COLOR
3503Sec_01		
3503Sec_02	0,62	MALA
3503Sec_03	0,64	MALA
3503Car_01	0,32	BUENA
3503Car_02	0,89	PÉSIMA
3503Car_03	0,63	MALA
3503Can_01	0,31	BUENA
3503Can_02	0,19	MUY BUENA
3503Can_03	0,19	MUY BUENA
3503Upi_01	0,62	MALA
3503Upi_02	0,68	MALA
3503Upi_03	0,63	MALA

Nota: * evaluación de la calidad del agua mediante el índice ICOMO en diferentes estaciones de muestreo en el Caño Seco, adoptado de “Cormacarena, 2011”, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

Por lo anterior, es evidente que la problemática de contaminación por vertimientos domésticos a los cuerpos hídricos es una situación la cual no es monitoreada de una manera sistemática, mostrando una relación existente entre los índices de calidad de agua o contaminación, con variables presentes en las cuencas tales como, precipitación, presencia de vertimientos domésticos, asentamientos urbanos, entre otros.

6 Marco de referencia

6.1 Marco teórico

La gestión y administración adecuada por parte de los entes territoriales a los recursos hídricos los obliga a conocer su comportamiento y dar una respuesta ante las diferentes intervenciones antrópicas, siendo necesaria la implementación de métodos rápidos y económicos para el diagnóstico de las características de las fuentes receptoras de agua (Gómez, Naranjo, Martínez, & Gallego, 2007).

Los ríos y arroyos conforman los ecosistemas lóticos, estos a su vez son el hogar de toda la fauna acuática que allí se desarrolla (Gómez et al., 2007). Convencionalmente, la sociedad ha estado arraigada tradicionalmente a la cercanía con los ecosistemas acuáticos, con el fin de llevar a cabo su desarrollo y abastecimiento, así como también de fuentes receptoras para sus residuos (Hahn-vonHessberg, Toro, Grajales, Duque, & Serna, 2009; Niño, 2018).

El término de calidad biológica en este contexto contempla la evaluación de la calidad acuática mediante el estudio de la composición y estructura de comunidades biológicas. Para afirmar que un medio acuático presenta una buena calidad biológica, es porque dentro de él se presentan unas características naturales que le permiten a estas comunidades desarrollarse (Niño, 2018). En términos generales, la calidad biológica indica los cambios estructurales medidos mediante la comunidad de organismos (en este caso macroinvertebrados) y el estado ecológico que tiene un sentido más amplio, pues además de la calidad biológica integra otros cambios a nivel del ecosistema como la hidrología, la hidromorfología, la fisicoquímica (trabajada en éste caso), o en la vegetación de ribera..(Acosta et al., 2009).

En Colombia, los estudios en bioindicación con macroinvertebrados acuáticos, datan aproximadamente desde los años 70's en la universidad de Antioquia, desarrollándose estudios sobre la limniología de ríos y quebradas de esta región, (Álvarez & Roldán, 1983; Arango & Roldán, 1983; Roldán, 2009). Estos estudios constituyen la base para la elaboración de una guía taxonómica y ecológica sobre los macroinvertebrados acuáticos de Antioquia.

La composición taxonómica y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados son elementos importantes para determinar el grado de afectación producido por diversas

perturbaciones ambientales de origen antrópico evaluado con el índice BMWP/Col (Roldán, 2009).

Algunas de las características más relevantes del uso de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores se mencionan a continuación (Acosta et al., 2009; Niño, 2018).

Tener una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes).

Una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales.

Ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación.

En otros casos, la posibilidad de utilizar su reacción de huida (deriva) como indicador de contaminación.

En algunas especies, tener ciclos de vida largo porque integra los efectos de la contaminación en el tiempo.

Poder ser muestreados de forma sencilla y barata.

Una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género.

La sensibilidad bien conocida de muchos taxa a diferentes tipos de contaminación.

El uso de muchas especies en estudios experimentales sobre los efectos de la contaminación.

Actualmente existen métodos de evaluación de calidad de las aguas de ecosistemas lóticos basados en el estudio de macroinvertebrados que por su sencillez, rapidez y escaso nivel de conocimiento previo que requiere, así como por la fiabilidad de sus resultados los hace idóneos para la vigilancia de ecosistemas lóticos (Niño, 2018).

6.2 Marco conceptual

6.2.1 Ecosistema acuático

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica del agua, la atmósfera y el medio terrestre que lo rodea (Roldán, 2003). Desde el punto de vista estructural, todo ecosistema (acuático o terrestre), se compone de factores bióticos y abióticos, dentro de una dinámica de interrelación definida y delimitada por estos mismos como una composición dentro del ecosistema y las condiciones edafológicas (Roldán, 2003). El ecosistema acuático ya sea estuario, laguna, charca estacional, embalse, río, etc., se compone de elementos que dependen de los aportes alóctonos y de la capacidad de reciclamiento de materia orgánica. Entre estos se pueden nombrar factores bióticos como fitoplancton,

zooplancton, bentos, neuston y neuston y dentro de los abióticos están temperatura, luz, nutrientes, pH, gases disueltos, sustrato, entre otros. La regulación poblacional es esencial en la permanencia de las especies dentro de un ecosistema establecido (Roldán, 2003).

6.2.2 Bioindicación

La bioindicación es un fenómeno íntimamente ligado al proceso de adaptación a lo largo de toda la evolución de la vida. La metodología “bioindicación” hace referencia a la utilización de biota acuática para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista de tolerancia de las especies a la contaminación (Lievano, 2007). Los indicadores biológicos están formados por macroinvertebrados acuáticos constituidos principalmente por larvas y ninfas de insectos de los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera, Coleóptera y Díptera, entre otros (Zúñiga, 2013), lo que quiere decir que es en los ecosistemas acuáticos donde inicia el desarrollo de su ciclo de vida, pasando por el estado pupal y finalmente el estadio adulto, es por esto su importancia en evaluaciones ambientales (Lievano, 2007).

6.2.3 Índice biológico

Es una herramienta que mide la calidad del agua en función de los organismos indicadores que se desarrollan en el ecosistema, depende directamente de la sensibilidad que tiene cada organismo con respecto a la contaminación, con la implementación del índice biológico se le asigna un valor y la suma de los valores de la comunidad da un número que indica el estado del medio en un punto o un tramo determinado. Los índices biológicos complementan pero no sustituyen a los parámetros fisicoquímicos (Martínez & Gil, 2014). Dan una visión más completa en el espacio y el tiempo, ya que vive gran parte de su ciclo biológico en el agua. La presencia de un determinado organismo indicador asegura una mínima calidad del agua durante todo su ciclo vital (Martínez & Gil, 2014).

6.2.4 Macroinvertebrados acuáticos

Son animales invertebrados de hábito acuático, que viven en sedimentos, rocas, vegetación acuática, y otros sustratos del fondo de diferentes cuerpos de agua hasta ecosistemas marino. Durante sus ciclos de vida, estos animales pueden construir casas, tubos, o redes que usan para vivir sobre rocas, detritos orgánicos o libremente, por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de 250 y 500 μm . Estos organismos son una fuente de alimento para aves,

mamíferos, y peces habitantes de los diferentes ecosistemas. Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente citados como bioindicadores para la evaluación de la calidad acuática en las últimas décadas (Patiño, 2015).

6.2.5 Índice de contaminación (ICO)

(A. Ramírez et al., 1997) desarrollaron índices de contaminación (ICO) que son ampliamente utilizados a nivel nacional y regional en Colombia, actualmente existen nueve índices de contaminación, los cuales varían por el tipo de contaminante a estudiar, se dividen por: materia orgánica (ICOMO), mineralización (ICOMI), sólidos (ICOSUS), contaminación trófica (ICOTRO), potencial de hidrogeno (ICOpH), hidrocarburos (ICOHC), temperatura (ICOTemp), toxicidad (ICOTOX), biológico (ICOBIO). Los diferentes índices de contaminación abarcan una problemática específica para cada caso de estudio (A. Ramírez et al., 1997).

6.2.6 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Este índice contiene diferentes variables físicoquímicas y una microbiológica, los cuales son: demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), porcentaje de saturación del oxígeno disuelto y coliformes totales, que en conjunto evidencian efectos de la contaminación orgánica (Valverde et al., 2012).

Con estos datos se obtiene un valor entre los rangos de 1 y 0, indicando de forma cualitativa el grado de contaminación donde para cada rango se clasifica por medio de colores, el azul indica calidad “muy buena”, verde calidad “buena”, amarillo calidad “media”, naranja calidad “mala” y por último el rojo calidad “pésima”.

Tabla 3.

Escala de valores para el índice ICOMO.

Escala del índice ICOMO		Grado de contaminación	
Rango	Concentración	Indicador	
0-0.2	Ninguna	Muy Buena	
0.2-0.4	Bajo	Buena	
0.4-0.6	Medio	Media	
0.6-0.8	Alto	Mala	
0.8-1	Muy Alto	Pésima	

Nota: * Rango de valores para cada una de las concentraciones e indicadores que miden el grado de contaminación para el ICOMO, adoptado por “Ramírez R, 1997” por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

6.2.7 Índice biológico BMWP/Col

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macro invertebrados como bioindicadores. Este 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 (Roldán, 2009).

Tabla 4.

Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col. De acuerdo a los valores originales de BMWP y ajustados por Roldán (2003) para Colombia.

FAMILIA	PUNTAJE
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, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, 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

Nota: * Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col, ajustado y adoptado por "Roldan, 2003" por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

Tabla 5.

Clasificación de las aguas, significado de acuerdo al índice BMWP/Col.

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	Buena	>150-101	Agua muy limpias y limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Nota: * Clasificación de guas y significado de acuerdo al puntaje índice BMWP/Col, ajustado y adoptado por “Roldan, 2003”, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

6.3 Marco legal

Los índices de contaminación (ICOS) e índices biológicos (BMWP/col) en Colombia son manejados para la gestión integral del recurso hídrico, como una herramienta de articulación entre los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo de la oferta hídrica del país (A. Ramírez et al., 1997; Roldán, 1996).

En Colombia, el decreto 1076 de 2015 entre sus artículos 2.2.3.3.1.1 y 2.2.3.3.9.1 y la resolución 0631 del 2015, son las normas referentes en cuanto al manejo de los vertimientos y la calidad de las fuentes hídricas. El primero; establece los lineamientos acerca de los usos de las fuentes hídricas y monitoreo de los vertimientos sobre las mismas, enfatiza y establece como requerimiento la implementación de modelos de simulación de calidad de agua para predecir impactos que pueda generar los vertimientos en un cuerpo de agua receptor; en cuanto a la resolución 0631 del 2015 esta se enfatiza principalmente en dar a conocer los valores máximos permisibles por parámetro en los vertimientos puntuales realizados en cuerpos de agua superficiales y en los sistemas de alcantarillado público.

Otras, normativas ambientales vigentes en el país, se presentan en la (Tabla 6) bajo la categorización de la pirámide de Kensel.

Tabla 6.

Descripción del marco normativo aplicable al desarrollo del estudio.

Jerarquía	Norma	Año	Alcance	Fuente
Constitución Política	Artículos 79, 89 y 95	1991	El manejo de vertimientos está ligado a la obligación del estado de garantizar un ambiente sano a todos los colombianos y de proteger la integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológicas y fomentar la educación ambiental. El saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del estado.	Asamblea Nacional Constituyente, (1991)
Ley	23	1973	Por medio de la cual se le conceden facultades al presidente de la república para la expedición del código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente, y se decreta las respectivas obligaciones de la nación y de la comunidad con el medio ambiente.	Congreso de Colombia, (1973)
Decreto/Ley	2811	1974	Por medio del cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental.	Congreso de Colombia, (1974)
Ley	99 Artículo 5	1993	Por medio del cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, en su artículo 5, establece que el MADS tiene dentro de sus funciones regular el saneamiento del medio ambiente, tendiendo a reducir la contaminación hídrica.	Congreso de Colombia, (1993)

Continuación (Tabla 6)

Ley	09	1979	Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.	Minsalud, (1979)
Decreto	3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.	MAVDT, (2003)
Decreto	1076 Artículos 2.2.3.3.1.1 al 2.2.3.3.9.1	2015	Por el cual se establece las disposiciones relacionadas en cuanto a los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico o al alcantarillado	MADS, (2015)
Decreto	1076 Artículos 2.2.9.7.1.1 al 2.2.9.7.6.2	2015	Capítulo 7, Por medio del cual se reglamenta la tasa retributiva.	MADS, (2015)
Decreto	050	2018	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 1076 del 2015, en relación con los Consejos Ambientales Regionales de Macrocuenas y se determinan definiciones de capacidad de asimilación y carga contaminante. Por medio de la cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2003, Establece la definición de un PSMV, las autoridades competentes para evaluarlos y aprobarlos, cuando se realiza control y seguimiento, entre otras.	MADS, (2018)
Resolución	1433	2004		MADS, (2004)

Continuación (Tabla 6)

Resolución	2145	2005	Modifica la resolución 1433, basado en que la autoridad ambiental deberá establecer objetivos de calidad de cuerpos hídricos y por ende se deben tener en cuenta las normas de vertimiento, por lo que los PSMV deberán estar articulados a los objetivos de calidad. Por medio del cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del riesgo y Manejo de Vertimientos, los cuales deben ir incluidos en la solicitud de un permiso de vertimientos.	MAVDT,(2005)
Resolución	1514	2012	Por medio de la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y a los sistemas de alcantarillado público.	MADS, (2012)
Resolución	0631	2015		MADS, (2015)

Nota: legalización que regula la generación, disposición y tratamiento de vertimientos generados de actividades productivas y domésticas en el territorio colombiano, adoptado “Congreso de la Republica” por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

7 Metodología

7.1 Hipótesis

“La presencia de cargas contaminantes caracterizadas a través de parámetros físicoquímicos y bacteriológicos, generan un efecto negativo en la diversidad de los individuos de las familias de macroinvertebrados acuáticos, lo que es un indicativo de la afectación de la calidad del agua”

7.2 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en la zona urbana del municipio de Restrepo, Meta, específicamente entre los barrios el Recreo y Villa Reina, esta zona se destaca por la presencia de vertimientos domésticos provenientes por parte de la de los barrios aledaños, además, por el desarrollo de la actividad de la planta de sacrificio y beneficio municipal, la zona de estudio se caracteriza por tener condiciones climáticas de precipitación de 5062 mm/año, con temperatura promedio de 25.8 °C (Secretaría de planeación, 2018).

7.2.1 Estaciones de muestreo

Los puntos de muestreo se establecieron teniendo en cuenta características representativas del lecho como: (i) ancho río, (ii) caudal, (iii) vegetación (iv) micro hábitats, (v) disponibilidad de sustratos y (vi) seguridad y accesibilidad a los puntos de muestreo. Adicionalmente se tuvieron en cuenta las zonas con mayor carga de vertimientos de aguas residuales, tanto directos como difusos para la ubicación de las estaciones.

La primera estación (E1) (Figura 2 y 3) está ubicada en la en la parte alta del afluente a 504 msnm, una zona con baja influencia de actividades antrópicas, aunque se evidencia que aguas arriba se desarrollan actividades agrícolas (Figura 4), pero a pesar de este escenario, visualmente se percibe como una estación con buenas características ambientales y con fácil accesibilidad; lo cual nos ayuda a conocer las condiciones de calidad del agua de caño Seco antes de recibir los

aportes de aguas residuales domésticas por parte de los barrios aledaños y la planta de sacrificio y beneficio municipal.



Figura 2. Estación uno, aguas arriba, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.



Figura 3. Toma de muestra en la estación uno, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.



