

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DE LA CORRELACIÓN ENTRE
VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y MACROINVERTEBRADOS EN TRES SECTORES DEL
RÍO CANEY, RESTREPO – META.



DANIEL FELIPE GARCÉS RUIZ
LUIS ALEJANDRO PACHECO GUTIÉRREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DE LA CORRELACIÓN ENTRE
VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y MACROINVERTEBRADOS EN TRES SECTORES DEL
RÍO CANEY, RESTREPO – META.

DANIEL FELIPE GARCÉS RUIZ
LUIS ALEJANDRO PACHECO GUTIÉRREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora
Ing. Verónica Duque Pardo
Ingeniera Ambiental Msc en hidrosistemas

Codirector
Rodrigo Isaac Velosa Caicedo
Biologo.M.Sc

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades Académicas

FRAY JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

FRAY EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

PADRE JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

FRAY RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

VERÓNICA DUQUE PARDO

Director Trabajo de Grado

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Codirector Trabajo de Grado

NOMBRE COMPLETO

jurado

NOMBRE COMPLETO

jurado

Tabla de contenido

Contenido	Pág.
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1. Planteamiento del problema	12
1.1. Descripción del problema.....	12
1.2. Formulación de la pregunta problema.....	14
2. Objetivos.....	15
2.1. Objetivo general	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. Justificación	16
4. Alcance	17
4. Marco Referencial.....	19
4.1. Antecedentes	19
4.2. Marco teórico	21
4.3. Marco conceptual.	22
4.3.1. Ecosistemas loticos.....	22
4.3.2. Aguas dulces.....	22
4.3.3. Aguas residuales	23
4.3.4. Vertimientos	23
4.3.5. Eutrofización	23
4.3.6. ICA	24
4.4. Marco legal.....	24
4.4.1. Ley 99 de 1993	24
4.4.2. Ley 79 de 1986	24
4.4.3. Decreto 3930 de 2010.....	24
4.4.4. Decreto 2811 de 1974.....	25
4.4.5. Decreto 1449 de 1977.....	25

4.4.6. Decreto 1541 de 1978.....	25
4.4.7. Decreto 1594 de1984.....	25
5. Metodología	26
5.1. Fase I: Cálculo del índice de calidad del agua para corrientes superficiales para el caso de 5 variables propuesto por el IDEAM	26
5.1.1. Selección de puntos.	26
5.1.2. Medición de los parámetros fisicoquímicos.	26
5.1.3. Jornadas de muestreo.....	27
5.1.4. Análisis en laboratorio.....	28
5.1.5. Cálculo del (ICA)	29
5.1.6. Modelo espacial de calidad del agua de las tres zonas seleccionadas	30
5.2. Obtención y clasificación de macroinvertebrados bentónicos mediante el índice BMWP Col. 30	
5.2.1. Colecta de macroinvertebrados.	30
5.2.2. Análisis de laboratorio.....	31
5.2.3. Cálculo del índice BMWP Col.....	31
5.3. Fase III: Correlación entre los macroinvertebrados bentónicos y los índices de calidad del agua del río Caney.....	33
5.3.1. Análisis de datos.....	33
6. Resultados y discusión	34
6.2. Familias de macroinvertebrados.....	34
6.3. Parámetros fisicoquímicos	39
6.4. Cálculo de ICA5 y BMWP Col.....	42
6.5. Análisis estadístico de ACP	47
7. Conclusiones y recomendaciones	51
Bibliografía	54

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros estudiados con su equipo o técnica y método de medición	27
Tabla 2. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables	29
Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.....	30
Tabla 4. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col según Roldan.....	31
Tabla 5. Clasificación de las aguas y su significado ecológico mediante el índice BMWP.....	33
Tabla 6. Resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos en el total de las muestras.....	39
Tabla 7. Desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en cada uno de los puntos	39
Tabla 8. BMWP total e ICA5 de las muestras del 1 a la 5 en los tres puntos.....	43
Tabla 9. BMWP total e ICA de las muestras del 6 a la 10 en los tres puntos.....	43
Tabla 10. Ica promedio y BMWP de los tres puntos muestreados	45

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Puntos seleccionados para el muestreo y toma de datos del rio Caney con el municipio de Restrepo de fondo por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	17
Figura 2. familias de macroinvertebrados identificados Por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).	34
Figura 3. Número total de macroinvertebrados encontrados en los tres sectores en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	35
Figura 4. Número total de macroinvertebrados encontrados en el punto 1 ubicado en cuenca alta en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	36
Figura 5. Número total de macroinvertebrados encontrados en el punto 2 ubicado en cuenca media en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	37
Figura 6. Número total de macroinvertebrados encontrados en el punto 3 ubicado en cuenca baja en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	38
Figura 7. Graficas de cambios de las variables fisicoquímicas del agua en los tres puntos de muestreo del Rio Caney en Restrepo, Meta por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	40
Figura 8. BMWP Col por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).	44
Figura 9. ICA5(Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	45
Figura 10. Representación espacial del ICA5 mediante software ArcMap de ArcGIS por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).....	46
Figura 11. Representación espacial del BMWP Col mediante el Software ArcMap de ArcGis por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)	47
Figura 12. Circulo de correlación de ACP por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).	48
Figura 13. Coordenadas de los individuos de los tres puntospor (Garcés, D., Pacheco L., 2020).	49

Resumen

El presente trabajo tiene como objeto analizar el estado de la calidad del agua a partir de la correlación entre variables fisicoquímicas y presencia de macroinvertebrados bentónicos en tres sectores del río Caney, Restrepo – Meta.

Se escogieron los tres puntos de muestreo a lo largo del río estratégicamente teniendo en cuenta la cuenca alta, cuenca media y cuenca baja, en donde se midieron variables in situ (pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto) y variables ex situ (sólidos suspendidos totales y DQO5) y donde se realizó el muestreo para la recolección de macroinvertebrados para luego realizar la identificación taxonómica en el laboratorio con ayuda del estereoscopio.

Se obtuvieron valores promedio para el ICA para el punto 1 de 0,84 de calidad aceptable, para el punto 2 de 0,74 de calidad aceptable y para el punto 3 de 0,69 de calidad regular, también se obtuvieron valores promedio del BMWP para el punto 1 de 34,8 de calidad crítica, para el punto 2 de 18,9 de calidad muy crítica y para el punto 3 de calidad muy crítica donde el análisis estadístico de ACP dio que tienen una correlación directa y alta entre estos dos índices de calidad y el parámetro fisicoquímico de oxígeno disuelto.

El resultado de BMWP dio valores tan bajos debido a la poca cantidad de familias encontradas esto posiblemente a la presencia de rápidos y a pesar de que se encontró gran cantidad de individuos no sumo ya que estos pertenecían mayormente a la familia Baetidae, los resultados obtenidos de ICA fueron más precisos en este caso para los tres sectores escogidos.

Palabras Clave: Índice de calidad de agua superficiales (ICA); Análisis de componentes principales (ACP); BMWP Col; cuenca alta; cuenca media; cuenca baja.

Abstract

The purpose of this work is to analyze the states of water quality from the correlation between physicochemical variables and the presence of benthic macroinvertebrates in three sectors of the Caney river, Restrepo - Meta. To know the conditions regarding its quality in which this water resource is found in these three selected points.

The three sampling points along the river were chosen strategically taking into account the upper basin, middle basin, and lower basin, where variables were measured in situ (pH, temperature, conductivity, and dissolved oxygen) and ex situ variables (suspended solids total and COD5) and where the sampling for the collection of macroinvertebrates was carried out to be classified later in the laboratory with the help of the stereoscope.

Average values for the ICA were obtained for point 1 of 0.84 of acceptable quality, for point 2 of 0.74 of acceptable quality and for point 3 of 0.69 of regular quality, average values of the BMWP were also obtained for point 1 of 34.8 of critical quality, for point 2 of 18.9 of very critical quality and for point 3 of very critical quality where the statistical analysis of ACP gave that they have a direct and high correlation between these two quality indices and the physicochemical parameter of dissolved oxygen.

The result of BMWP gave such low values due to the small number of families found, possibly due to the presence of rapids, and despite the fact that a large number of non-sumo individuals were found since they belonged mostly to the Baetidae family, the results obtained from ICA they were more precise in this case for all three chosen sectors.