Figura 4. Evidencias de impactos en el punto de muestreo, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

La segunda estación (E2) (Figura 5) ubicada en el curso medio del afluente a 481 msnm, entre el barrio las Acacias y la plazuela, en esta zona se evidencia mayor presencia del número de vertimientos realizados al cuerpo de agua (Figura 6 y 7), sumado a esto, esta zona se caracteriza por la presencia de residuos sólidos.



Figura 5 Toma de muestra en el curso medio del caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.



Figura 6 Presencia de material fecal en la estación dos, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.



Figura 7 Presencia de vertimientos directos al cuerpo hídrico, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

La tercera estación (E3) (Figura 8 y 9) curso bajo del afluente a 465 msnm, en esta zona termina los vertimientos por la cabecera municipal, se evidencia en las aguas colores turbios y olores fuertes. Posterior a esta zona, al seguir el curso del río, se empiezan a presenciar vertimientos por parte de la población rural de la vereda los medios, para que al terminar su recorrido desemboque en el río Upín.



Figura 8 Estación de muestreo tres, aguas abajo, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.



Figura 9. Toma de muestra aguas abajo, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

Tabla 7.

Ubicación de las estaciones de muestreo.

Estaciones	Coordenadas		Altura (msnm)	Área de Estudio	Barrios Colindantes
	N	W			
1	04°15'55.04"	73°34'07.7"	504	Aguas arriba	Recreo y Acacias
2	04°15'50.08"	73°33'44.1"	481	Aguas vertimiento	20 de Julio, Manantial
3	04°15'33.7"	73°33'18.2"	465	Aguas abajo	Villa reina y Vereda los medios

Nota: * Coordenadas geográficas y altura sobre nivel del mar, de las estaciones, objeto de estudio con sus respectivos barrios aledaños a la fuente hídrica caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

7.3 Variables de estudio

Para cada uno de los puntos de muestreo se midieron *in situ* 5 variables: pH (unidades de pH), oxígeno disuelto (% Saturación O₂), temperatura (°C), conductividad eléctrica (µs/cm), caudal (l/s). Posteriormente, se tomaron muestras de agua para la medición de 5 variables *ex situ*, las cuales se conservaron en frío para ser transportadas y analizadas en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Santo Tomás, Sede Aguas Claras, teniendo en cuenta las guías de laboratorio por el IDEAM: DQO (mg/L O₂), y sólidos suspendidos totales (mg/l), DBO₅ (mg/L O₂) y coliformes totales y fecales (NMP/100ml) como parámetros bacteriológicos (Tabla 8).

Tabla 8.
Parámetros medidos con su respectivo equipo y metodología.

Parámetro	Media aritmética			Coeficiente de variación		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
DQO (mg/L O ₂)	25,25	13,76	26,60	0,50	0,42	0,64
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	37,33	4,,0	45,33	0,59	0,23	0,87
DBO _{5-20°C} (mg/L)	7,33	8,20	9,54	0,28	0,16	0,39
pH (unidades de pH)	7.27	7,43	7,38	0,09	0,08	0,08
Oxígeno Disuelto (% Sat. O ₂)	85,57	74,63	60,87	0,04	0,02	0,03
Temperatura (°C)	23,57	23,30	23,83	0,03	0,01	0,01
Conductividad Eléctrica (uS/cm)	25,43	34,27	38,87	0,05	0,07	0,37
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	7336,33	5900,00	13200,0	0,86	0,78	0,75
Coliformes Totales (NMP/100ml)	960,00	11066,67	8133,33	1,30	1,01	0,61

Nota: *Medición de variables in situ y ex situ con su respectivo método y equipo de medición por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

7.4 Colecta de especímenes

En cada estación de muestreo se estableció un segmento de 100 metros de longitud con los hábitats más frecuentes el curso de agua caño Seco, roca y guijarro (Tercedor, Pardo, Prat, & Pujante, 2005). Posteriormente, se empleó una red tipo “D” (250 µm de luz de malla) que fue colocada parcialmente sumergida sobre el área seleccionada (Maroñas, Marzoratti, Vilches, Legarralde, & Darrigran, 2010) donde se removió suavemente el sustrato a contra corriente (Figura 9), este procedimiento se realizó en sentido aguas arriba para no afectar las condiciones de los sustratos y generar un error en el muestreo de esta comunidad biológica (Roldán, 2009). En cada estación se realizó un total de 20 arrastres en los sustratos y micro hábitats disponibles, posteriormente se integró todo el material colectado en un balde para el posterior tamizaje de la muestra y separación

del material orgánico en campo. Finalmente, la muestra se almacenó en un recipiente de 500 ml y preservó con alcohol al 96% de concentración.



Figura 10. Colecta de especímenes con la Red D-Net, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

7.4.1 Separación de muestra y determinación taxonómica

Se separaron los especímenes del material de la muestra y fueron almacenados en tubos Eppendorf con alcohol al (96%) y etiquetados con la información de campo y la familia correspondiente. La identificación de los especímenes se realizó con base en las claves taxonómicas de: (Dominguez & Fernández , 2009) y consultas a especialistas para confirmar la identificación.



Figura 11. Limpieza de muestra e identificación taxonómica, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

7.5 Análisis y procesamiento de datos

Se realizó un análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos por familia recolectado por mes, empleando las claves taxonómicas (Roldán, 1996) para cada una de las estaciones de muestreo.

Para llevar a cabo el índice ICOMO, se realizó por medio de la herramienta informativa para el análisis y la valoración de la calidad del agua ICATest v1.0 (Fernández, Ramos, & Solano, 2004) el cual permitió generar y guardar, tanto reportes como historiales, además de realizar estudios comparativos de la calidad del agua.

Para la implementación del índice biológico BMWP/Col se empleó el artículo científico desarrollado por (Roldán, 2003), el cual mediante el estudio de las familias de macroinvertebrados presentes, nos arrojó una matriz por periodo de muestreo, evaluando la calidad del agua del caño Seco.

Finalmente, para determinar la relación entre las familias de macroinvertebrados acuático y las variables físicas, químicas y bacteriológicas se realizó un análisis de la correspondencia canónica (CCA) usando el software Past3.exe (Hammer, Harper, & Ryan, 2001), el cual nos permitió relacionar la abundancia de los especímenes con los variables ambientales presentes.

8 Resultados

8.1 Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

En general, para el estudio en el caño Seco, se encontró un total de 3 phylum, 5 clases, 13 órdenes y 32 familias, con una abundancia total de 4510 individuos (Tabla 5).

El phylum con mayor número de individuos fue Arthropoda (96,91 %), seguido por Annelidae (2,74%) y Mollusca (0,33%) (Figura 11). Por otro lado, la clase Insecta fue la más dominante con una densidad relativa de (96,74%), mientras las otras cuatro clases presentaron abundancias menores, siendo Malacastrosa la menos abundante con (0,17%) (Figura 12).

Tabla 9.
Composición taxonómica general

Phylum	Clase	Orden	Familia	JULIO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			Abundancia Absoluta	Abundancia Relativa (%)
				E 1	E 2	E 3	E 1	E 2	E 3	E 1	E 2	E 3		
Arthropoda (96,91%)	Insecta (96,74%)	Coleoptera (2,74%)	Dryopidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,02
			Elmidae	21	16	6	11	5	6	26	1	1	93	2,06
			Hydrophilidae	0	0	0	4	5	11	3	0	0	23	0,51
			Lampyridae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,02
			Psephenidae	2	0	0	3	0	0	3	0	0	8	0,18
		Diptera (51,35%)	Ceratopogonidae	0	1	1	0	0	0	4	0	0	6	0,13
			Chironomidae	11	114	68	7	108	7	533	226	951	2025	44,90
			Empididae	0	8	0	0	0	0	4	2	0	14	0,31
			Psychodidae	0	2	7	0	2	0	3	1	0	15	0,33
			Simuliidae	97	100	13	5	3	3	35	0	0	256	5,68
		Epheemeroptera (14,87%)	Baetidae	57	263	191	42	45	17	13	1	10	639	14,17
			Leptohyphidae	2	1	0	11	0	1	0	0	0	15	0,33
			Leptophlebiidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,02
			Leptophlebiidae	0	6	0	1	2	5	0	0	2	16	0,35
		Hemiptera (0,06%)	Veliidae	0	1	0	0	0	0	2	0	0	3	0,07
		Lepidoptera (0,15%)	Crambidae	1	0	0	5	0	1	0	0	0	7	0,16
		Megaloptera (0,08%)	Corydalidae	0	2	0	1	0	0	0	1	0	4	0,09
		Odonata (1,59%)	Calopterygidae	0	0	0	0	0	0	4	1	0	5	0,11
			Coenagrionidae	3	1	0	1	0	1	3	2	0	11	0,24
			Gomphidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,02
			Libellulidae	5	4	0	6	0	1	32	0	2	50	1,11
			Megapodagrionidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,02
			Perilestidae	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0,07
			Protoneuridae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,02
		Trichoptera (25,76%)	Hydropsychidae	120	197	34	31	13	14	146	55	26	636	14,10
			Hydroptilidae	14	61	5	0	0	0	0	1	0	81	1,80
			Philopotamidae	78	113	19	31	17	8	168	8	1	443	9,82
		Plecoptera (0,08%)	Perlidae	0	0	0	2	0	0	2	0	0	4	0,09
	Malacastrosa (0,17%)	Decapoda (0,17%)	Palaemonidae	1	0	0	0	0	0	7	0	0	8	0,18

Continuación (Tabla 9)

Annelida (2,74%)	Hirudinea (1,17%)	Rhynchobdellida (1,17%)	Glossosiphonidae	0	0	31	0	0	0	0	0	22	53	1,18
	Oligochaeta (1,57%)	Haplotaxida (1,57%)}	Naididae	0	0	37	0	0	0	0	29	5	71	1,57
Mollusca (0,33%)	Gastropoda (0,33%)	Basommatophora (0,33%)	Physidae	0	0	2	0	0	2	0	10	1	15	0,33

Nota: Caracterización taxonómica general de las familias de macroinvertebrados presentes en el caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

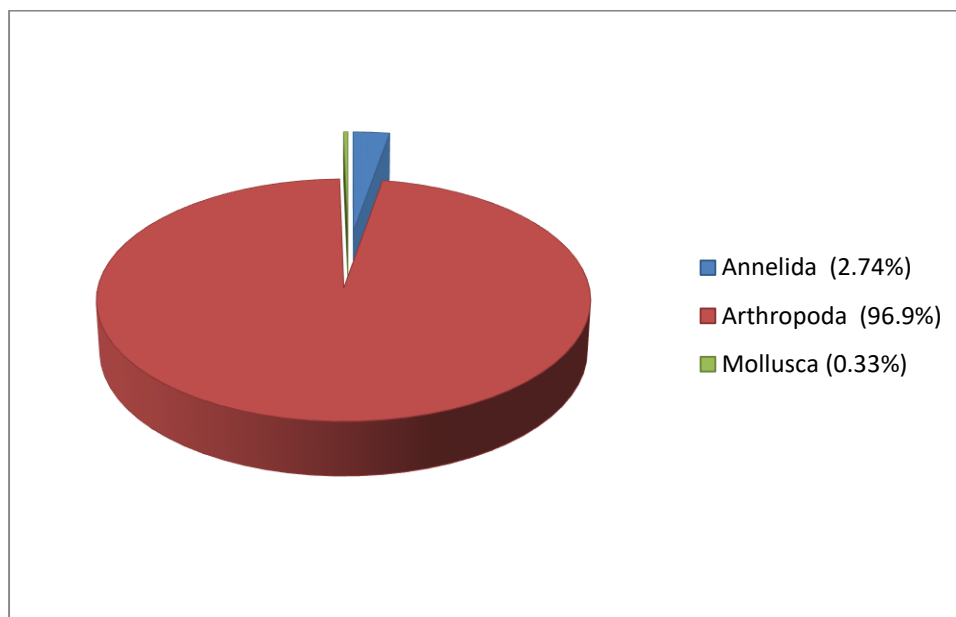


Figura 12. Abundancia relativa para Phylum, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

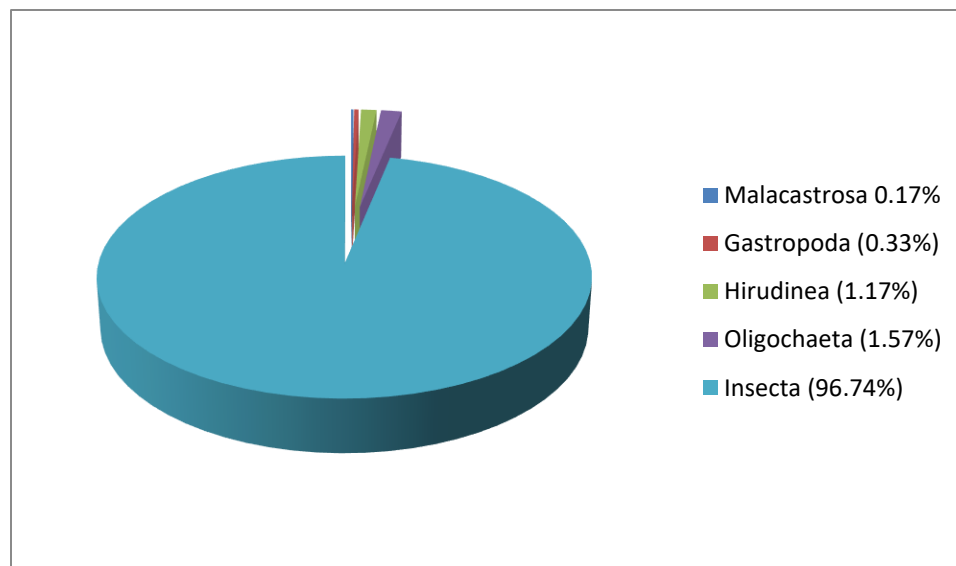


Figura 13. Abundancia relativa para Clase, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

A nivel de orden la mayor abundancia relativa fue el orden de Diptera (51,35%), seguido del orden Trichoptera (25,76%) y los órdenes de menor abundancia son finalmente Hemiptera (0,06%) Plecoptera y Megaloptera con (0,08%) respectivamente (Figura 14).

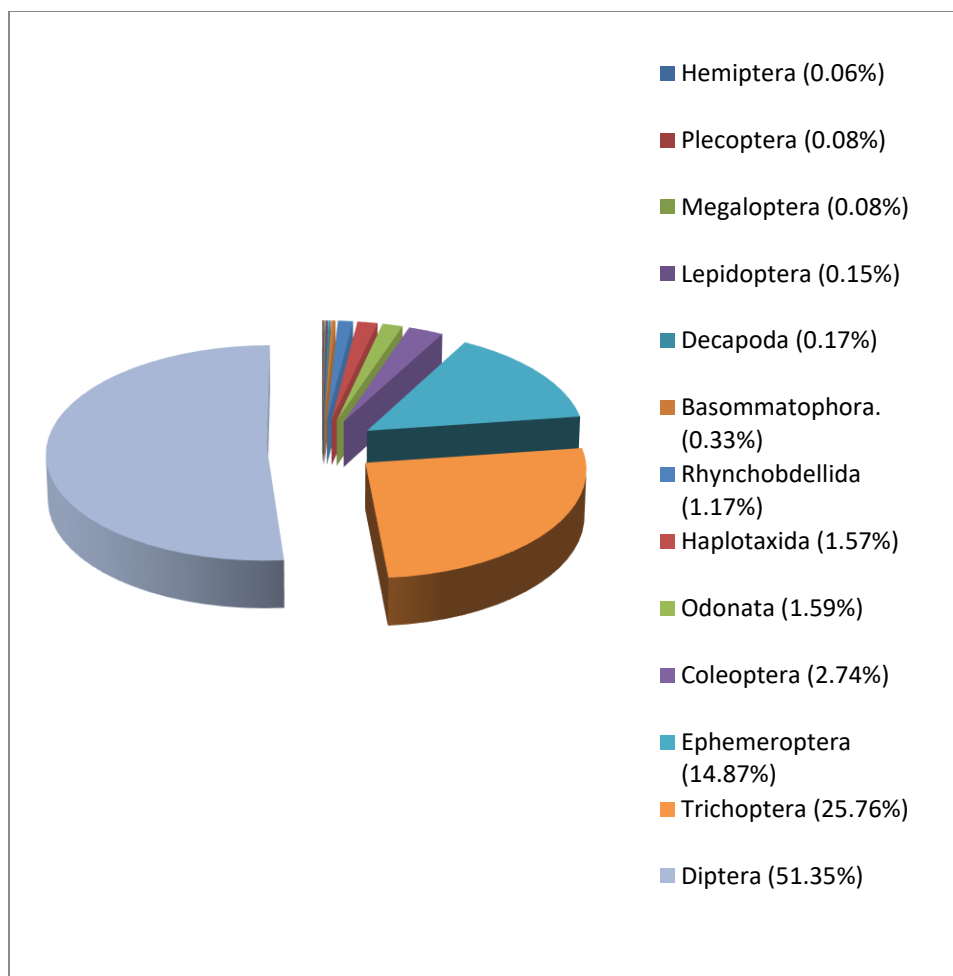


Figura 14. Abundancia relativa para Orden, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

En el rango de familias, se encontró que Chironomidae fue la más representativa con un (44,9%) correspondiente a 2025 individuos y las menos abundantes fueron Megapodagrionidae, Protoneuridae, Leptophlebiidae y Dryopidae con (0,02%) respectivamente (Tabla 9).

Para el mes de julio, se obtuvo un total de 1721 de individuos, en el cual, las familias Baetidae e Hydropsychidae, presentando una abundancia absoluta de 511 y 351 individuos, siendo la más representativas para este periodo de muestreo, en las tres estaciones, la (E2) tuvo una mayor incidencia para las dos familias, a comparación con las dos estaciones y las demás familias, (Figura 15).

En el mes de septiembre se presentó una menor abundancia a comparación de los otros dos periodos de muestreo, con un total de 439 ejemplares, para la estación (E2), continuó teniendo mayor incidencia, pero para éste periodo la familia predominante fue Chironomidae y Baetidae con una abundancia absoluta de 122 y 104 individuos (Figura 16).

Finalizando, el mes de octubre fue el periodo que tuvo mayor abundancia con un total de 2350 ejemplares, en la estación de muestreo E3 presentan una variabilidad conforme a la abundancia total, siendo para este periodo la estación E3 la que presentó mayor incidencia en la familia Chironomidae, siendo esta la más abundante con un total de 951 individuos (Figura 17).

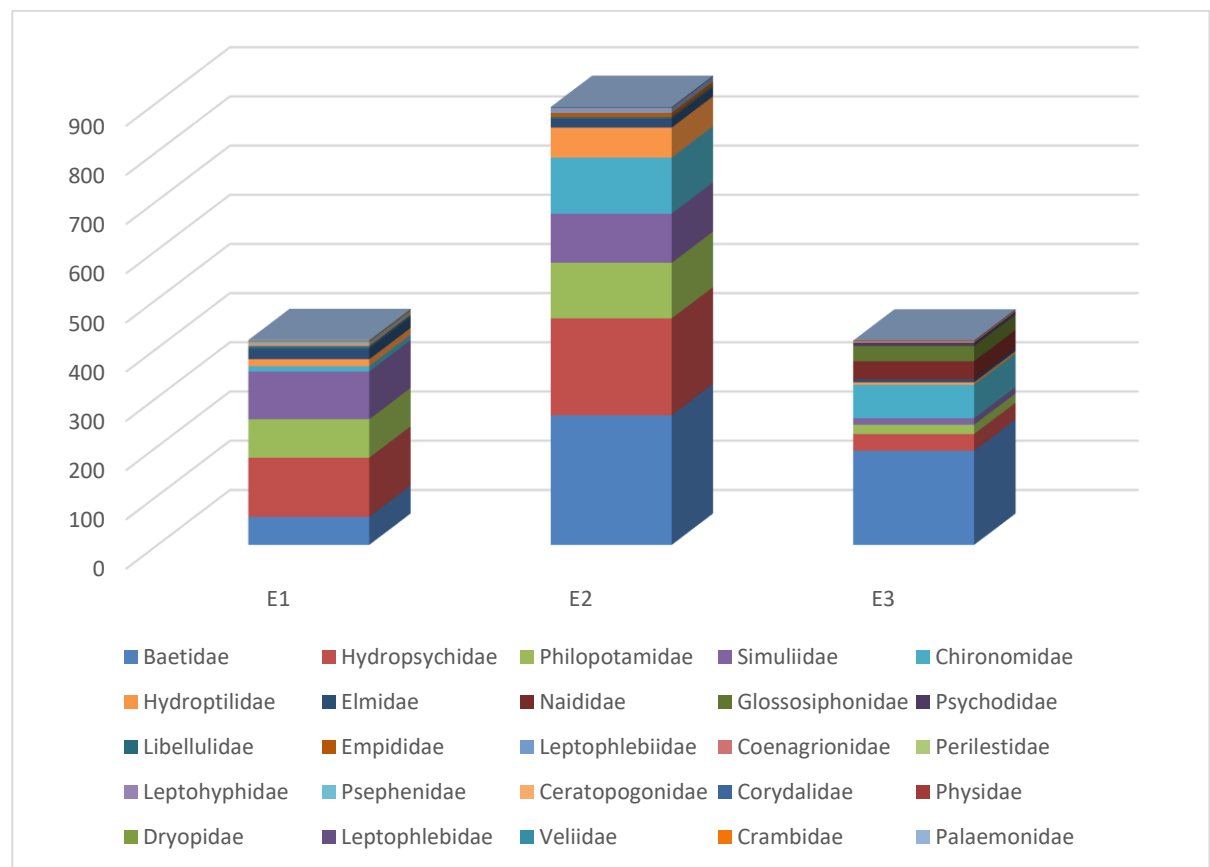


Figura 15. Familia de macroinvertebrados recolectados para el mes de julio, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

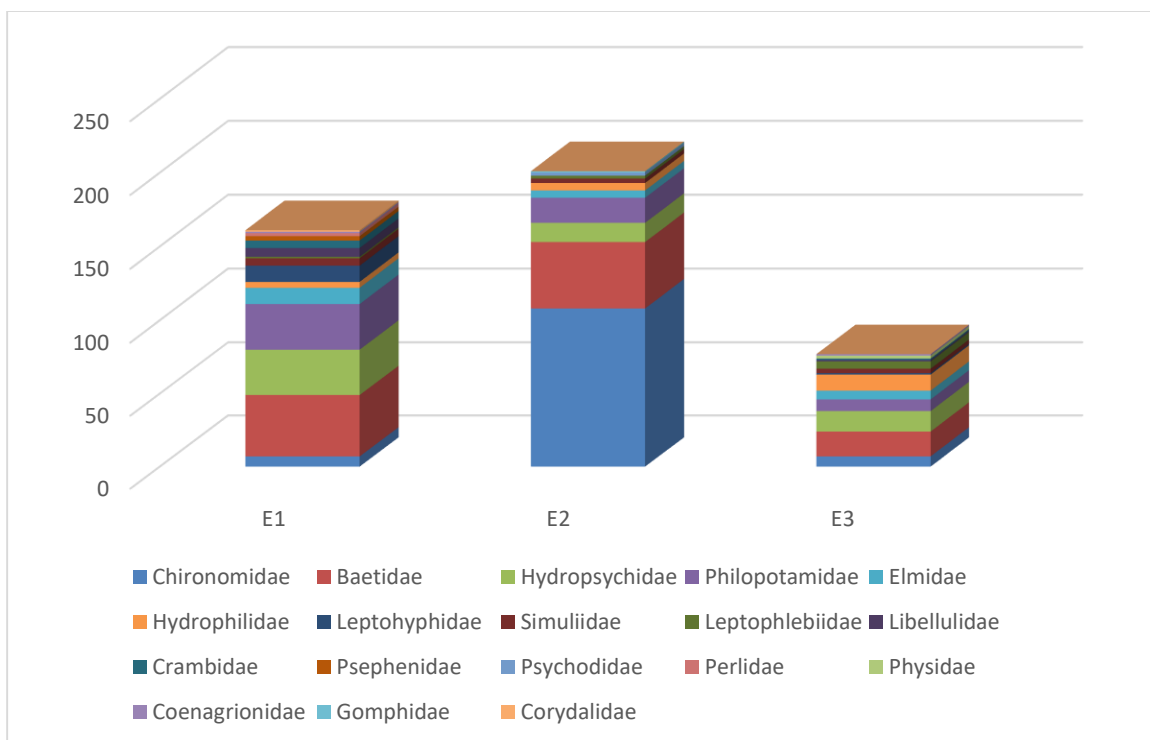


Figura 16 Familia de macroinvertebrados recolectados para el mes de septiembre, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

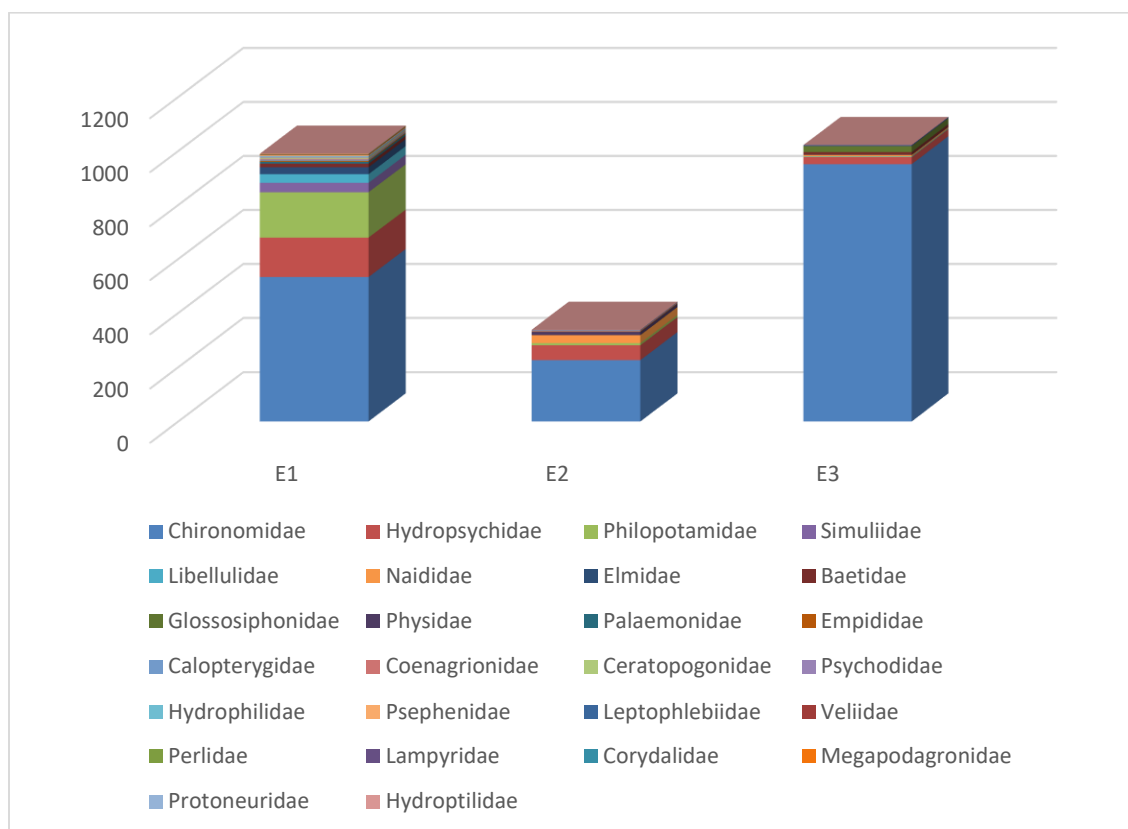


Figura 17. Familia de macroinvertebrados recolectados para el mes de octubre, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

8.2 Variables físicas, químicas y bacteriológicas.

En total se midieron 9 variables físicas, químicas y bacteriológicas, con diferencias marcadas en variabilidad estadística. La temperatura y el oxígeno disuelto presentaron poca variación a lo largo del caño con un coeficiente de variación (E1 0,04 – E2 0,02 – E3 0,03) y (E1 0,03 – E2 0,01 – E3 0,01) para cada estación y variables como coliformes totales presentaron un coeficiente de variación alto con resultados de (E1 1,30 – E2 1,01 – E3 0,61) (Tabla 10).

Tabla 10.

Medida de tendencia central y coeficiente de variación de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos.

Parámetro	Media aritmética			Coeficiente de variación		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
DQO	25,25	13,76	26,60	0,50	0,42	0,64
Sólidos Suspendidos Totales	37,33	4,0	45,33	0,59	0,23	0,87
DBO ₅₂₀ °C (mg/L)	7,33	8,20	9,54	0,28	0,16	0,39
pH	7,27	7,43	7,38	0,09	0,08	0,08
Oxígeno Disuelto	85,57	74,63	60,87	0,04	0,02	0,03
Temperatura (°C)	23,57	23,30	23,83	0,03	0,01	0,01
Conductividad Eléctrica	25,43	34,27	38,87	0,05	0,07	0,37
Coliformes Fecales	7336,33	5900,00	13200,0	0,86	0,78	0,75
Coliformes Totales	960,00	11066,67	8133,33	1,30	1,01	0,61

Nota: * Media aritmética de variables medidas en cada una de las estaciones de muestreo, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

En cuanto a la conductividad eléctrica, los valores aumentaron en la estación E2 y E3 en los meses de septiembre y octubre (Figura 19D). Un comportamiento similar presentó los valores de sólidos suspendidos totales (SST), con la particularidad de que en los meses de septiembre y octubre disminuyen hasta 10 mg/L (Figura 18C).

Respecto a los coliformes totales se observó que las estaciones E2 y E3 en el mes de septiembre y octubre presentaron valores altos oscilando entre 24000 hasta 39000 NMP/100mL (Figura 19F). Igualmente, se observó un incremento en la DQO en la estación E3 ubicada al final

del casco urbano del municipio en los meses julio, y octubre, registrando el valor más alto en el mes de julio en la estación E1 y E2 (Figura 18A). Por el contrario, en la DBO se presentan valores muy parecidos, con poca variación, pero en la estación E3 en el mes de octubre se presenta un aumento notable (Figura 18B).