Key Word: Water Quality Index (WQI); Principal Component Analysis (PCA); BMWP Col; Upper Basin; Mid-Basin; Low Basin.

Introducción

El agua es un recurso vital para la subsistencia y desarrollo de la vida y el medio ambiente, este recurso abarca un 75% del planeta y se encuentra dividido aproximadamente de la siguiente manera: Océanos y mares (97,6%), casquetes polares (1,9%), aguas subterráneas (0,5%), aguas superficiales (0,02%), en el suelo (0,01%) y en la atmosfera (0,001%) (Auge, 2007).

El crecimiento acelerado y de manera exponencial de la población ha generado diferentes problemas ya que hay más de 7.000 millones de personas habitando el planeta, generando que se formen asentamientos de familias en lugares que no cuentan con acceso a agua potable, sistemas de alcantarillado ni saneamiento básicos, lo que ocasiona que todas las aguas residuales producidas sean vertidas en cuerpos de agua cercanos (Semarnat, 2011).

Los vertimientos directos en cuerpos hídricos son un tema bastante preocupante y es que poco más de 1000 millones de personas consumen agua no apta para consumo o contaminada, de las cuales aproximadamente 3,4 millones de personas en su mayoría niños mueren debido a enfermedades de transmisión hídrica y de estos decesos 2,2 millones son por causas diarreicas (Who, 2001). Se han encontrado más de 20 enfermedades distintas que se relacionan con el consumo de agua con alta presencia de sustancias químicas, algunas enfermedades son: borismo (boro), fluorosis (flúor) y síndrome bebe azul (nitrato) (OMS, 2006).

En el país se concentra el mayor uso de recurso hídrico de los ríos Cauca, Magdalena y los siguen el Orinoco. El uso de esta agua se concentra en cuatro actividades principales donde la que más demanda es la agricultura con (46,6%), a esta la sigue el sector minero energético (21,5%) debido a que es la principal fuente de energía empleada en el país, en seguida está el sector pecuario (8,5%) y por último el sector doméstico (8,2%) (Siac, 2012).

Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y jugar un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas. Es decir, a nivel de grupo, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el río por los organismos fotosintéticos y la van a transferir a los grandes vertebrados del ecosistema. (Ladrera R. , 2012)

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

Anualmente se arrojan a ríos, lagos y deltas todo tipo de plásticos y de basura que llega al mar, alrededor de 8 millones de toneladas aproximadamente entre residuos y desechos, lo que equivale a un peso similar al de la población mundial, lo cual representa una gran contaminación que afecta gradualmente la calidad del recurso hídrico (Rojo Nieto & Montoto, 2017).

La calidad del agua en el mundo se puede afectar cada vez más por diferentes motivos como: el aumento de la población, la creciente expansión de las industrias y la agricultura excesiva, así como el cambio climático que puede alterar el ciclo hidrológico.

Para saber el estado de la calidad del agua en una determinada fuente hídrica se pueden utilizar diferentes tipos de indicadores, entre los que se encuentran los fisicoquímicos y los bioindicadores, también conocidos como indicadores biológicos, este último tipo de indicador ofrece una ventaja mayor sobre los fisicoquímicos, ya que los organismos son capaces de integrarse a los cambios sufridos en el ecosistema durante el tiempo de vida del organismo, a diferencia que los indicadores fisicoquímicos solo monitorean las condiciones del momento de la toma (Ladrera, Rieradevall, & Prat, 2013).

Los bioindicadores también son capaces de presentar más allá de la contaminación de agua, las alteraciones físicas del cauce. Existen varios tipos de bioindicadores fluviales, como los microorganismos, macrófitos o peces. uno de los grupos más utilizados para determinar la calidad del agua son los macroinvertebrados bentónicos esto se debe a diferentes razones entre las que se encuentran, su elevada variedad de especímenes, su muestreo es de fácil desarrollo, cada taxon tiene requerimientos ecológicos diferentes, el protocolo para su muestreo y la elaboración de índices están estandarizados, su tiempo de vida permite analizar los efectos de la contaminación en el tiempo (Carrera, Carlos; Fierro, Karol, 2001).

Existen diversos impactos en ecosistemas fluviales que afectan y alteran las comunidades de macroinvertebrados, entre los más relevantes y de manera antrópica se encuentra la contaminación causada por vertimientos de aguas residuales de industria y domesticas a cuerpos de agua y de

manera natural la eutrofización debido al crecimiento y la acumulación de plantas, debido a la gran cantidad de nutrientes a su alrededor (Oscos, Campos, & Escala, 2006).

La forma más adecuada para poder dar solución a este problema se encuentra en prevenir la contaminación, realizar tratamientos necesarios a aguas residuales y restaurar ecosistemas (ONU, 2010). Así mismo en países como Colombia en los que se cuenta con gran variedad de fuentes hídricas, se cuida muy poco y desde hace varios años se ha acrecentado la problemática de contaminación de este recurso, no solo por los vertimientos del sector industrial sino también por el inadecuado tratamiento de aguas residuales domésticas en la mayoría de los municipios del país (Embid Irujo & Ganzon Pachon, 2016) ya que no cuentan con una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) para el debido tratamiento.

En Colombia se estima que el tratamiento de aguas residuales es uno de los principales problemas ambientales, debido a que únicamente el 48,2% de municipios del país disponen de plantas de tratamiento de agua residual (World Water Council, 2018). Lo que quiere decir que solo 541 de los 1.122 municipios registrados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) contarían con algún sistema para tratar sus aguas residuales.

La calidad de agua que se consume en el departamento del Meta para el total de su población y según su potabilidad arroja que el 39,6% consume agua potable, 18,4 consumen agua segura, 29% consume o usa agua con bajo o ningún tratamiento y 13% utiliza o consume agua directamente de la fuente sin ningún tratamiento (García Bermúdez, 2015).

Uno de los municipios del departamento que cuenta con planta de tratamiento de agua residual y además con planta de potabilización de agua es Restrepo-Meta, este municipio realiza la captación de agua para abastecimiento en el río caney, el cual tiene su origen en la vereda Marayal en la parte alta y desemboca en el río Guatiquía, durante todo su trayecto atraviesa diferentes veredas, en las que se han evidenciado vertimientos directos de aguas residuales al río, lo que genera problemas en la calidad de sus aguas.

Sumado a esto, en algunos puntos de la cuenca se realiza minería y se extrae material de arrastre para construcción generando erosión del afluente y descenso del nivel freático, sin embargo y a pesar de esta problemática, aún no se ha evidenciado interés por parte de las entidades gubernamentales en realizar un estudio que permita conocer con mayor detalle esta situación, lo que se evidencia en que actualmente no se tiene información o registros que reporten el estado y la calidad del río caney (Robayo Alvarez, 2016).

1.2. Formulación de la pregunta problema.

¿Cuál es la calidad del agua en los tres sectores seleccionados del río Caney teniendo en cuenta la correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la presencia de macroinvertebrados ubicado en el municipio de Restrepo–Meta?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar los estados de la calidad del agua a partir de la correlación entre variables fisicoquímicas y presencia de macroinvertebrados bentónicos en tres sectores del río Caney, Restrepo – Meta.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los tres sectores del río Caney.
- Evaluar la calidad del agua en tres sectores del río Caney mediante índice de calidad del agua (ICA) propuesto por el IDEAM.
- Determinar la correlación existente entre los macroinvertebrados bentónicos mediante el índice BMWP y el índice de calidad del agua del río Caney.

3. Justificación

La presente investigación se realizará para analizar la calidad biológica y fisicoquímica en la que se encuentra el río Caney, determinar cómo este va cambiando sus condiciones a medida que se acerca a su desembocadura en el río Guatiquía.

Las variables fisicoquímicas son las que se usan principalmente para hallar la calidad de agua, pero estas solo pueden reflejar las condiciones ambientales en el momento del muestreo y no revelan las características del agua durante cierto período de tiempo (Valverde Legarda, Aguirre, & Caicedo Quintero, 2012). Por otro lado, las mediciones biológicas (macroinvertebrados) responden a las alteraciones ocasionadas por actividades humanas en ecosistemas fluviales, los integrantes de esta comunidad son sensibles a la contaminación orgánica y la degradación del hábitat, por tal razón, en la evaluación ambiental del recurso hídrico es valioso su potencial como bioindicadores de calidad de agua (Meza, Días, & Walteros, 2012).

El río Caney abastece los acueductos de Restrepo y Cumaral además de algunas veredas, debido a esto es importante tener información de las condiciones en las que está llegando el recurso hídrico a la PTAP, este análisis previo permitiría disminuir costos evitando procesos innecesarios y de igual manera llegar a disminuir gastos a los usuarios.

En Restrepo, la cuenca del río Caney no cuenta con un estudio continuo y sectorial para recopilación de información acerca del uso y características que presenta el agua de la cuenca, lo cual genera un contexto de incertidumbre debido a la carencia de datos de calidad del agua que permitan toma de decisiones frente a su gestión y tratamiento (Villegas Jiménez, 2011).

Debido a esto, es necesario generar un análisis preliminar que sirva como insumo para el proceso continuo de monitoreo y gestión de la cuenca, es importante y evidente la necesidad de generar el conocimiento y la información que apoyen la toma de decisiones, la planificación, la gestión y el uso del recurso. Esto puede evitar que los sistemas y los procesos naturales sean intervenidos y alterados desordenadamente, se presente deterioro de las corrientes de agua y se incrementen los conflictos por su uso (IDEAM, 2010).

4. Alcance

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Caney, que se localiza en el municipio de Restrepo a 26km de Villavicencio, en el departamento del Meta. Los tres sectores escogidos se encuentran en las coordenadas E 01055637 y N 00966003 a una altura de 621msnm en el punto 1, E 0105921 y N 0096340 a una altura de 482msnm en el punto 2 y E 01061368 N 00958579 a una altura de 392msnm en el punto 3, se escogió cada sector según la cuenca (Cuenca alta, cuenca media y cuenca baja).

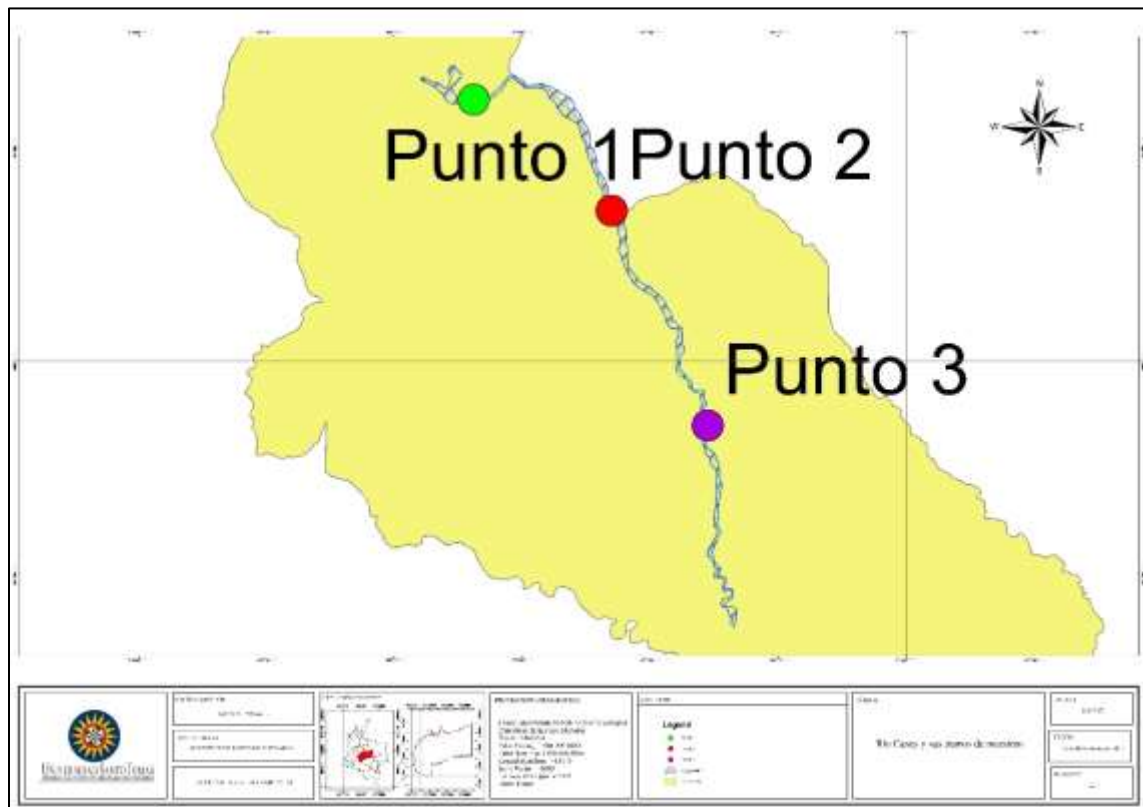


Figura 1. Puntos seleccionados para el muestreo y toma de datos del río Caney con el municipio de Restrepo de fondo por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

El estudio se desarrolló en un periodo de 7 meses, comprendidos entre los meses de agosto del 2019 y febrero del 2020, abarcando la finalización de temporada de lluvias y el comienzo de la

temporada seca del municipio, donde hasta diciembre se realizó trabajo de campo y los meses de enero y febrero se organizaron los datos recopilados.

La investigación se enfoca en el índice ICA 5 teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos oxígeno disuelto, sólido suspendidos, demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica y pH (IDEAM, 2011); y en la identificación de familias de macroinvertebrados por medio del índice BMWP Col (Roldan Perez, 2016).

Se realizaron 10 visitas por sector para un total de 30 visitas comprendidas en los meses de trabajo de campo y laboratorio.

4. Marco Referencial

4.1. Antecedentes

Como antecedentes se encontraron diferentes referencias tanto internacionales como nacionales, en los cuales se evidencio las técnicas utilizadas en los cuerpos hídricos y las variaciones de macroinvertebrados bentónicos y fisicoquímicas según el área estudiada.

En Chile se desarrolló una investigación en el río Limarí, en la cual se utilizaron bioindicadores para conocer el estado del agua y se complementó con medición de parámetros fisicoquímicos, para el desarrollo de la investigación se utilizó una red surber para realizar la recolección de los macroinvertebrados, los organismos encontrados se clasificaron por familias y ayudados de equipos más precisos se logró la identificación y clasificación en géneros, la mayor cantidad de individuos se encontraron en la cuenca alta y es que aunque en los tres tramos que se estudiaron de río se encontraron representativamente las mismas familias (Chironomidae, Elmidae, Baetidae, Hydropsychidae e Hydrobiosidae), la cantidad de individuos fue menor en los tramos de cuenca baja y alta, esto puede deberse principalmente a que en estos lugares se desarrollan actividades como agricultura, asentamientos y embalses, lo cual genera un mayor gradiente de estrés en la cuenca y por ende la presencia de los bioindicadores sea menor, y gracias a la relación que existe entre la presencia de macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas se determino que la cuenca alta presento una calidad de agua muy buena, y los otros dos tramos se encontró en un rango de aceptable a pésima (Carvacho Aránguiz, 2012).

En Ecuador se utilizó el índice de calidad de agua BMWP-Col el cual arrojó que el agua vertida por efluentes residenciales (ER) presenta calidad crítica en comparación a los efluentes agrícolas-industriales (EAI) que presenta calidad dudosa, la diferencia entre ER y EAI se debe a la presencia de las familias de macroinvertebrados bentónico Perlidae y Baetidae, en el lugar de muestreo de EAI que no se encontraron en el sitio de muestro de ER, la presencia de estas familia indica existe poca contaminación (Yépez Rosado, y otros, 2017).

En Colombia se utilizó el programa Statgraphics plus, el cual, dependiendo de la cantidad y diversidad de familias halladas en el tramo analizado, y adjuntándose a una ecuación en donde cada familia tiene un valor determinado, tal es el caso de las familiar: Hydrobiosidae, Leptocedae, Planariidae, Amphipoda, Oligochaeta, Syrphidae, Psychodidae, según la cantidad de individuos

de cada familia se reemplaza en la ecuación, y se multiplica por un valor asignado a cada familia y según el resultado obtenido se comparó con una tabla de rangos establecidos y se obtuvo que la calidad del agua estudiada era buena (Gutiérrez, 2004).