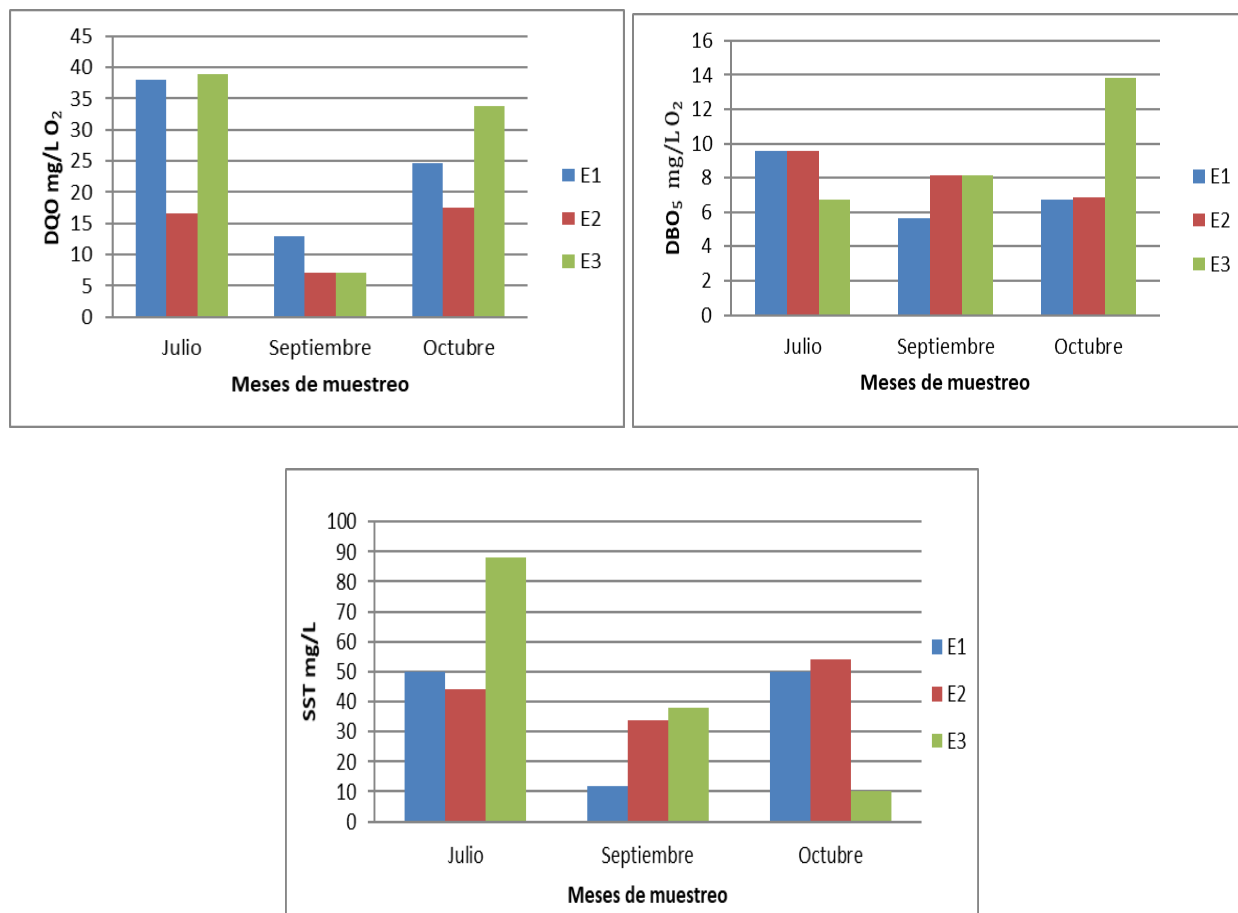


Figura 18 Variables físicas, químicas y bacteriológicas por estación de muestreo en el caño Seco (A – C), por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

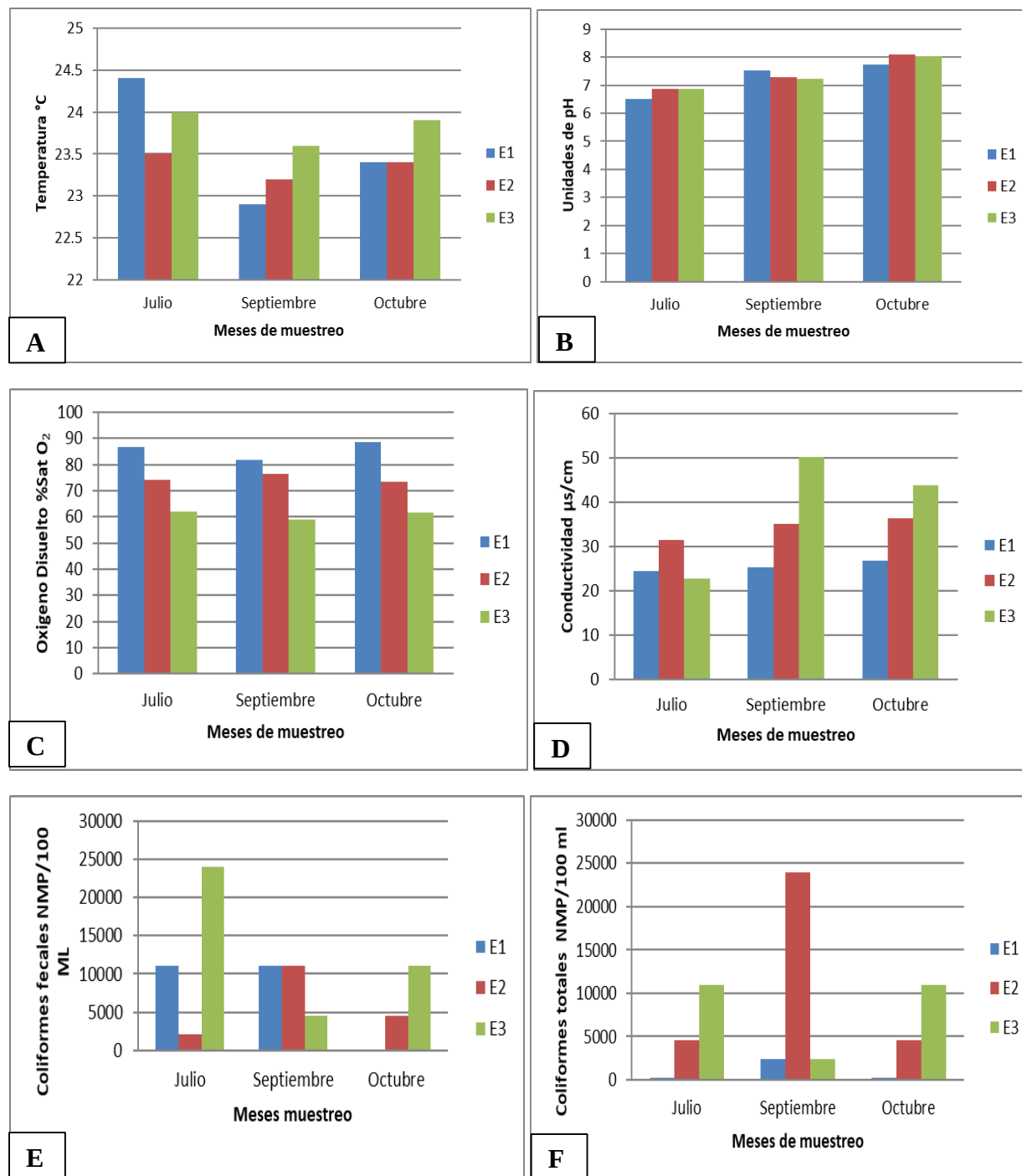


Figura 19 Variables físicas, químicas y bacteriológicas por estacion de muestreo en el caño Seco (A – F), por Quintaco D & Robayo T, 2019.

8.3 Determinación de índices

8.3.1 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Los resultados fueron calculados mediante el empleo de la herramienta para la valorización del agua ICATest v1.0, de la Universidad Del Pamplona. Este procedimiento fue desarrollado para cada una de las estaciones y diferentes periodos de muestreo.

Tabla 11.

Escala de valores para el índice ICOMO.

Escala del índice ICOMO		Grado de contaminación	
Rango		Concentración	Indicador
0-0.2		Ninguna	Muy Buena
0.2-0.4		Bajo	Buena
0.4-0.6		Medio	Media
0.6-0.8		Alto	Mala
0.8-1		Muy Alto	Pésima

Nota: Nota: * Clasificación de aguas y significado de acuerdo al puntaje índice BMWP/Col, ajustado y adoptado por "Roldan, 2003", por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

A pesar de que el índice de contaminación ICOMO nunca mostró una calidad de agua "muy buena". En el mes de octubre en la E1 arrojó un puntaje de 0.373 el cual obedece a una calidad de agua "buena" (Figura 20D); esta situación sólo se presentó en ese muestreo. La calidad de agua que predominó en la mayoría de estaciones durante todos los periodos de muestreo fue color naranja el cual obedece a una calidad de agua "mala" (Figura 20 A, B, C). En el mes de julio se registró el puntaje más alto del índice ICOMO para caño Seco en la E3, con un puntaje de 0.793 indicando una calidad "mala" (Figura 20A).

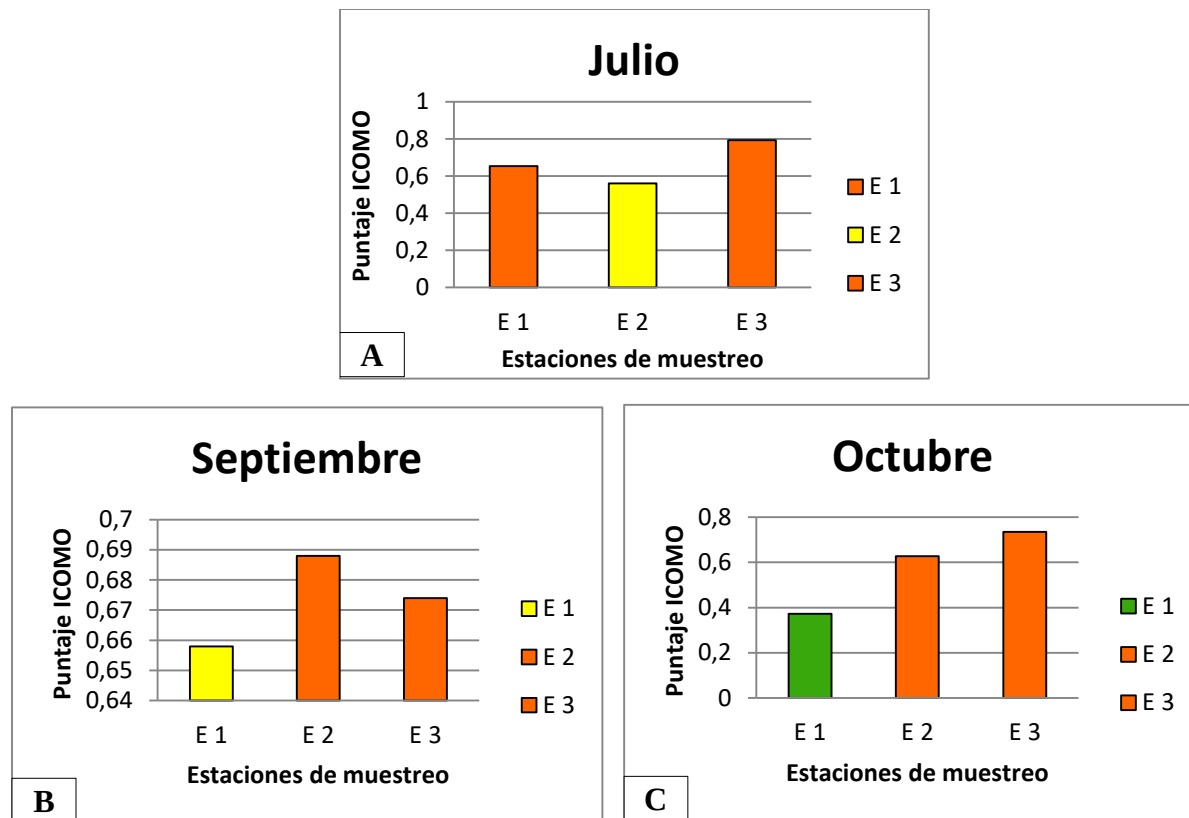


Figura 20. Puntaje del Índice ICOMO por estación y meses de muestreo del caño Seco (A-C), por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

8.3.2 Índice biológico BMWP/col

Para el desarrollo del índice biológico BMWP/col se emplearon claves taxonómicas, las cuales permitieron la identificación de las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en caño Seco.

Tabla 12
Clasificación de las aguas, según el índice BMWP/col

Grupo	Clases de calidad		Intervención	Calidad	Color
	Lim. Inferior	Lím. superior			
I	95	-	Mínima	Alta	Azul
II	76	94	Leve	Buena	Verde
III	57	75	Importante	Media	Amarillo
IV	29	56	Grave	Escasa	Anaranjado
V	-	28	Muy grave	Mala	Rojo

Nota: * Nota: * Clasificación de guas y significado de acuerdo al puntaje índice BMWP/Col, ajustado y adoptado por "Roldan, 2003", por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

Tabla 13.
Índice BMWP/col para el mes de julio.

CUERPO DE AGUA	ESTACIÓN	BMWP	INTERVENCIÓN	CALIDAD	COLOR
Caño Seco	Aguas arriba	96	Mínima	Alta	Azul
	Vertimiento	96	Mínima	Alta	Azul
	Aguas abajo	78	Leve	Buena	Verde

*Nota: * Clasificación de guas y significado de acuerdo al puntaje índice BMWP para el mes de julio, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.*

Tabla 14.

Índice BMWP/col para el mes de septiembre.

CUERPO DE AGUA	ESTACIÓN	BMWP	INTERVENCIÓN	CALIDAD	COLOR
Caño Seco	Aguas arriba	112	Mínima	Alta	Azul
	Vertimiento	58	Importante	Media	Amarillo
	Aguas abajo	79	Leve	Buena	Verde

*Nota: * Clasificación de guas y significado de acuerdo al puntaje índice BMWP para el mes de septiembre, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.*

Tabla 15.

Índice BMWP/col para el mes de octubre.

CUERPO DE AGUA	ESTACIÓN	BMWP	INTERVENCIÓN	CALIDAD	COLOR
Caño Seco	Aguas arriba	118	Mínima	Alta	Azul
	Vertimiento	75	Leve	Buena	Verde
	Aguas abajo	59	Importante	Media	Amarillo

*Nota: * Clasificación de guas y significado de acuerdo al puntaje índice BMWP para el mes de octubre, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.*

Se realizó el índice de Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia (Tabla 12) con su respectivo puntaje y sumatoria de acuerdo a las familias distribuidas en cada estación de muestreo. Para el mes de julio, en la E3, el índice arrojó un puntaje de 78, el cual corresponde a una calidad de agua “buena”, con un grado de intervención “leve” (Tabla 13). Para el mes de septiembre, en la E2 se evidencia un puntaje de 58, el cual hace referencia que en la estación se ve una intervención “importante”, para dar como resultado una calidad “media” (Tabla 14). Para el mes de octubre el índice muestra como al pasar el cuerpo hídrico por el Municipio de Restrepo la calidad del agua pasa de ser “alta” a “buena” y finaliza con una calidad de agua “media” con un puntaje de 59 (Tabla 15); en la E1 en todos los meses predomina un estado de calidad “alta” la cual se refiere a tipos de agua con intervención “mínima” (Tabla 13, 14 y 15).

8.4 Relación entre las variables físicas, químicas y bacteriológicas con la comunidad de macroinvertebrados en el Caño Seco.

En el diagrama de correspondencia canónica (CCA), se evidenciaron las siguientes relaciones: En el mes de julio las familias Velidae Hydropsychidae y Hydroptilidae, estuvieron asociados a la estación E2 con mayor oxígeno disuelto y DBO₅. Las familias Chironomidae, Baetidae y Ceratopogonidae, presentaron mayor relación con las variables pH, coliformes totales y sólidos suspendidos totales (Figura 21).

Para el mes de septiembre se encontró que en la estación E1, donde el valor de la DQO es mayor, se desarrollaron las familias Leptohyphidae, Libellulidae, Crambidae, Psephenidae. En la E2 las familias Chironomidae, Psychodidae, presentaron una relación con la variable de coliformes totales. Por otro lado, en la E3, las familias Physidae Coenagrionidae y Leptophlebiidae no presentaron una relación evidente con alguno de los parámetros fisicoquímicos evaluados (Figura 22).