En la quebrada Ayurá se determinaron familias más representativas que otras como lo fueron: Gomphidae, Ptilodactylidae, Calamoceratidae y Odontoceridae, según los resultados arrojados en el índice BMWP-Col en enero y febrero de 2008, se presentó una buena calidad de agua y en noviembre de 2007 se relaciona con agua aceptable que indica algunos efectos de contaminación (González Meléndez, Caicedo Quintero, & Aguirre Ramirez, 2013).

En el río Garagoa, ubicado en el departamento de Boyacá, se llevó a cabo un estudio de calidad de agua partiendo de la presencia de bioindicadores y se obtuvo que, la familia con mayor abundancia en el estudio fue la Chironomidae, debido a que este se conoce por su alta tolerancia en entornos contaminados, habitando incluso en aguas con muy baja presencia de oxígeno y las familias que predominaron en el estudio fueron Chironomidae, Simuliidae y Baetidae (Gil Gómez, 2014).

En Bogotá en la laguna Chingaza se llevó a cabo un estudio que dio como resultado que se encontraron 275 individuos, donde las familias más representativas fueron la Hyalellidae y Planariidae, las cuales se relacionan con un alto porcentaje de saturación de oxígeno y una alta conductividad (Pineda & Quiroz, 2015), en otro estudio realizado también en la ciudad de Bogotá específicamente en la quebrada vieja, acerca de calidad de agua por medio de bioindicadores, se obtuvo que las familias que más abundaron en este estudio fueron Díptera, Trichoptera y Coleóptera, su presencia se debe a que en esta quebrada el agua es limpia y con buena oxigenación, además de que se encuentra material vegetal que es de lo que se alimentan (Patiño Pescador, 2015). En el municipio de San Carlos – Antioquia se hallaron familias tales como Gerridae mediante el índice BMWP-Col la cual puede sobrevivir en lugares con un grado de contaminación media ya que son tolerantes ante esta contaminación antrópica, pero no pueden estar en zonas tensoactivas ya que al reducir la tensión superficial se pone en riesgo a este tipo de macroinvertebrados (Castaño & Quintana Cruz, 2016).

En el departamento del Meta se realizan los primeros trabajos con macroinvertebrados en la década de los años 90 cuando se inició el aporte de información relevante sobre la artropofauna acuática de sistemas lagunares. Algunos estudios posteriores permitieron conocer más a fondo las dinámicas y las relaciones entre los grupos de macroinvertebrados y los ecosistemas que habitan,

lo que dio inicio a otra etapa en el conocimiento de esta comunidad. Fue así como se valoró el efecto de la cantidad de seston y de los cambios físicos del hábitat sobre la riqueza y la red alimentaria de los macroinvertebrados bénticos de varios ríos del piedemonte llanero. (Moreno Rodríguez, Caro Caro, Pinilla, & Osorio, 2017)

4.2. Marco teórico

De toda la variedad de insectos que existen tan solo un 3% viven en entornos acuáticos, pero alrededor de un 50% de sus órdenes cuentan con especies que desarrollan al menos una etapa de su ciclo de vida en ambientes acuáticos como ríos, lagos, lagunas o deltas (Merritt & Cummins, 1996).

Gracias a que los insectos están presentes en casi todos los lugares y ocupan del 70 al 90% de organismos presentes en los ecosistemas, son el mejor grupo para hallar los índices de calidad de agua, debido a que en comparación con los parámetros fisicoquímicos, es que estos últimos solo reflejan el estado de calidad en el momento de la toma y no reflejan el verdadero estado de salud del cuerpo hídrico estudiado, estos pueden ser más de carácter complementario al uso de los macroinvertebrados bentónicos ya que la presencia de estos dependiendo de la especie y familia puede explicar a grandes rasgos y en el tiempo como es la calidad del agua (Rosenberg & Resh, 1993). Una de las principales características que presentan los macroinvertebrados bentónicos es que su visibilidad no es compleja, a tal punto de poder observarse a simple vista o con ayuda de un estereoscopio, pero para observar los niveles taxonómicos y poder clasificarlos es necesaria la ayuda de un microscopio (Carrera, Carlos; Fierro, Karol, 2001).

La utilización de este tipo de organismos para realizar estudios de calidad de agua, parte principalmente de la sensibilidad que algunas familias de macroinvertebrados presentan a cambios pequeños y sensibles de las condiciones del agua, lo cual se ve reflejado en el número de su población, dependiendo tanto de la familia encontrada como del cambio que cause esta variación de la población (Roldán Pérez, 2016). el uso de los macroinvertebrados bentónicos es preferible al uso de otros indicadores como es el caso de los peces debido a su constante movilidad, mientras que los macroinvertebrados no pueden recorrer grandes distancias cuando se presenta algún tipo de contaminación (Sanchez, 2007).

El índice de calidad del agua en corrientes superficiales, corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas. (IDEAM, 2011). Este índice se aplica regularmente en la industria del petróleo y algunas corporaciones autónomas regionales en las ciudades de Bogotá, Barranquilla, Bucaramanga, Cali y Manizales. (Castro , Almeida, Ferrer , & Diaz, 2014)

El índice más utilizado para emplear macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua es el índice BMWP, es considerado como un método rápido para la determinación de la calidad del agua analizando las diferentes familias de organismos hallados mediante datos cuantitativos de ausencia y presencia, utilizando un puntaje que va de 1 a 10, según la tolerancia a la contaminación orgánica, siendo 1 el más tolerante y 10 el ms sensible a la contaminación, dicho puntaje se asigna por familias independientemente la cantidad de géneros e individuos que se hallen (Roldán Pérez, 2016).

4.3. Marco conceptual.

4.3.1. Ecosistemas loticos.

Son aguas con visible movimiento horizontal y rápido recambio de líquido; estos cuerpos de agua se mueven en una dirección más o menos definida, y el líquido se recambia por el flujo ágil. (Sanchez, 2007) Estos ecosistemas loticos son aguas naturales, que al estar en contacto con diferentes agentes (aire, suelo, vegetación, subsuelo, etc.), incorporan parte de estos por disolución o arrastre, o incluso, en el caso de ciertos gases, por intercambio. A esto es preciso unir la existencia de un gran número de seres vivos en el medio acuático que interrelacionan con el mismo mediante diferentes procesos biológicos en los que se consumen y desprenden distintas sustancias.

4.3.2. Aguas dulces.

Estas pueden presentar un elevado número de sustancias en su composición química natural, dependiendo de diversos factores tales como las características de los terrenos atravesados, las concentraciones de gases disueltos, etc. Entre los compuestos más comunes que se pueden

encontrar en las aguas dulces están: como constituyentes mayoritarios los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2012) Dentro de estas aguas naturales existen organismos como los macroinvertebrados que no tienen espina dorsal y que son visibles sin usar un microscopio. En la mayoría de los riachuelos, la energía disponible para los organismos se almacena en las plantas y se pone a disposición de la vida animal en forma de hojas y algas que comen los macroinvertebrados (Patiño Pescador, 2015).

Dentro de los cuerpos de aguas continentales, los macroinvertebrados bentónicos han recibido una gran atención en los estudios de los ecosistemas de aguas corrientes, principalmente por su importancia como eslabones tróficos intermediarios entre los productores primarios y consumidores como por ejemplo peces, por ser transformadores e integradores de la materia orgánica alóctona (hojas, semillas, ramas, troncos caídos, etc.) principal entrada de energía a los sistemas fluviales, y también son destacados por su actual utilidad como indicadores biológicos. (Patiño Pescador, 2015)

4.3.3. Aguas residuales

Estas son aquellas provenientes de las actividades antrópicas, ya sean de uso doméstico, de carácter industrial o provenientes de la agricultura, las domésticas son principalmente utilizadas con fines higiénicos (Blazquez, 2010).

4.3.4. Vertimientos

Hace referencia a cualquier tipo de descarga de sustancia de carácter líquido realizada a un cuerpo hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

4.3.5. Eutrofización

Es el proceso mediante el cual a un cuerpo hídrico se le agregan nutrientes y materia orgánica desde el exterior, lo cual causa alteraciones en el equilibrio del ecosistema generando cambios de carácter químico, físico y biológicos a la calidad del agua (Ledesma, Bonansea, Rodríguez, & Sánchez Delgado, 2013).

4.3.6. ICA

Este es un índice el cual se basa en una calificación numérica para determinar la calidad del agua de un cuerpo hídrico, esta calificación se divide en cinco categorías cuyo valor es asignado a través de cinco o seis variables. Conductividad E: Mediante esta variable se puede medir que tanta cantidad de minerales puede contener una muestra de agua. Sólidos Suspendidos: Es la cantidad de sólidos que está presente en la superficie de un cuerpo hídrico y la presencia de estos puede asociarse a cambios sufridos en la corriente. Oxígeno disuelto: A través de esta variable se determina que tanta población de especies se pueden encontrar, ya que si esta es muy baja no se podrán hallar gran cantidad de especies. pH: El cual determina los iones de hidrogeno presentes en el agua que puedan afectar a la fauna y flora. DQO: Esta representa la cantidad de sustancias química presentes en el agua que pueden o son susceptibles a oxidarse (IDEAM, 2011).

4.4. Marco legal.

4.4.1. Ley 99 de 1993

Por la 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, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

4.4.2. Ley 79 de 1986

Por la cual se prevé a la conservación de agua y se dictan otras disposiciones.

4.4.3. Decreto 3930 de 2010

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

4.4.4. Decreto 2811 de 1974

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

4.4.5. Decreto 1449 de 1977

Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley No. 2811 de 1974 el cual es el Código nacional de los recursos naturales renovables RNR y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos.

4.4.6. Decreto 1541 de 1978

Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. Artículo 211. Se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar o eutrofizar las aguas, causar daño o poner en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos.

4.4.7. Decreto 1594 de 1984

Por el cual se dictaminan los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos.

5. Metodología

La metodología que se utilizó para realización de este estudio de tipo cuantitativo se divide en tres fases generales que inicia con el cálculo del índice de calidad del agua para corrientes superficiales para el caso de 5 variables propuesto por el IDEAM, obtención e identificación de macroinvertebrados bentónicos mediante el índice BMWP Col y finaliza con la correlación entre los macroinvertebrados bentónicos y los índices de calidad del agua y el análisis de datos.

5.1. Fase I: Cálculo del índice de calidad del agua para corrientes superficiales para el caso de 5 variables propuesto por el IDEAM

5.1.1. Selección de puntos.

Para la selección de los puntos de muestreo, se tuvieron en cuenta secciones representativas de cada cuenca del río Caney (alta, media y baja), se seleccionaron teniendo en cuenta la facilidad de accesibilidad a este, se programaron salidas de campo al río Caney donde se observaron las coordenadas exactas de los puntos de muestreo, se realizaron diez (10) muestras por zona para un total de treinta (30) muestras en un lapso de tiempo de cuatro meses; Se realizó una visita por zona para un total de treinta (30) visitas. Para la toma de muestras se tuvo en cuenta los lineamientos de la NTC-ISO 5667-1.

5.1.2. Medición de los parámetros fisicoquímicos.

Se midieron por cada zona de manera in situ 8 parámetros fisicoquímicos con equipos previamente calibrados pH, temperatura, conductividad eléctrica, caudal, profundidad, ancho del río, velocidad del río y oxígeno disuelto también, se tomaron parámetros ex situ los cuales son demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales, (IDEAM, 2014) estos fueron tomados de acuerdo a la metodología del IDEAM en el protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua además de tener en cuenta los lineamientos de la NTC-ISO 5667-06.

Los parámetros fueron seleccionados basándose en el índice de calidad del agua en corrientes superficiales formulado por el IDEAM para el caso de 5 variables, de la siguiente manera:

Tabla 1.

Parámetros estudiados con su equipo o técnica y método de medición.

Parámetro	Técnica / Equipo	Medición	Límites de detección
Conductividad E	Multiparámetro	In situ	10us/cm a 2000ms/cm
Oxígeno Disuelto	Multiparámetro	In situ	0,00mg/l a 20,00mg/l
DQO	Medición de sustancias susceptibles a ser oxidadas	Ex situ	No aplica
Solidos suspendidos totales	Laboratorio	Ex situ	No aplica
pH	Medición de potenciales de hidrogeno con multiparámetro	In situ	0,00 a 14,00

Nota: Metodología para toma de datos de las 5 variables por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

5.1.3. Jornadas de muestreo.

La toma de datos in situ y la recolección de muestras simples para los datos ex situ se realizaron en 10 momentos para cada sector dentro de los meses de agosto y noviembre del 2019 en jornada de la mañana.

La toma de las muestras de los datos in situ se realizó por medio del equipo multiparámetro

WTW 3630 con los rangos de la

Tabla 1 (Peru, 2019). Para el caso de las muestras recolectadas estas fueron rotuladas y almacenadas a bajas temperaturas (4 °C) en una cava de icopor en donde fueron transportadas, siguiendo los lineamientos de la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-3. Para la DQO5 se utilizaron frascos de vidrio ámbar de 500 ml los cuales se purgaron con el agua del afluyente previamente a hacer la toma de la muestra, se realizó de 3 a 4 veces y para los sólidos suspendidos se utilizaron de frascos de plástico de 500 ml que fueron igualmente purgados antes de realizar la toma de la muestra.

5.1.4. Análisis en laboratorio.

Para la Obtención de DQO y el cálculo de solidos suspendidos se tuvo en cuenta la metodología que recomienda el IDEAM para la medición de los parámetros fisicoquímicos. (IDEAM, 2014)

En el caso del DQO se preservaron las muestras a bajas temperaturas, para la preparación del ácido sulfúrico se Agregó 1.0009g sulfato de plata (Ag_2SO_4), en polvo, a una cantidad de 100 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se transfirió cuidadosamente y se almaceno en el frasco ámbar debidamente rotulado y se dejó reposar a temperatura ambiente por una semana. Para la solución digestora se puso a secar a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 200 ml se disolvió 0.9826g del Dicromato de potasio anhidro, en 100 ml de agua desionizada filtrada, se adiciono muy lentamente 33.4 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se esperó a que se disolviera y se enfriara a temperatura ambiente. Para la medición por medio del espectrofotómetro en vial se adicionaron 3,5 ml de ácido sulfúrico con sulfato de plata, 1,5 ml de la solución digestora y 2,5 ml de la muestra para completar los 7.5 ml de volumen en cada vial. (IDEAM, 2007)

Para el cálculo de los sólidos suspendidos totales se realizó el secado del papel en una mufla para saber el peso en seco, de ahí se puso el papel en el filtro por vacío y se hace la adición de 100 ml de cada una de las muestras realizadas, luego se procede a volver a secar el papel durante un día a 75 °C y por último se procede a pesar el papel con ayuda de una balanza analítica. (IDEAM, 2007)

5.1.5. Cálculo del (ICA)

Se calculó el ICA para el caso de las 5 variables para cada uno de los sectores en cada muestra con sus respectivas ponderaciones como se observa en la Tabla 2 y con la siguiente formula:

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

Donde:

ICA_{njt} =Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables. (IDEAM, 2011)

W_i =Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad (IDEAM, 2011)

I_{ikjt} =Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t. (IDEAM, 2011)

n=Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione. (IDEAM, 2011).

Tabla 2.

Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables.

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto	% Saturación	0,2
Solido suspendidos	mg/l	0,2
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	0,2
Conductividad eléctrica	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Nota: Variables de estudio y su ponderación. Adaptado de (IDEAM, 2011).

Luego de tener el resultado del ICA se clasifico según la Tabla 3 donde se observó si el resultado de calidad es muy mala, mala, regular, aceptable o buena.

Tabla 3.

Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.

Categorías de valores que pueden tomar el indicador	Calificación de la calidad de agua	Señal de alerta
0,00 – 0,025	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Nota: Categorías de indicación de calidad de agua según ICA. Adaptado de (IDEAM, 2011).

5.1.6. Modelo espacial de calidad del agua de las tres zonas seleccionadas

A partir de los resultados obtenidos para ICA se realizó una distribución espacial en ArcGIS de los índices de calidad de agua obtenidos, identificando con una escala de color los valores de los índices obtenidos en cada sector.