En el mes de octubre, en la E1 se evidenció una relación de las familias: Calopterygidae, Psychodidae, Empididae, Coenagrionidae, Hydropsychidae, con el oxígeno disuelto y los sólidos suspendidos totales. En la E2, las familias Naididae, Lampyridae, Psychodidae Corydalidae y no tuvieron relación aparente los parámetros fisicoquímicos. Por otro lado, en la E3 las familias Leptophlebiidae y Glossosiphonidae y Hydroptilidae presentaron una asociación con las variables a la DBO₅, DQO, coliformes totales y conductividad eléctrica (Figura 22).

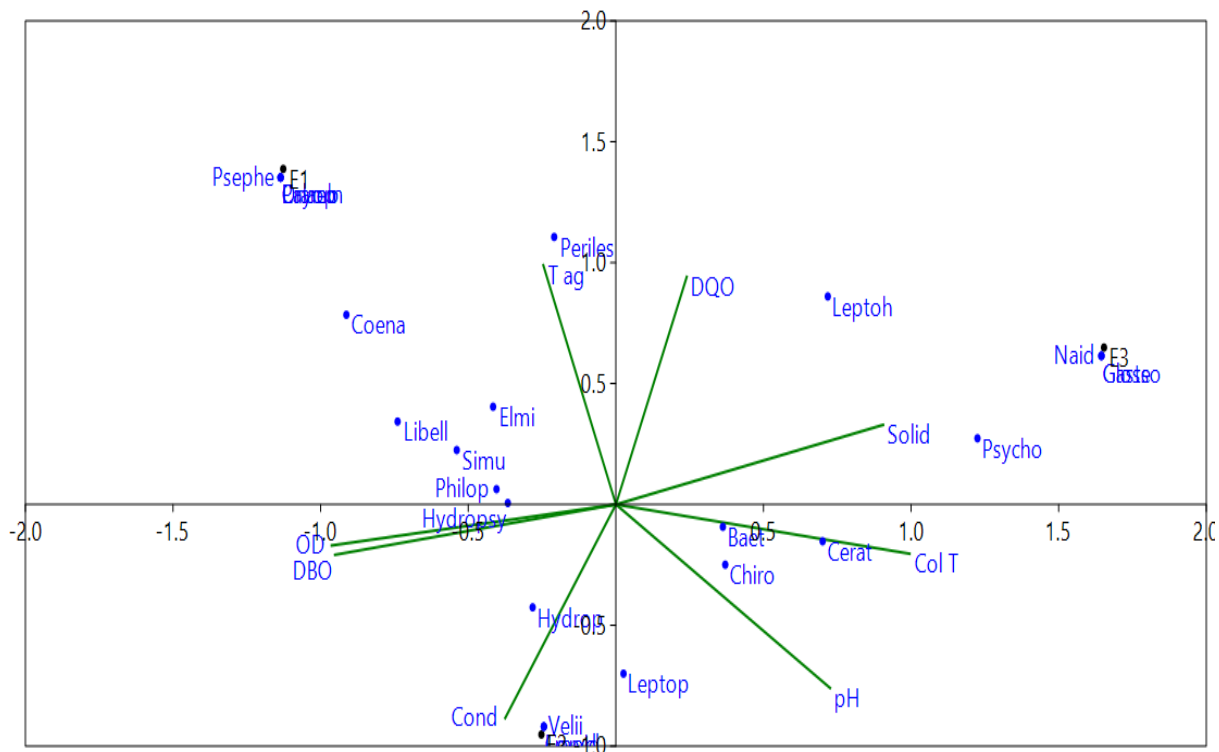


Figura 21. Diagrama de ordenación CCA de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las variables físicas, químicas y bacteriológicas en el mes de julio, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

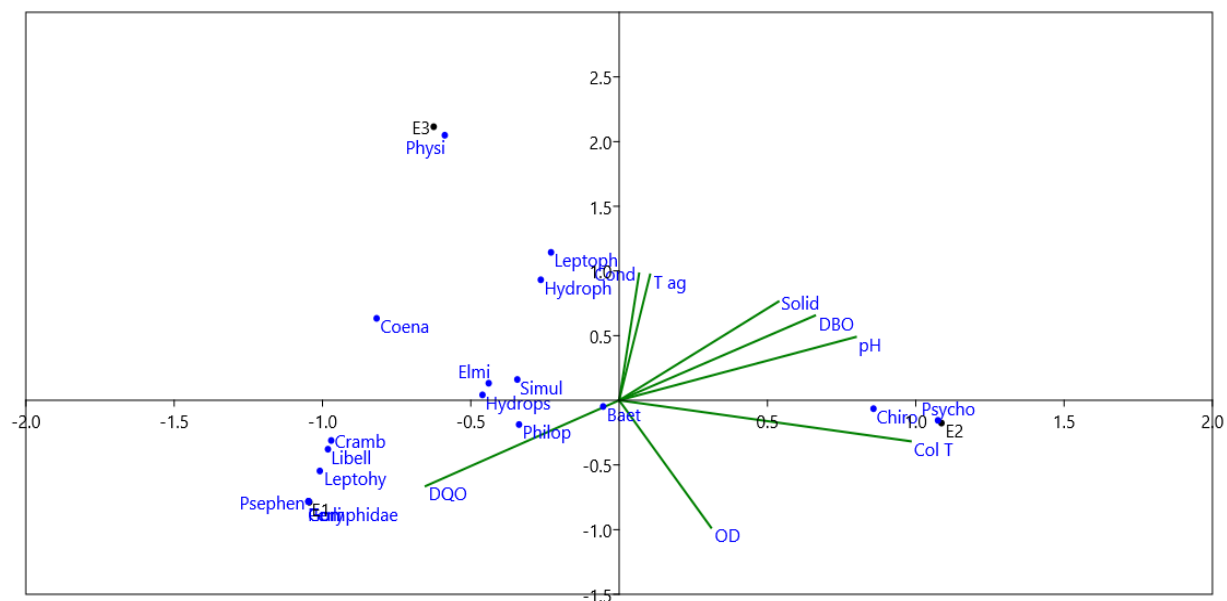


Figura 22. Diagrama de ordenación CCA de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las variables físicas, químicas y bacteriológicas en el mes de septiembre, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

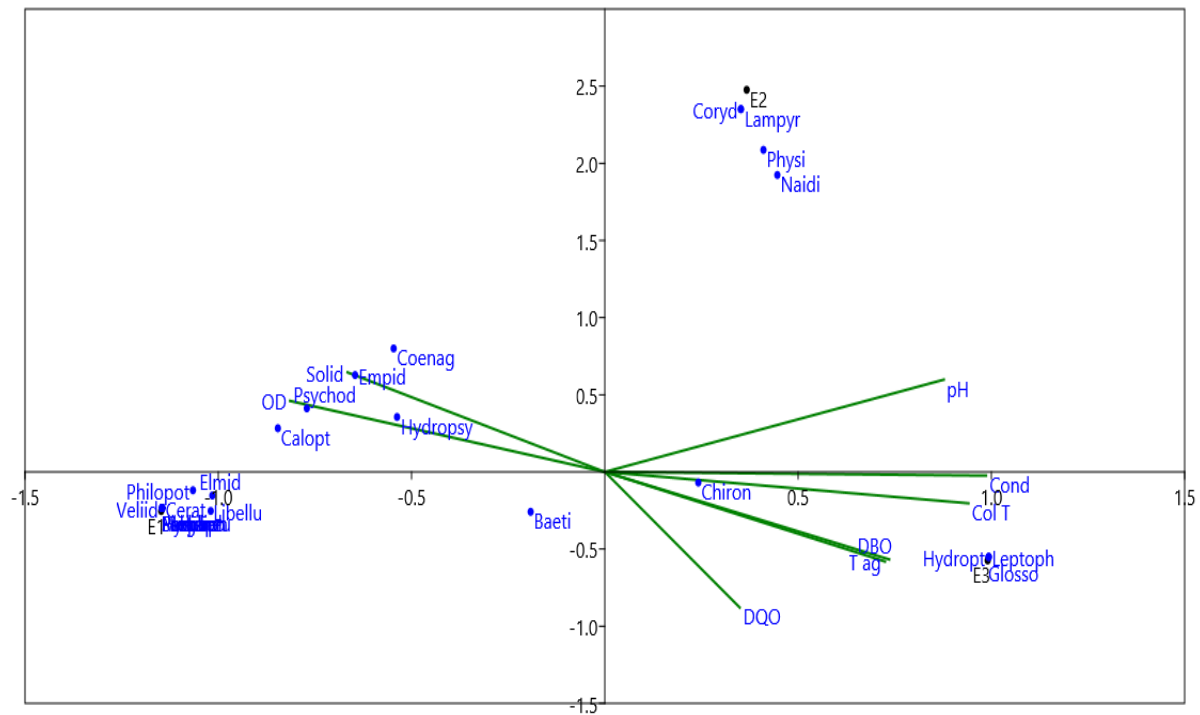


Figura 23 Diagrama de ordenación CCA de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las variables físicas, químicas y bacteriológicas en el mes de octubre, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

9 Discusión de resultados

9.1 Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

9.1.1 Nivel de orden

Los meses de julio y septiembre fueron en los que se encontró mayor abundancia de órdenes en todas las estaciones de muestreo, principalmente: efemeróptera, díptera y tricóptera.

Las ninfas del orden efemeróptera, por lo regular viven en aguas claras, bien oxigenadas, con bajo contenido de carga orgánica de desecho, además, procesan una cantidad importante de materia orgánica, ya sea triturando las partículas grandes o filtrando las pequeñas y por tal razón, se consideran indicadores de aguas de buena calidad, ya que al presentarse alguna alteración en el medio que lo rodea, su actividad es afectada. Solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida (Roldán, 1996).

El orden díptera posee un hábitat muy variado, se encuentran en ríos, arroyos, quebradas, lagos y depósitos de agua ubicándose cerca de la superficie donde se concentra el mayor oxígeno disuelto, su ciclo de vida puede durar desde algunas semanas, hasta los dos años en distintas especies; dentro de sus ejemplares se encuentran representantes tanto para aguas muy limpias como la familia Simuliidae o contaminadas como Chironomidae o Tipulidae (Roldán, 1996).

Por otra parte, las larvas del orden tricóptera se caracterizan por hacer sus propios refugios, sus casas, las cuales son de gran importancia para su identificación, estas larvas viven en todo tipo de hábitat (lóticos y lénticos), pero en los lóticos fríos es donde presentan una mayor diversidad. La mayoría de los tricópteros viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal, algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. Las larvas viven en el fondo o laderas de los ríos y están asociadas a macrófitas semisumergidas, adheridos a vegetación flotante o enraizada, enterrados en el fondo, sobre rocas y troncos sumergidos, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre su superficie (Roldán, 1996).

En general, son buenos indicadores de aguas oligotróficas, cuando se encuentran junto con efemerópteros y plecópteros, no hay duda de que se trata de ecosistemas en buenas condiciones (Roldán, 1996).

Otro de los órdenes más representativos fue odonata, principalmente en el mes de octubre, este orden se caracteriza por poner sus huevos en la vegetación flotante, viviendo en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas; por lo regular, están rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente (Roldán, 1996). Las ninfas son carnívoras, se alimentan de larvas de otros insectos, pequeños crustáceos, renacuajos y hasta pequeños peces. Poseen un labio protráctil con ganchos en su extremo, el cual impulsan hacia delante para capturar a sus presas, se camuflan adaptando su color al del ambiente donde se encuentran, viven en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas (Roldán, 1996).

9.1.2 Nivel de familia

Para el mes de julio las familias que presentaron una mayor abundancia relativa son: Baetidae, Hydropsychidae y Simuliidae.

La familia Baetidae es abundante y diversa en los ecosistemas dulceacuícolas, con preferencia por sustratos específicos y alta sensibilidad a los procesos de degradación e impacto antropogénico, aspectos que permiten postularla como una familia excelente como bioindicadora. Se encuentran en aguas con un flujo rápido de la corriente y caudales de moderados a rápidos con altas concentraciones de oxígeno disueltos y ricos en nutrientes que facilitan el establecimiento de una fauna béntica diversa, esta familia se adapta tanto a época seca como a época lluviosa mostrando ciertas adaptaciones que les permiten sobrevivir a fuertes caudales (W. Aguilar & Córdoba, 2016; Domínguez & Fernández, 2009; Forero, Gutiérrez, & Reinoso, 2016).

Por otro lado, la familia Hidropsychidae puede soportar perturbaciones ambientales moderadas y se encuentran casi siempre en zonas de corrientes moderadas a fuertes, filtrando la materia orgánica por suspensión, esta familia se caracteriza por que crea su propio refugio, los cuáles les brindan a las larvas camuflaje y protección de depredadores. Los refugios además ayudan en la respiración, ya que, a través de movimientos ondulatorios de su cuerpo, la larva puede crear un flujo de agua fresca y oxigenada, encima de su cuerpo, esta familia se adapta tanto a época seca como a época lluviosa, mostrando ciertas adaptaciones que les permiten sobrevivir a fuertes caudales (W. Aguilar & Córdoba, 2017; Domínguez & Fernández, 2009).

La familia Chironomidae presentó una importancia relevancia en términos de su abundancia, en el mes de septiembre en las estaciones de muestreo. Las larvas y pupas de este grupo se pueden hallar sobre cualquier tipo de sustrato, blando (fangoso), semiblando (limo arcilloso, arenoso), duro (grava, canto rodado, rocas), sobre vegetación sumergida y sobre otros organismos tales como: esponjas, briozoos, ninfas de efemerópteros y menos comúnmente sobre moluscos y peces, por lo general prefieren, lugares remansados y protegidos de las fuertes corrientes, siendo tolerantes a altos niveles de contaminación, esta familia se adapta tanto a época seca como a época lluviosa mostrando ciertas adaptaciones que les permiten sobrevivir a fuertes caudales (W. Aguilar & Cordoba, 2017).

La alta representatividad de las familias Chironomidae e Hydropsychidae se debe posiblemente a que están ampliamente distribuidas en todo tipo de corrientes de agua (McCafferty, 1981; Merrit, Cummins, & Berg Martin, 2008). La familia Chironomidae tolera altos niveles de contaminación y por el contrario la Hydropsychidae tolera bajos niveles de contaminación. Se sabe que ésta es una de las familias más diversas del orden tricoptera en Colombia (Roldán, 1996).

La familia Philopotamidae, típica en ríos y quebradas con corrientes frías, donde se encuentran tanto en piedras como en acumulaciones de hojarasca y se alimentan de materia orgánica fina (Domínguez & Fernández, 2009).

En todos los periodos de muestreo, la familia Corydalidae del orden Megaloptera presentó una abundancia relativa baja. Los adultos de Corydalidae, en especial los de la subfamilia Corydalinae, pueden encontrarse a lo largo de ríos y arroyos, tanto en zonas bajas como de montaña, en zonas áridas y selváticas. Algunas especies parecen tener preferencia por sitios de baja elevación, otras parecen restringirse a zonas de montaña. Algunas se encuentran con más frecuencia en arroyos claros y bien oxigenados, de aguas calcáreas y relativamente frías, otras en grandes ríos con cierta turbidez y presumiblemente con menor concentración de oxígeno disuelto (Domínguez & Fernández, 2009).

9.2 Variables físicas químicas y bacteriológicas

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, fue disminuyendo en las estaciones dos y tres, las cuales se encuentran ubicadas a mitad y al final del casco urbano. Esto podría estar relacionado por los aportes de materia orgánica recibidos de forma directa y difusa al río, a lo largo de su paso

por el casco urbano de Restrepo, dado que a medida que aumenta la carga de materia orgánica, mayor son los procesos de mineralización y descomposición en el agua, lo que repercute directamente en una pérdida de oxígeno disuelto. Adicionalmente, la carga microbiana elevada que producen estas zonas contaminadas, demanda un consumo mucho mayor de este elemento en el ambiente acuático, lo cual fue evidenciado en los resultados de éste parámetro y el de los coliformes totales, esto se refleja en el deterioro del hábitat y dificultades para el establecimiento de la fauna acuática (Jiménez & Vélez, 2006).

Los coliformes totales son un importante grupo de bacterias indicadoras de contaminación del agua (Ramos, Vidal, Vilardy, & Saavedra, 2008). Los valores reportados de coliformes totales fueron altos en las estaciones ubicadas en el casco urbano con valores que van desde 4600 hasta 39000 NMP/100ml, cuando lo máximo permitido según la normatividad ambiental colombiana en el decreto 3930 de 2010 en los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso de consumo humano y doméstico es de 1000 NMP/100ml, lo cual representa un evidente factor de riesgo para la salud de las personas que están relacionadas con el uso del recurso hídrico en estos sectores. Los valores elevados registrados en la zona urbana están estrechamente relacionados a la descarga de aguas residuales domésticas de los barrios (Secretaría de planeación, 2006; Villegas, 2011) condición que al parecer influyó de manera indirecta en el comportamiento de los valores obtenidos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO).

Los valores de los sólidos suspendidos totales fueron aumentando progresivamente en cada una de las estaciones de muestreo, lo que podría estar relacionado con la descarga de aguas residuales por parte de los barrios que afectan directamente al caño y sus tributarios, la estación en la que se registró la más alta concentración de sólidos suspendidos totales fue la estación E3 (Tabla 10) y esto se podría deber a que aguas arriba de esta estación se encuentra el vertimiento de la planta de sacrificio y beneficio municipal, el cual contribuye en el aumento de esta variable.

De igual manera, los valores de conductividad eléctrica exhibieron la misma tendencia, pues guarda una estrecha relación con los sólidos suspendidos totales, la conductividad y los SST están relacionados con la naturaleza geoquímica de su terreno y su concentración varía principalmente en las épocas de lluvia y de sequía, y con su estado trófico (Roldán & Ramírez, 2008).

Los valores de pH exhibieron un valor promedio de pH neutro (pH 7.2) para todas las estaciones, asociado a los vertimientos domésticos, que en estudios de caracterización de parámetros fisicoquímicos presentan valores de pH entre 6.43 y 7.07 (Bruce & Carreño, 2014), por lo que se le atribuye esta disminución de pH a los vertimientos de aguas residuales domésticas, evidenciadas después de la estación 1 (Drago, 1984; Roldán & Ramírez, 2008).

Para los resultados de la DBO₅ en todas las estaciones fue muy baja y por el contrario, los valores de DQO son altos, y esto se puede deber a un alto grado de nitrificación, ya que en cuerpos de agua con altas poblaciones de bacterias nitrificantes ocurre una demanda adicional de oxígeno, por la oxidación de cualquier compuesto de nitrógeno no oxidado previamente (Roldán & Ramírez, 2008), además, al contar el río con una DBO₅ baja, se puede deber a que la mayoría de los compuestos contaminantes presentes en estas aguas son de origen natural, y por ende se presenta una degradación favorable.

9.3 Índices

9.3.1 Índice de contaminación por materia orgánica

En los resultados encontrados, la única estación con una categoría de calidad acuática “óptima” fue la E1 (Figura 19D), específicamente para el mes de octubre, lo cual está asociado a que esta estación está ubicada en una zona menos colonizada, y pudo verse favorecidas por las lluvias en la época de muestreo.

En el mes de julio, la estación E1 y E3 presentaron una calidad de agua “mala”, esto podría estar relacionado en la estación E1 a la presencia de escorrentía de aguas contaminadas provenientes de las fincas y galpones aledaños de la zona de estudio (Secretaría de planeación, 2006).

Para el mes septiembre el índice mostró que en la estación E1 presentó una calidad de agua “media”, y los valores para la estación E2 aumenta drásticamente, lo cual representa un alto grado de contaminación, asociado a una fuerte carga de materia orgánica vertida en el cuerpo de agua, a su paso por el casco urbano del municipio de Restrepo (Secretaría de planeación, 2006). En la estación E3 en todos los meses, se evidencio un valor alto del índice ICOMO, esto puede estar asociado a que en este punto se presentan vertimientos acumulados de aguas residuales de la

urbanización y la planta de sacrificio y beneficio municipal, entre otros, que podrían afectar la estructura y función del ecosistema.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, es notable el evidente grado de contaminación por materia orgánica en el caño Seco, principalmente en las estaciones ubicadas en el casco urbano, pues los elevados valores determinados por este índice ICOMO y BMWP/Col generan preocupación por la “salud ecológica” del caño, que afectan su estructura y función, lo que repercutirá en la disminución de la diversidad de la biota acuática.

9.3.2 Índice biológico BMWP/Col

En el mes de julio, el índice BMWP/Col arrojó un puntaje de 96 para la estación E1 y E2, con un grado de intervención “mínima”, con una calidad de agua “alta” obedeciendo al grupo I, con presencia de familias como Leptophlebiidae, Philopotamidae, Simuliidae, entre otras. Sin embargo, para la estación E3 el puntaje de BMWP disminuyó a 78, mostrando una calidad de agua “buena” con una intervención “leve”, donde se presentaron macroinvertebrados propios de ecosistemas menos contaminados con presencia de familias con rangos de tolerancia restringidos como lo son Ceratopogonidae y Chironomidae que son indicadoras de calidad de aguas contaminadas.

En el mes de septiembre, la estación E1 mostro una calidad de agua “alta”, obedeciendo a un puntaje de 112, con un grado “mínima”, para la estación E2, el puntaje del índice disminuyó drásticamente, obteniéndose un puntaje de 58, dado que hay cambios estructurales en la composición de los macroinvertebrados, disminuyendo la diversidad de familias reportadas en este sector, encontrándose aquellas especies con rangos de tolerancia muy amplios y resistentes a estrés hídrico. El uso de este índice permitió establecer la calidad del agua en cuánto presencia y distribución de las familias de macroinvertebrados ya que relaciona la ocurrencia de especies sensibles.

Finalmente, para el mes de octubre, el comportamiento de los valores del índice por estación de muestreo fue disminuyendo progresivamente aguas abajo del caño Seco, evidenciando que la calidad del agua medida de que pasa por el casco urbano del municipio disminuye. Por los que la estación E1 presentó un valor de 118 siendo este el valor más “alto” de calidad acuática obtenido en todos los meses de muestreo, con una intervención “mínima”, mientras que en la estación E2 el puntaje del índice disminuye a 75, y en la estación E3 a 59, lo cual lo sitúa en un

rango de calidad acuática desde “buena” a “moderadamente contaminada” con un grado de intervención importante.

9.4 Relación entre las variables físicas químicas y bacteriológicas con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

Las comunidades biológicas propias de los sistemas acuáticos, suelen estar determinadas por diferentes factores, tales como la ecología, la hidroformología, la disponibilidad del sustrato, la penetración de la luz, entre otras, y adicionalmente son susceptibles a las modificaciones del estado de la calidad del agua ocasionado por la acción del hombre (Torralba & Alfonso, 2010).

Partiendo de lo anterior, se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA), para establecer las posibles relaciones entre los macroinvertebrados acuáticos y los principales factores fisicoquímicos en el agua en el caño Seco.

En el mes de julio, las variables que presentaron una mayor relación con los individuos reportados en la comunidad fueron: sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales, demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), relacionados positivamente con los individuos de las familias Baetidae, Ceratopogonidae, Naididae, Physidae, Veliidae y Chironomidae; lo cual evidencia un grado de tolerancia apreciable de estas familias con estas variables. En la estación E1 para este mes, se presentaron las familias Elmidae, Simuliidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Naididae, Perilestidae, Psephenidae y no se evidencia la relación con ningún parámetro fisicoquímico, para la estación 2, el parámetro con el que las familias presentaron una relación fue la conductividad eléctrica, el cual se relacionó con las familias Vellidae y Hydroptilidae, en la estación 3, los parámetros de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos se relacionaron con las familias Naididae, Physidae, Leptohiphidae y Psychodidae, presentándose en esta estación una agua de calidad mala según el índice ICOMO.

Para el mes de septiembre las familias Crambidae, Leptohiphidae, Libellulidae, Gomphidae y Psephenidae, son provenientes de corrientes de aguas rápidas y en la E1 se registró un grado de contaminación “media” según el ICOMO, el diagrama de ordenamiento, estuvo asociado a la oxidación de la materia orgánica DQO, lo anterior, permite inferir que son familias tolerantes a la contaminación. En la E2 las familias Chironomidae y Psychodidae están asociados

a la presencia de los altos niveles de coliformes totales, esto puede deberse a que el mes de septiembre está contemplado en temporada de lluvia; el efecto de la lluvia ejerce un lavado en los campos externos hacía el caño, haciendo que todos los contaminantes vayan directo hacía este cuerpo de agua y con esto se presente el aumento de las concentraciones de coliformes fecales y la proliferación de otros agentes bacterianos, así como la entrada de otros iones con origen en el uso de pesticidas y nutrientes orgánicos e inorgánicos(J. Aguilar, Prieto, Román, MonksWilliam, & Pulido, 2007), por otra parte el resultado el índice ICOMO para esta estación indica que es de calidad “mala”. Para la E3 se presentaron las familias Physidae, Coenagrionidae, Hydrophilidae pero no se evidencia una relación con algún parámetro fisicoquímico.

Finalizando para el mes de septiembre la familia Baetidae se encuentra en micro hábitats rápido con preferencia de sustratos específicos, aguas de calidad óptima y asociados a condiciones altas de oxígeno, aportando nutrientes que facilitan el establecimiento de una fauna en condiciones bajas de la temperatura(Rico, Rodríguez, López, & Sedeño, 2014), lo anterior permitiría suponer que esta familia son sensible a las condiciones de contaminación

En el mes de octubre, en la estación E1 y E2 algunas de las familias no reflejaron asociaciones aparentes con el comportamiento de las variables físicas, químicas o bacteriológicas como lo fueron Elmidae, Veliidae, Philopotamidae, Corydalidae, Naididae, Lampridae y Physidae. Cabe resaltar que el agua en la E1 según el ICOMO es de calidad “buena”, lo que se relaciona con el índice BMWP/Col que indica que aguas arriba en esta estación tiene una intervención “mínima”. Por otro lado en la E3, las familias Glossosiphonidae, Hydroptilidae y Leptophlebiidae se asocian a las variables DBO₅ y la temperatura del agua, mostraron así una relación directamente proporcional, es decir, la DBO₅ incrementa al aumentar la temperatura, los procesos de degradación de la materia orgánica se aceleran con las altas temperaturas(Suárez, Valdés, & Romero, 2006), para esta estación según el puntaje del ICOMO arrojó una calidad de agua “mala”.

En todos los meses de muestreo el parámetro microbiológico (Coliformes totales) mostró relación con las familias Ceratopogonidae, Baetidae, Chironomidae y Psychodidae siendo una relación importante ya que estas familias son tolerantes a esas condiciones de contaminación, debido a que degradan los procesos de óxido/reducción de la materia orgánica(Madera, Angulo, Díaz, & Rojano, 2016).

9.5 Acercamiento social

Se realizó un acercamiento a la secretaria de medio ambiente municipal de Restrepo, buscando información sobre las estrategias y programas realizados al caño Seco, la información que fue brindada es escasa por parte del ente, dentro de las pocas actividades efectuadas a la mejora o conocimiento del estado actual del cauce se encuentran una actividad realizada por parte del SENA, la cual consistió en la limpieza de la ronda hídrica del caño. Por parte de la alcaldía se lleva a cabo un monitoreo semestral y esta información es entregada a la corporación autónoma regional.

Como resultado de este acercamiento, se llevará a cabo una socialización de la investigación a la comunidad beneficiaria del proyecto, contando con el apoyo de la administración municipal, la cual solicitará el apoyo de la policía ambiental y demás entes gubernamentales y no gubernamentales competentes, para finalmente poder generar estrategias y alternativas para la mitigación del impacto entre alcaldía y la comunidad (Anexo 10).

10 Conclusiones

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en el caño Seco, está compuesta principalmente por el phylum Arthropoda, seguido del phylum Annelida, los cuales registraron una mayor abundancia durante los periodos de muestreo, la clase que mayor abundancia presentó fue la Insecta (phylum: Arthropoda), seguida de la Oligochaeta (phylum: Annelida). A nivel de orden, el orden Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera fueron los más representativos, todos pertenecientes a la clase Insecta. Dentro de las familias con mayor abundancia se encuentran la familia Chironomidae con la abundancia relativa más alta, seguida de las familias Baetidae, Hydropsychidae y Philopotamidae, todas pertenecientes a la clase Insecta; dentro de las familias con una abundancia menor se encuentran las familias Protoneuridae, Megapodagrionidae, Lampyridae, Dryopidae y Veliidae.

Dentro de los aspectos físico, químicos y bacteriológicos medidos en el caño Seco, los parámetros de coliformes totales y fecales son los que muestran la alta incidencia de contaminación por materia orgánica presente en el río, como se evidencia en los resultados del índice ICOMO; dentro de los parámetros físicos, los sólidos suspendidos totales mostraron un aumento a medida del paso de las aguas por la cabecera municipal, mostrando una relación con el aumento de aguas residuales por parte de los barrios que afectan directamente al caño.

El índice ICOMO presentó una tendencia de aumento entre las estaciones de muestreo, evidenciando una contaminación por materia orgánica a medida que los vertimientos llegan directamente al cauce de estudio. Caño Seco presenta actualmente un índice de contaminación por materia orgánica ICOMO promedio en la estación E1 de 0.5, en la estación E2 de 0.6 y la estación E3 de 0.7, mostrando un grado de afectación “medio” y “alto”, concluyendo que los resultados obtenidos, señalan un deterioro en la calidad de las aguas de la microcuenca, relacionado con la materia orgánica aportada por los vertimientos domésticos directos, toda vez que la carga microbiana aumenta a medida que los vertimientos se concentran.

De acuerdo con los resultados obtenidos del cálculo del índice BMWP/Col, podría decirse que en el cuerpo de agua del caño Seco se presentan en su mayoría aguas “ligeramente” y “moderadamente contaminadas” de calidad “aceptable” y “dudosa” donde la comunidad de macroinvertebrados encuentra ciertas limitaciones de tipo hidráulico, fisicoquímicas y

microbiológicas; para los meses de septiembre y octubre, en el cuerpo de agua se puede decir que se distinguieron 3 tipos de agua donde las condiciones con altos valores de descarga y abundante materia orgánica pueden estar limitando el establecimiento de algunos organismos con requerimientos más altos.

Las variables que presentaron mayor relación con las familias de macroinvertebrados acuáticos más abundantes fueron: la temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y coliformes totales, siendo las familias Chiromomidae, Baetidae, Ceratopogonidae e Hydropsychidae las que presentaron una relación positiva con estas variables, por lo cual se evidencia una clara afinidad entre el número de individuos presentes por estación y las condiciones fisicoquímicas del medio.

La diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es afectada por el impacto antropogénico, principalmente por el efecto de vertimientos de aguas residuales a causa de los asentamientos urbanos a lo largo del caño Seño, evidenciado en la tercera estación ubicada en el casco urbano de Restrepo, pues no se registró una gran abundancia de especímenes. Esto sugiere que la carga residual vertida a este río, no solo representa un problema de salud pública, sino que a nivel ecológico limita la disponibilidad y diversidad de hábitats para el establecimiento de la fauna acuática, confirmando así la hipótesis formulada.