5.2. Obtención y clasificación de macroinvertebrados bentónicos mediante el índice BMWP Col.

5.2.1. Colecta de macroinvertebrados.

Para la recolección de macroinvertebrados bentónicos se utilizó la red Surber, la cual permitió un muestreo cuantitativo. Se realizó en sustratos de aguas con corrientes poco profundas que por lo regular son las más productivas, el marco de la red se colocó sobre el fondo de la corriente y con las manos se removió el material del fondo, quedando así atrapadas las larvas en la red. Esta operación se repitió tres veces en cada sitio por visita, pudiéndose así, abarcar una mayor área de estudio. Luego de la toma del sustrato este se depositó primero en una bandeja blanca para que se

pudiesen observar mejor los organismos capturados posteriormente se almaceno el sustrato obtenido en bolsas ziploc con alcohol al 70%. (Roldán Pérez, 1996). Los organismos encontrados en la bandeja se almacenaron en recipientes plásticos rotulados y preservados en alcohol al 70%. (Valverde Legarda, Aguirre, & Caicedo Quintero, 2012).

5.2.2. Análisis de laboratorio.

Para la determinación y conteo de las familias encontradas de macroinvertebrados se observaron mediante un estereoscopio (Valverde Legarda, Aguirre, & Caicedo Quintero, 2012) y se identificaron con ayuda de los documentos como: macroinvertebrados acuáticos del río Orotoy realizado por la universidad de los llanos (Osorio Ramirez , Caro Caro, Oliveros Monroy, & Gutierrez Bohorquez, 2011), guía para el estudio de los macroinvertebrados del departamento de Antioquia realizado por Gabriel Roldan (Roldán Pérez, 1996) y la guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos de Alejandro Palma. (Palma, 2013).

5.2.3. Cálculo del índice BMWP Col.

Luego de identificar los macroinvertebrados en el laboratorio se halló el BMWP Col, se identificaron las familias encontradas y se prosiguió a organizarlas según el valor asignado por Roldan que se encuentra en la Tabla 4 con un puntaje de 1 a 10 donde 1 son las familias más tolerantes a la contaminación y 10 las más sensibles a la contaminación; la suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP Col. (Roldán Peréz, 2016)

Tabla 4.

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

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10

Continuación de la Tabla 4.







Familias	Puntajes
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, 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: *Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos. Adaptado de* (Roldán Pérez, 2016)

Luego de que realizó la clasificación de todos los individuos se procedió a la suma de los valores obtenidos para cada familia en cada uno de los puntos de muestreo este nos dio el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado y se clasificara según la Tabla 5. (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt, 2005)

Tabla 5.

Clasificación de las aguas y su significado ecológico mediante el índice BMWP.

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

Nota: Clasificación de aguas según su valor BMWP. *Adaptado de* (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt, 2005)

5.3. Fase III: Correlación entre los macroinvertebrados bentónicos y los índices de calidad del agua del río Caney.

5.3.1. Análisis de datos.

De acuerdo con la información obtenida se realizó análisis de componentes principales (ACP) mediante el software Rstudio donde se tuvieron en cuenta todos los resultados fisicoquímicos obtenidos y todos los resultados del ICA5 y BMWP de todos los muestreos realizados

6. Resultados y discusión

6.2. Familias de macroinvertebrados

En la Figura 2 se muestran ejemplares de las 27 familias identificadas en los sectores estudiados en esta investigación.



Figura 2. familias de macroinvertebrados identificados Por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

Se encontraron un total de 859 individuos de macroinvertebrados divididos en 27 familias en el total de los 30 muestreos realizados donde la familia que más se encontró fue la de Baetidae con un total de 709 individuos lo que equivale al 83% del total de familias como se observa en la Figura 3, la segunda familia que más se encontró con un 7% fue la de Leptophlebiidae con un total de 56 individuos.

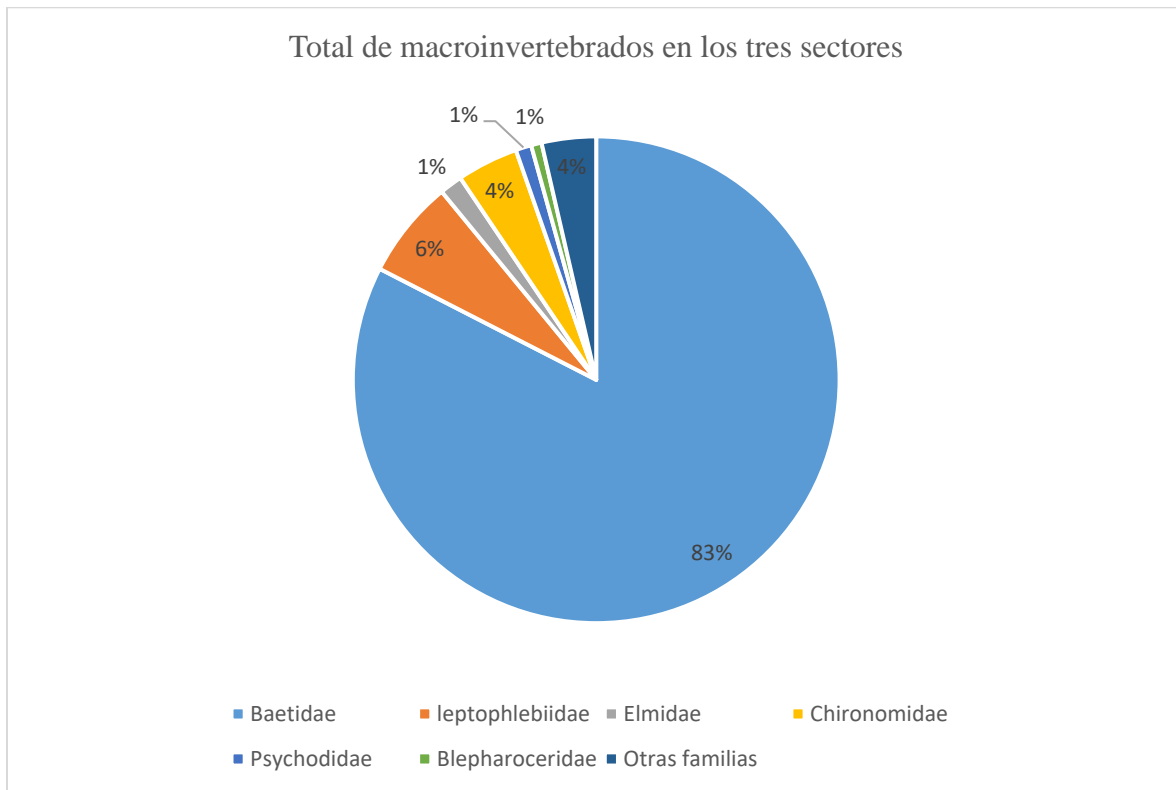


Figura 3. Número total de macroinvertebrados encontrados en los tres sectores en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

La gran cantidad de individuos de la familia Baetidae que se recolectaron puede deberse principalmente a que esta es una de las familias más abundantes de bioindicadores y debido a su gran riqueza, se encuentran en casi todos los cuerpos de agua dulce, especialmente en los loticos, y su recolección es sencilla debido a que estos se encuentran en las superficies de las rocas, en la arena o en el sedimento del suelo de los ríos, teniendo en cuenta su versatilidad de adaptarse a cambios sufridos en su entorno, esta familia tiene tolerancia a diferentes niveles de contaminación y temperatura en comparación con otras familias encontradas (Forero Céspedes, Gutiérrez, & Reinoso Flórez, 2014).

La familia Baetidae tiene presencia en la mayoría de ecosistemas de agua dulce, se agrupan en hábitats específicos dependiendo de las condiciones fisicoquímicas que se presenten en la zona, de esta forma es que algunos individuos se pueden encontrar en lugares corrientosos y con sustratos pedregosos. (Fernández & Domínguez, 2009) En este caso el río Caney es un río que cumple con estas dos condiciones principalmente en el punto 1(CA) donde su pendiente es más pronunciada, para los puntos 2 y 3 aunque disminuye la pendiente su corriente sigue siendo significativa y el sustrato sigue siendo pedregoso.