La mayoría de los problemas de contaminación del agua se generan como consecuencia del desarrollo de actividades humanas, por ello, es importante que se comiencen a generar metodologías y estrategias desde el campo de la gestión ambiental, para minimizar este impacto al recurso hídrico, ya que es de especial importancia para el desarrollo de la sociedad y la naturaleza.

La propuesta seleccionada de acuerdo con los resultados obtenidos es la socialización del proyecto buscando la sensibilización y generación de alternativas, teniendo en cuenta que la población del área de estudio no ha recibido capacitaciones, ni información en cuanto al estado de la cuenca, además, de no contar con conocimientos para actuar frente a este escenario, por ende, la propuesta tiene como objetivo promover la aplicación de alternativas de mejora, las cuales serán dirigidas a la comunidad y al ente territorial buscando un trabajo integral, es de resaltar que para el óptimo desarrollo de la misma es necesaria la activa participación de la comunidad y la colaboración de entidades.

Recomendaciones

Es importante señalar que los resultados del presente estudio corresponden a los datos obtenidos en un solo periodo hidrológico (altas precipitaciones). Por lo tanto, se genera gran motivación acerca de las conclusiones que se puedan realizar al monitorear la comunidad de macroinvertebrados acuáticos durante todo un ciclo hidrológico, desde el punto de vista ecológico de la calidad del agua y taxonómico, pues hay una alta probabilidad de aumentar el registro de géneros o especies para esta región.

Actualmente no existen estrategias para el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en el caño Seco, incumpliendo con uno de los objetivos de las diferentes normativas ambientales vigentes para la gestión integral del recurso hídrico, ya que no se presentan evaluaciones del estado del afluente desde el año 2011, mostrando deficiencias en la gestión realizada por parte de las instituciones ambientales.

En cuanto a la comunidad, se recomienda mejorar los canales de comunicación entre las instituciones gubernamentales y no gubernamentales encargadas a la atención y gestión del recurso, y así reducir los niveles de contaminación, ya que la población aledaña está expuesta a malos olores.

Se sugiere realizar estudios posteriores, ampliando la zona de estudio a todo el cauce de la microcuenca del Caño Seco, desde su nacimiento a la desembocadura en el río Upín, aumentando las estaciones de muestreo, con el fin de identificar las zonas de mayor aporte de contaminantes orgánicos sobre la fuente hídrica y una evaluación sistemática de carácter anual, que permita identificar temporalmente los cambios de la calidad del recurso hídrico y el cambio sobre la comunidad de macroinvertebrados. Y finalmente, una caracterización fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos domésticos sobre el cuerpo de agua, con el fin de poder hacer un control lícito de los mismos.

Referencias bibliográficas

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35–64. Retrieved from [http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica 28\(1\) 04 Acosta.pdf](http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028(1)%2004%20Acosta.pdf)
- Aguilar, J., Prieto, F., Román, A., MonksWilliam, & Pulido, G. (2007). Niveles de pesticidas organoclorados en *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) del lago de Tecocomulco, Hidalgo, México. *Consejo de Ciencia y Tecnología, Estado de Hidalgo, Mexico.*, (December 2014), 1–20. <https://doi.org/10.13140/2.1.3397.7927>.
- Aguilar, W., & Córdoba, E. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua en dos complejos cenagosos en los corregimientos de pune y sanceno*. Retrieved from http://compromiso.sena.edu.co/no_conformidades/pnc_evidencias/1493126784_Anexo_1_Articulo_Macroinvertebrados_acuaticos.pdf
- Álvarez, L., & Roldán, G. (1983). Estudio del Orden Hemíptera (Heteróptera) en el Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. Retrieved from Actualidades Biológicas website: <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/actbio/article/view/330315>
- Arango, M., Álvarez, L. F., Alexandra Arango, G., Elí Torres, O., De, A., & Monsalve, J. (2008). Calidad Del Agua De Las Quebradas La Cristalina Y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista Eia*, 9, 121–141. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n9/n9a10.pdf>
- Arango, M., & Roldán, G. (1983). Odonatos inmaduros del departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, Vol. 12, pp. 91–105. Retrieved from http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/pub_1983.html
- Barrios, L., Gaviria, L., Agudelo, E., & Cardona, S. (2016). Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del Valle de Aburrá. *EIA*, 1748–1752. <https://doi.org/10.1109/PEDS.2007.4487945>
- Brousett, M. (2018). *Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para Consumo*

- Humano Puno - Perú. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2018000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bruce, A. M., & Carreño, M. (2014). *Diagnostico actual del manejo de vertimientos domésticos generados en la sede Usme de la universidad Antonio Nariño, a partir de la verificación de métodos normalizados para el análisis de la calidad de agua en el laboratorio de ingeniería de la universid.* Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2648/Bruceana2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chará, A., Chará, J., Zúiga, M., Pedraza, G., & Giraldo, L. (2010). Trophic classification of aquatic insects in eight sheltered streams of the Colombian coffee ecoregion. *Clasificación Trófica de Insectos Acuáticos En Ocho Quebradas Protegidas de La Ecorregión Cafetera Colombiana*, 15(1), 27–36. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77955872865&partnerID=40&md5=a090e1fbdd994129eaff079bfc8d83a5>
- Corpoboyacá. (2005). *Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca del Río Garagoa.*
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática biología.*
- Drago, E. (1984). *Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del Río Parana.*
- Fernández, N., Ramos, G., & Solano, F. (2004). Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 1(September 2013), 1–36. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(2), 275–285.
- Forero, A., Gutiérrez, C., & Reinoso, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiologica*, 26(3), 459–474.
- Gómez, A., Naranjo, D., Martínez, A., & Gallego, D. (2007). Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota – Antioquia, Colombia) Ana. *Revista*

- Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3735–3749.
- Hahn-vonHessberg, C., Toro, D., Grajales, A., Duque, G., & Serna, L. (2009). Determinación De La Calidad Del Agua Mediante Indicadores Biológicos Y Fisicoquímicos, En La Estación Piscícola, Universidad De Caldas, Municipio De Palestina, Colombia. *Boltín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Nacional*, 13 (2)(2), 89–105. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v13n2/v13n2a06.pdf>
- Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1), 1–9. Retrieved from http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Jiménez, M., & Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Revista de La Universidad Nacional: Avances En Recursos Hidráulicos*, 14, 53–70.
- Lievano, A. (2007). *Guia ilustrada de los macroinvertebrados acuaticos del Rio Bahamon* (Universidad El Bosque, Ed.).
- Madera, L., Angulo, L., Díaz, L., & Rojano, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Informacion Tecnologica*, 27(4), 103–110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>
- Maroñas, M., Marzoratti, G., Vilches, A., Legarralde, T., & Darrigran, G. (2010). Guía para el estudio de macroinvertebrados II. Introducción a la metodología de muestreo y análisis de datos. *Revista ProBiota*, 12(10), 1–34.
- Martínez, B., & Gil, M. (2014). El río: un tema cotidiano para el aula de ciencias. *Revista Enseñanza de Las Ciencias*, 22(3), 257–266.
- McCafferty, W. P. (1981). *Aquatic Entomology: The Fishermen's and Ecologists' Illustrated Guide to Insects and Their Relatives*. EE.UU: Science Books International.
- Merrit, R., Cummins, K., & Berg Martin. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. *Revue Belge de Philologie et d'histoire*, 2(capítulo 1), 759–760. <https://doi.org/10.1139/f79-037>
- Moreno, F., Caro, C. lara, Pinilla, G., & Osorio, D. (2017). Current knowledge status on periphyton algae and benthic macroinvertebrates of the meta region, Colombia [Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el

- departamento del meta, Colombia]. *Acta Biologica Colombiana*, 22(3), 274–306.
<https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.60619>
- Niño, M. (2018). *Desarrollo de un índice multimétrico para evaluar la calidad ecológica del agua, diseñado y propuesto para el Río Guayuriba, Meta, Colombia*.
<https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2005). *Contaminación ambiental: una vision desde la química*. Retrieved from
<https://es.scribd.com/document/351810505/Contaminacion-Ambiental-Una-Vision-Desde-La-Quimica>
- Patiño, G. (2015). Evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Vieja. *Safety Science*, 33(3), 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.023>
- Ramírez, A., & Gutiérrez, P. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: Avances recientes y direcciones futuras. *Revista de Biología Tropical*, 62(April), 9–20.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *Revista CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153.
- Ramos, L., Vidal, L., Vilarly, S., & Saavedra, L. (2008). Analysis Of The Microbiological Contamination (Total And Fecales Coliforms) In The Bay Of Santa Marta, Colombian Caribbean. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 85–96.
- Rico, A., Rodríguez, A., López, E., & Sedeño, J. (2014). Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México). *Revista de Biología Tropical*, 62(April), 81–96.
- Rojas, J. (2016). *Diversidad de ephemeroptera en relación a las condiciones físico y químicas de río ocoa en un periodo de bajas precipitaciones (Villavicencio, Meta)*.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Retrieved from http://cia.corantioquia.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=531&query_desc=an%3A260
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Medellín: Universidad de Antioquia.

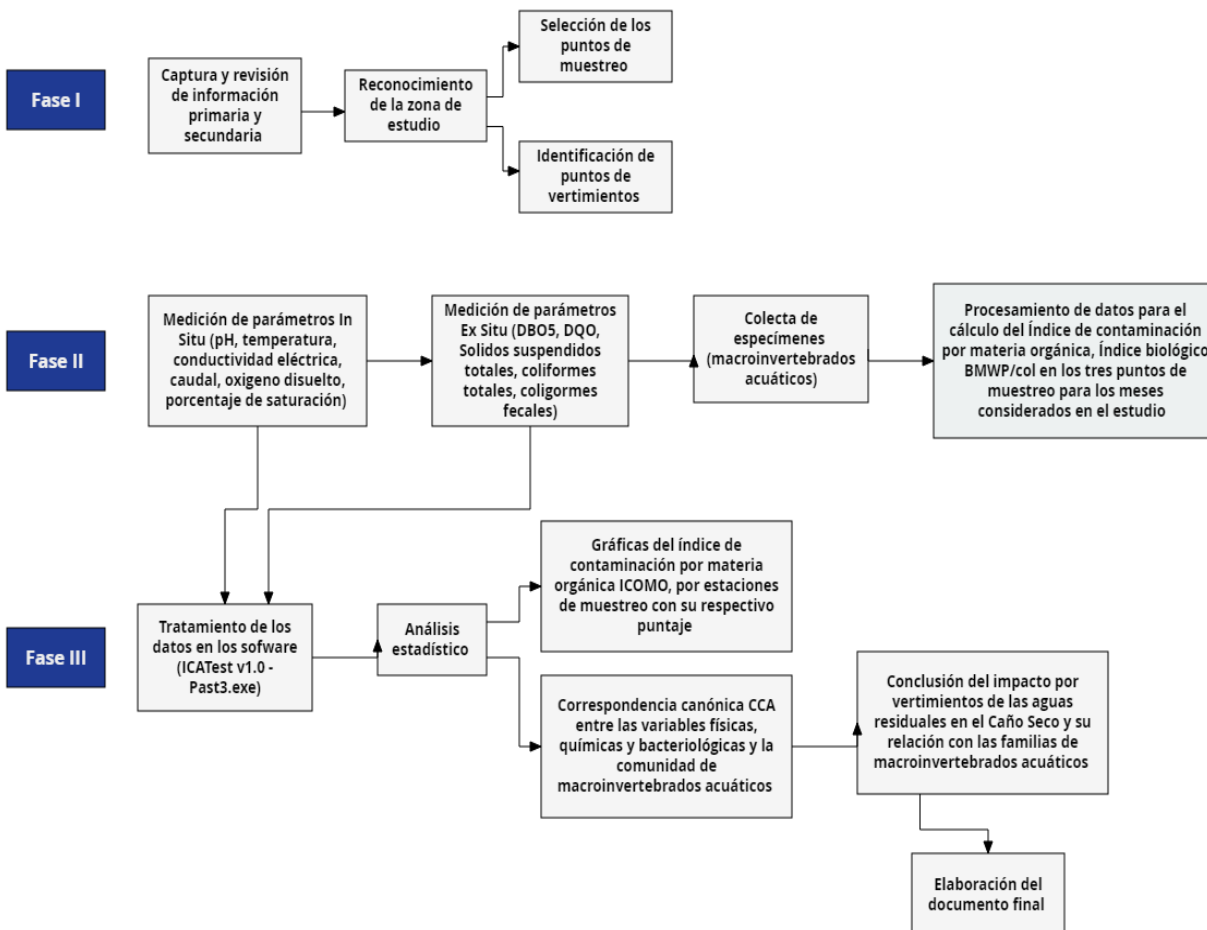
- Roldán, G. (2009). Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades Biológicas*, 31(91), 227–237.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254–274.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Salazar, D. (2015). Estudio del impacto ambiental generado por vertimientos provenientes de un establecimiento penitenciario de orden nacional al recurso hídrico. “estudio de caso” environmental. *Universidad Militar de Colombia*. Retrieved from https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6463/ARTICULO_especializacion_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators*. 27(3), 172–181.
- Secretaría de planeación. (2006). *Esquema de ordenamiento territorial*.
- Secretaría de planeación. (2018). *Plan básico de ordenamiento territorial del Municipio de Restrepo*.
- Sermeno-Chicas, J., Serrano, L., Springer, M., Paniagua, M., Pérez, D., Rivas, A., ... Bonilla, B. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familia de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). *Formulación de Una Guía Metodológica Estandarizada Para Determinar La Calidad Ambiental de Las Aguas de Los Ríos de El Salvador, Utilizando Insectos Acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)- Organización de Los Estados Americanos (OEA)*, 39. Retrieved from http://ri.ues.edu.sv/2995/1/A_Metodologia_determinar_calidad_agua_con_insectos_acuaticos.pdf
- Suárez, G., Valdés, R., & Romero, T. (2006). Efecto de la temperatura y el periodo de oxidación sobre la demanda bioquímica de oxígeno de aguas residuales pesqueras. *Centro de Investigaciones Pesqueras*, 1–7.
- Tercedor, J., Pardo, I., Prat, N., & Pujante, A. (2005). Metodología para el establecimiento del

- estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. *Revista Magrama*, 235. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf
- Toro, J., Schuster, J., & Kurosawa, J. (2003). Lóticos Utilizando Diatomeas Y Macroinvertebrados Bentónicos Como Bioindicadores Río Maipo (Santiago : Chile) Bentónicos Como Bioindicadores Río Maipo (Santiago : Chile). *Sociedad Chilena De Ingeniería Hidráulica XVI Congreso Chileno De Ingeniería Hidráulica*, 1–11. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd20/riomaipo.pdf>
- Torrallba, A., & Alfonso, M. (2010). Biodiversidad de odonatos de la sierra de Fonfría y cuenca del Jiloca (Teruel): faunística. *Revista Xiloca*, 38, 111–147. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10651/19982>
- Torres, D. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea, Socorro - Santander. *Investigación y Tecnología*, 54–66. Retrieved from <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista7/articulos/Diagnostico-de-la-calidad-del-agua-de-la-microcuenca-Sancotea.pdf>
- Tundisi, J. G., & Matsumura, T. (2008). Biodiversity in the Neotropics: ecological, economic and social values. *Brazilian Journal of Biology = Revista Brasileira de Biologia*, 68(4 Suppl), 913–915. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19197465>
- Valverde, N., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2012). Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Revista: Producción Más Limpia, Corporación Universitaria Lasallista.*, 4(1), 44–60.
- Villegas, N. (2011). Estudios Hidrológicos Ambientales. In *Cormacarena*. Retrieved from <http://www.cormacarena.gov.co/>
- Walteros, J., Castaño, J., & Marulanda, J. (2016). Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Revista Hidrobiológica*, 26(3), 359–371. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/316148298_Ensamble_de_macroinvertebrados_acuaticos_y_estado_ecologico_de_la_microcuenca_Dali-Otun_Departamento_de_Risaralda_Colombia_Aquatic_macroinvertebrate_assemblages_and_ecological_state_of_Dali_sub-basin_