Para el punto 1 que se encontraba en la cuenca alta río Caney se identificaron en los 10 muestreos realizados un total de 283 individuos en 25 familias donde la familia que más se encontró fue la Baetidae con un total de 214 individuos lo que equivale al 76% del total de individuos encontrados en este punto como se observa en la Figura 4, la segunda familia que más se encontró en este punto fue la de Chironomidae con un total de 26 individuos lo que equivale al 9% de total los individuos encontrados en este punto.

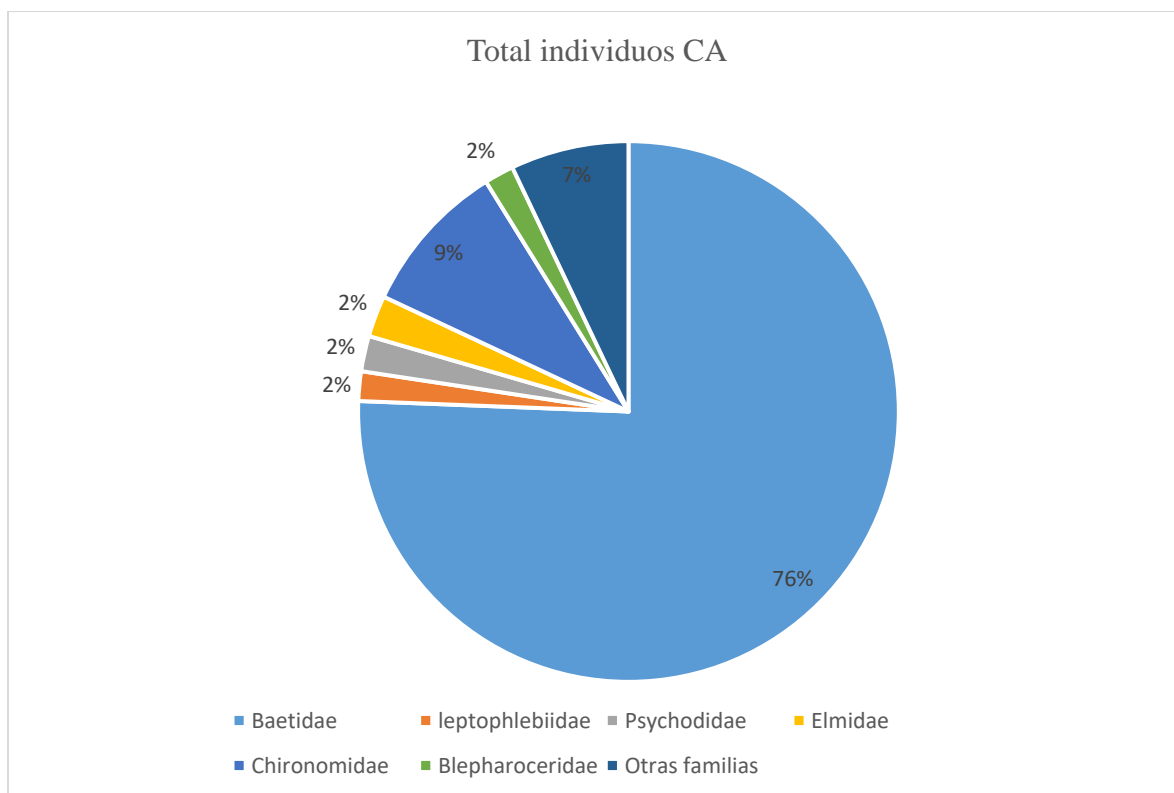


Figura 4. Número total de macroinvertebrados encontrados en el punto 1 ubicado en cuenca alta en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

Para este caso en la cuenca alta como en el resto de las cuencas sobresalió la presencia de la familia Baetidae, pero además de esta también se hallaron un número significativo de individuos de la familia Chironomidae, estos individuos son importantes en la cadena trófica ya que se alimentan de la materia orgánica particulada ya sea: restos de plantas, animales o algas, así como detritos y por contener altos niveles proteicos son buena fuente de nutrientes para peces, coleópteros y otros animales que se alimentan de ellos (Sotelo Casas, Cupul Magaña, & Rodríguez Troncoso, 2014).

En el Punto 2 que se encuentra en la cuenca media del recurso hídrico en los 10 muestreos realizados se encontraron un total de 298 individuos divididos en 7 familias, donde la familia que más se encontró fue la de Baetidae con un total de 257 individuos lo que equivale al 86% del total de individuos encontrados en este punto como se observa en la Figura 5, la segunda familia que más se encontró en este punto fue la de Leptophlebiidae con un total de 27 individuos lo que equivale al 9% de total de individuos encontrados en este punto.

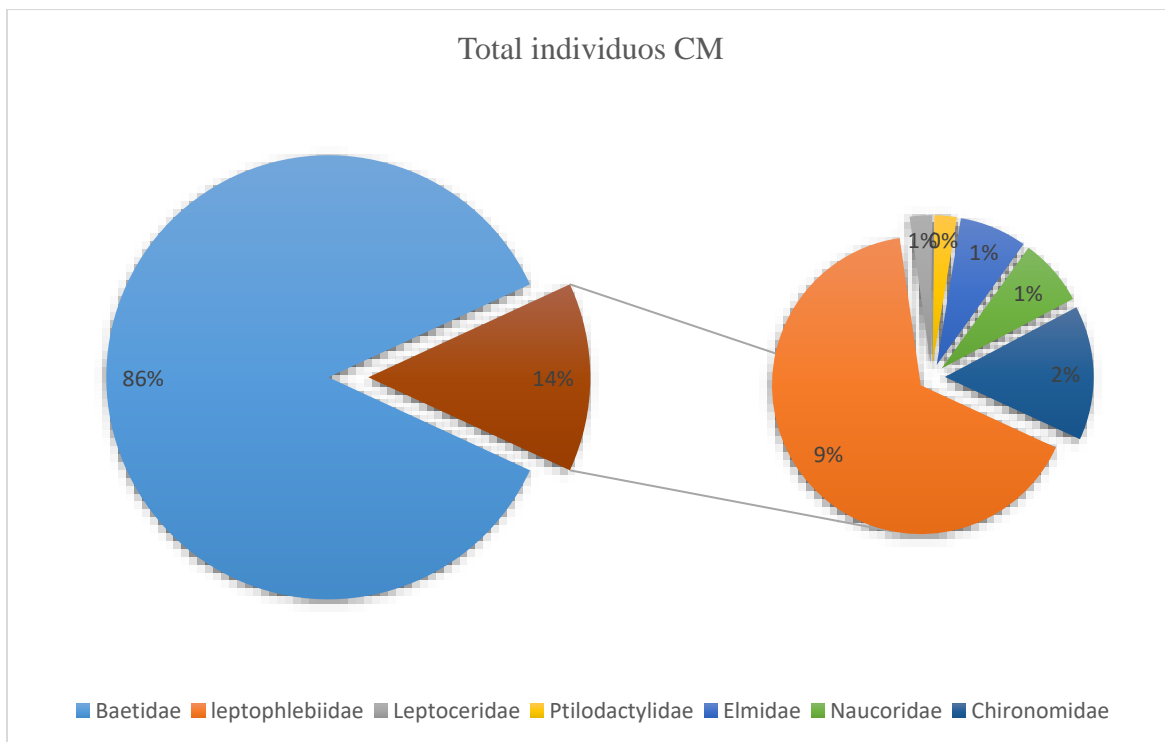


Figura 5. Número total de macroinvertebrados encontrados en el punto 2 ubicado en cuenca media en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

Para el punto 3 que se encuentra en la cuenca baja del recurso hídrico en los 10 muestreos realizados se encontraron un total de 278 individuos divididos en 11 familias, donde la familia que más se encontró fue la de Baetidae con un total de 238 individuos lo que equivale al 86% del total de individuos encontrados en este punto como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la segunda familia que más se encontró en este punto fue la de Leptophlebiidae con 24 individuos lo que equivale al 9% de individuos encontrados en esta zona.

Tanto en el punto de muestreo 2 como en el 3, es decir cuenca media y baja se halló una predominancia de la familia Leptophlebiidae, esto posiblemente es debido a que los individuos pertenecientes a esta familia se pueden encontrar en lugares como quebradas y/o ríos, y su presencia se asocia con una alta calidad de agua y está directamente relacionada con 2 variables que se deben de cumplir, que son el oxígeno disuelto y la temperatura, debido a que esta familia se encuentra en lugares con presencia moderada de oxígeno disuelto y en temperatura media, sin embargo en esta familia existen especies que pueden vivir en áreas con alta turbidez como puede ser este el caso (Bello, 2000).