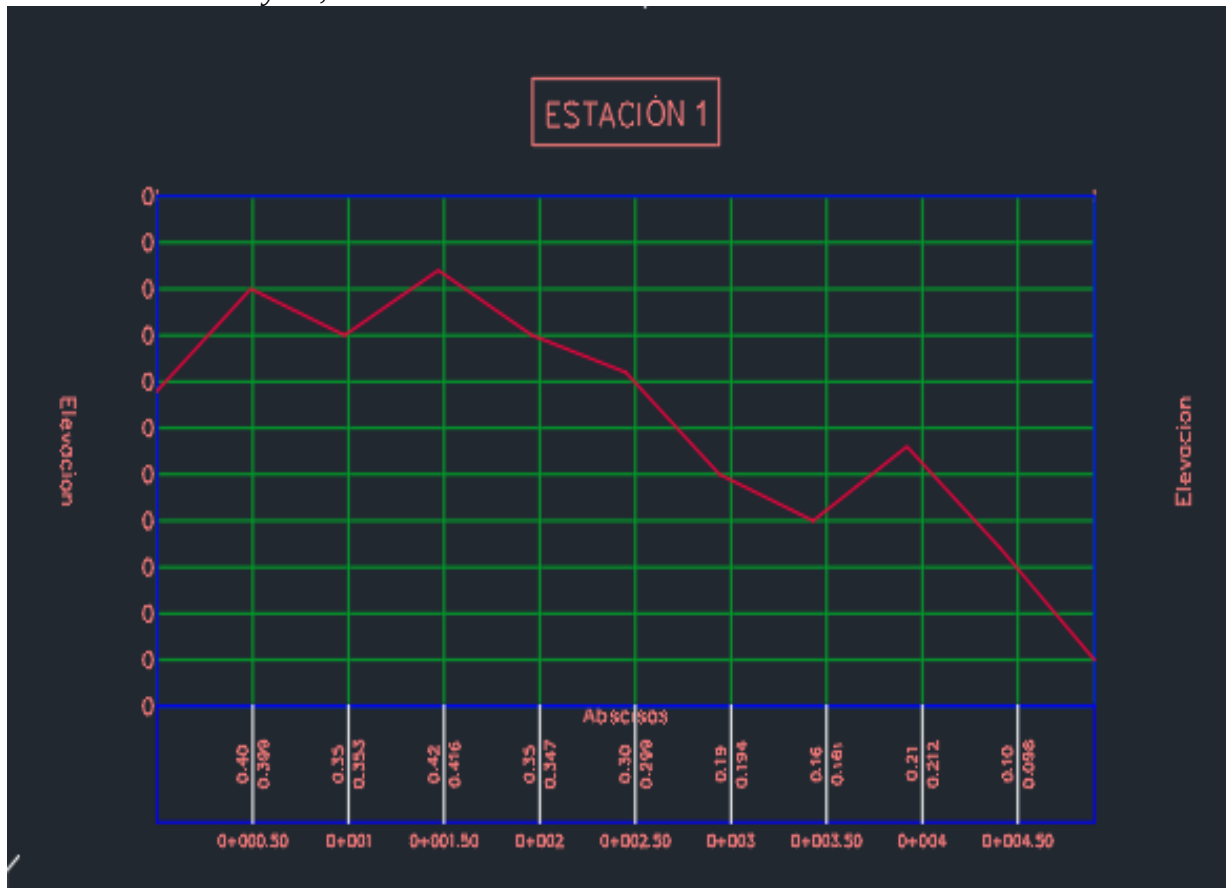
- Willis, S., Winemiller, K., & Lopez, H. (2005). Habitat structural complexity and morphological diversity of fish assemblages in a Neotropical floodplain river. *Oecologia*, 142(2), 284–295. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1723-z>
- Yáñez, W. (2016). El agua en América Latina. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 46–47. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200001
- Zamora, H. (2015). Freshwater macroinvertebrates registered during the rainy season in three tropical rivers of the foothill on the eastern plains of Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 7(2), 139. <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n2.2015.243>
- Zúñiga, C. (2013). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. *IREHISA*, 176–206.

Anexos

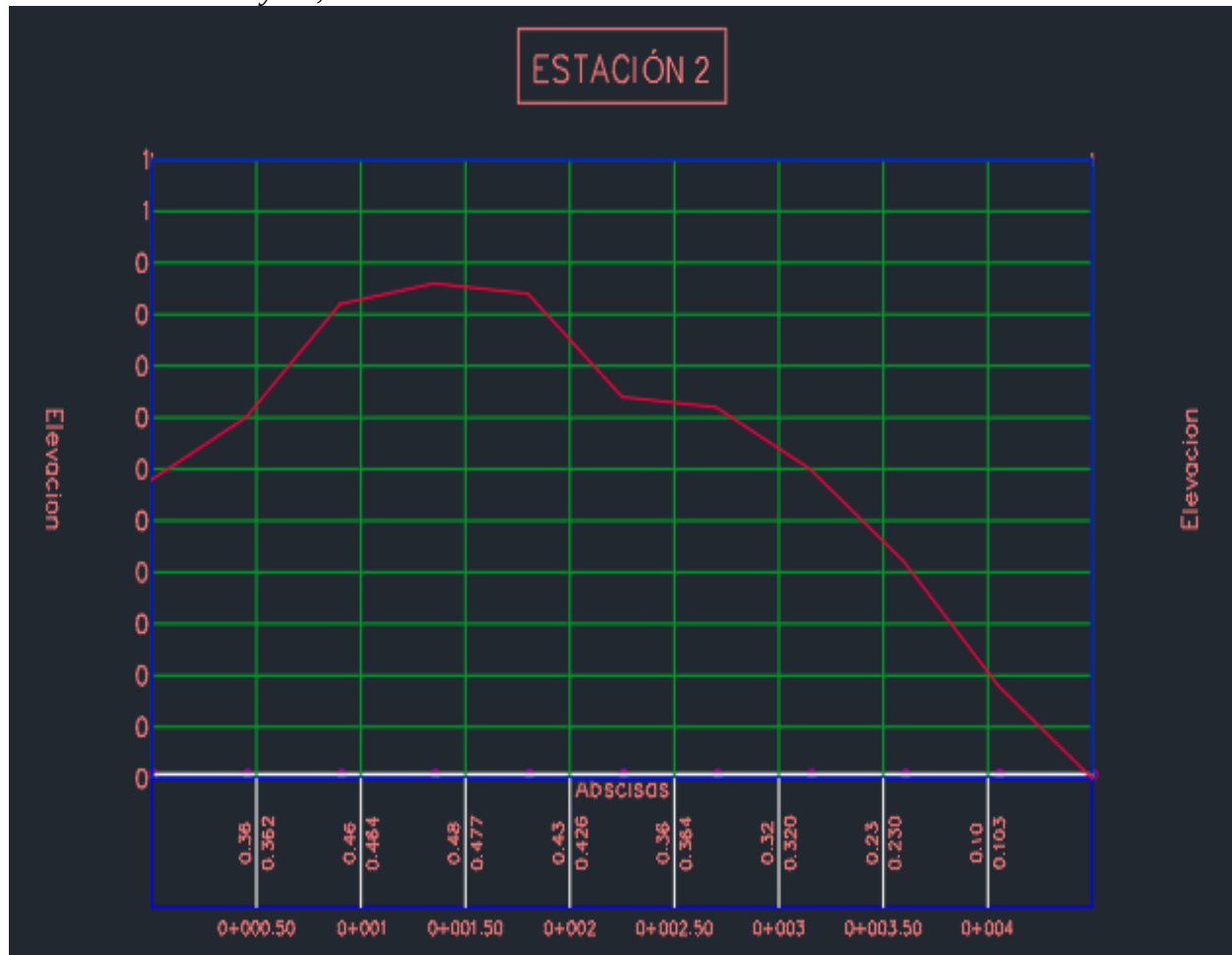
Anexo 1 Metodología empleada para la realización del estudio, por Cuintaco D & Robayo T, 2019..



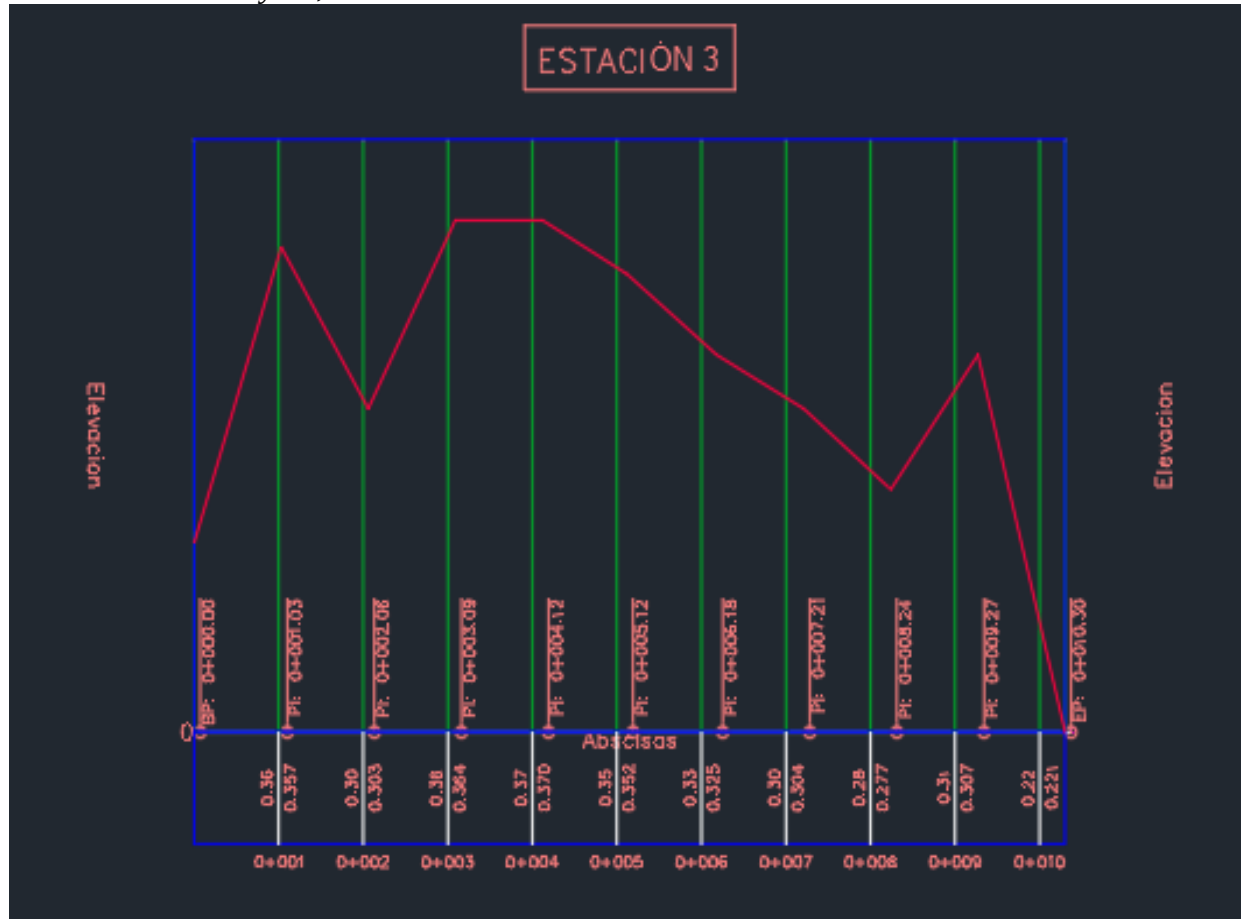
Anexo 2 Perfil de la sección longitudinal de la estación E1, caño Seco en AutoCAD Civil 3D, , por Cuintaco D & Robayo T, 2019..



Anexo 3 Perfil de la sección longitudinal de la estación E2, caño Seco en AutoCAD Civil 3D, , por Cuintaco D & Robayo T, 2019..



Anexo 4 Perfil de la sección longitudinal de la estación E3 caño Seco en AutoCAD Civil 3D, , por Cuintaco D & Robayo T, 2019.



Anexo 5 Registro fotográfico de las familias de macroinvertebrados acuáticos del orden Diptera presentes en el caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019..

A. Chironomidae **B.** Empididae **C.** Simuliidae **D.** Ceratopogonidae

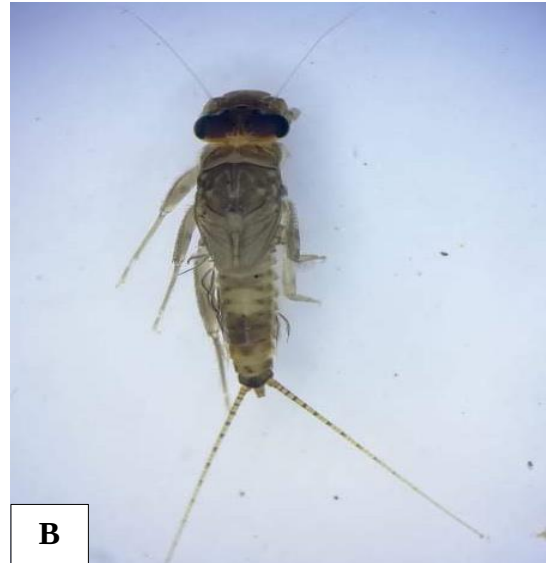


Anexo 6. Registro fotográfico de las familias de macroinvertebrados acuáticos del orden Ephemeroptera presentes en el caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

A. Baetidae

B. Leptophlebiidae

C Leptohyphidae



Anexo 7 Registro fotográfico de las familias de macroinvertebrados acuáticos del orden Trichoptera presentes en el caño Seco, por Cuintaco D & Robayo T, 2019.

A. Hydropsychidae

B. Hydroptilidae

C.

Philopotamidae

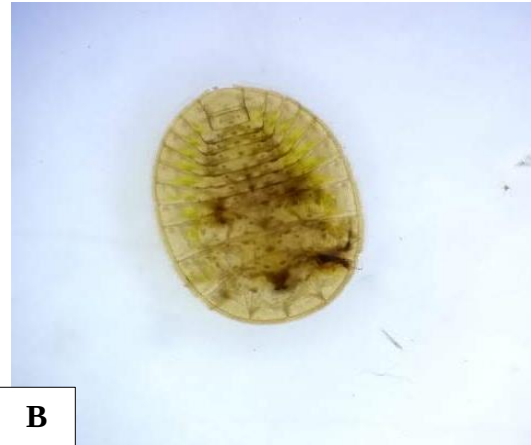


Anexo 8 Registro fotográfico de las familias de macroinvertebrados acuáticos del orden Coleoptera presentes en el caño Seco.

A. Elmidae



B. Psephenidae



Anexo 9 Registro fotográfico de la familia de macroinvertebrados acuáticos del orden Lepidoptera presentes en el Caño Seco.

A. Cambridae



Anexo 10 Registro fotográfico del acercamiento a la secretaria del medio ambiental municipal para la gestión socia