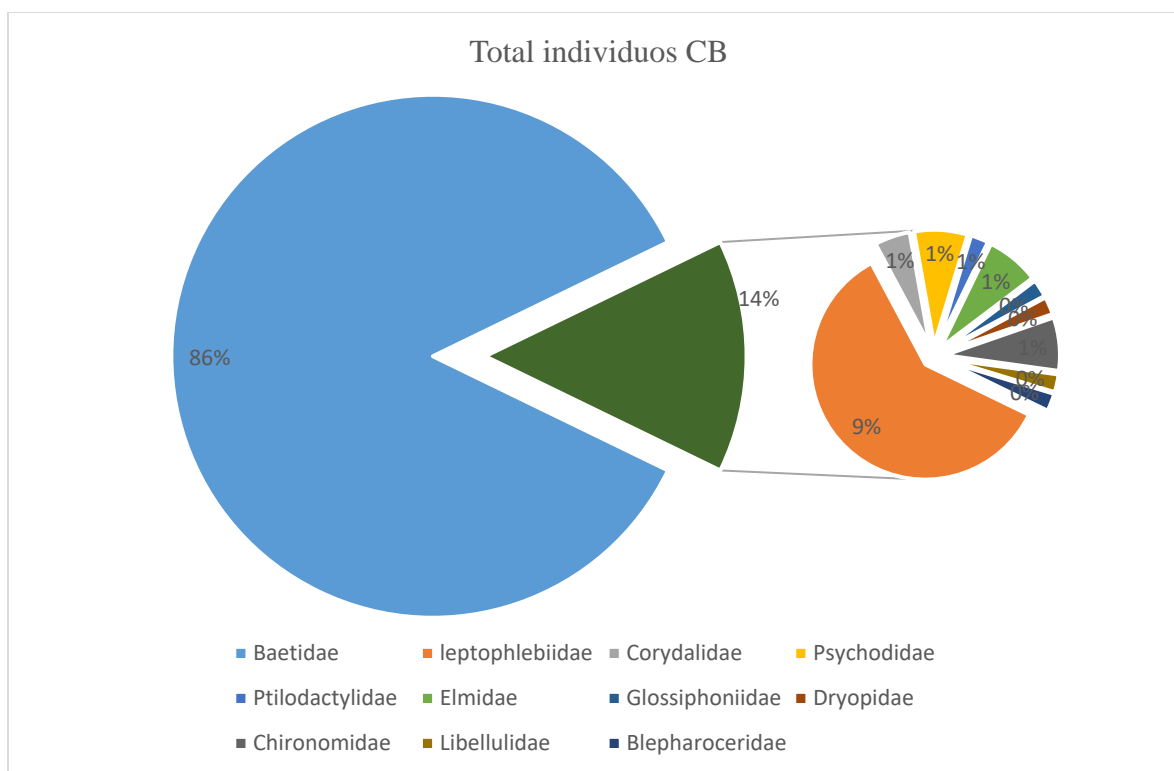


Figura 6. Número total de macroinvertebrados encontrados en el punto 3 ubicado en cuenca baja en el total de las muestras por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

6.3. Parámetros fisicoquímicos

Se presentan los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua en cada uno de los tres puntos como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6.

Resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos en el total de las muestras.

	Punto 1(CA)	Punto 2(CM)	Punto 3(CB)
Conductividad	33,56 μ S/cm	87,47 μ S/cm	93,36 μ S/cm
Temperatura	19,63 °C	24,78 °C	27,82 °C
Velocidad	1,116 m/s	1,401m/s	0,769 m/s
Oxígeno disuelto	8,623mg/l	7,835mg/l	7,68mg/l
pH	7,5119	7,6625	7,7502
solidos suspendidos	21,4mg/l	79,4mg/l	109,92mg/l
DQO	41,2 mgO ₂ /l	66,7 mgO ₂ /l	1217,3 mgO ₂ /l
Caudal	4,05 m ³ /s	4,63 m ³ /s	4,06 m ³ /s

Nota: Resultados de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de estudio por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

En la Tabla 7 se observa la desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos por punto donde podemos ver que tan dispersos se encuentran todos resultados encontrados en la cada visita, a medida que el valor sea mayor la dispersión también lo será.

Tabla 7.

Desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en cada uno de los puntos.

	Punto 1(CA)	Punto 2(CM)	Punto 3(CB)
Conductividad (Us/cm)	4,369	7,432	10,550
Temperatura(°C)	0,271	0,954	2,382
Velocidad (m/s)	0,125	0,289	0,104
Oxígeno disuelto(mg/l)	0,197	0,126	0,311
pH	0,133	0,119	0,199
solidos suspendidos	7,183	27,857	53,448

Continuación Tabla 7.

	Punto 1(CA)	Punto 2(CM)	Punto 3(CB)
DQO	2,299	2,750	2,311
Caudal(m3/s)	0,875	0,886	1,232

Nota: Desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

Los valores más altos de desviación estándar se presentaron en conductividad y en los sólidos suspendidos esto se pudo presentar debido a la condición en la que se podía encontrar el río al momento de la muestra, ya que en el punto 2 (CM) hay minería para la extracción de material lo que generaba que en ocasiones se realizaran desviación del cauce y aumentara la turbiedad de este.

En la Figura 7 se observan las gráficas de los distintos parámetros fisicoquímicos promedio en cada uno de los puntos donde se realizaron los muestreos.

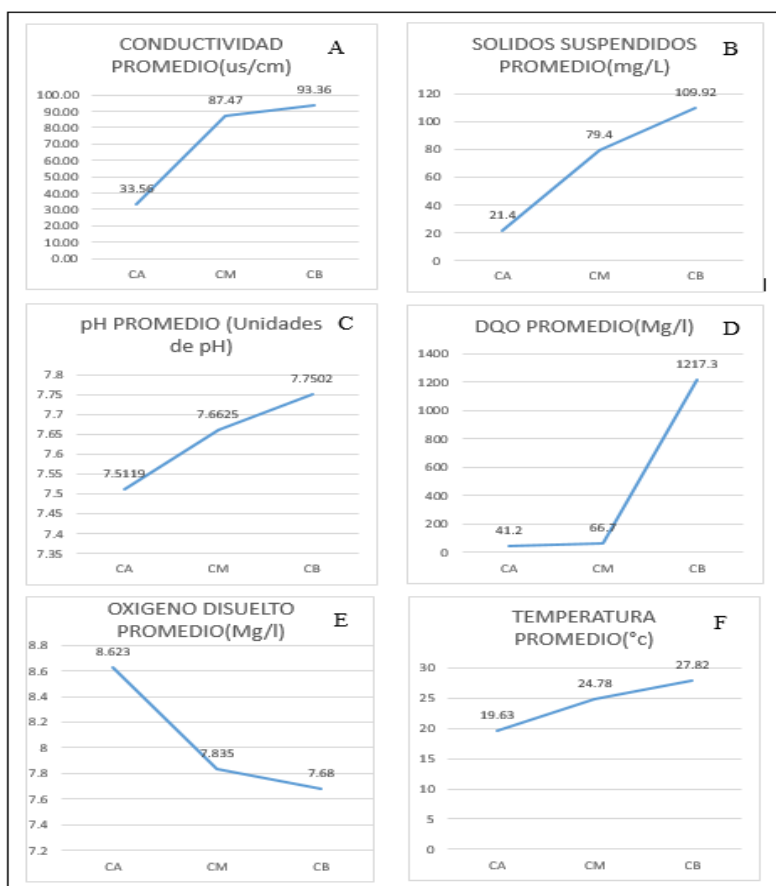


Figura 7. Gráficas de cambios de las variables fisicoquímicas del agua en los tres puntos de muestreo del Río Caney en Restrepo, Meta por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

En la Figura 7A se encuentra las variaciones de los datos promedio de conductividad en cada punto y estos están entre los rangos 33,58us/cm a 93,36us/cm, En la Figura 7B se encuentra las variaciones de los datos promedio de SST en cada punto y estos están entre los rangos 21,4 mg/l a 109,92mg/l, en la Figura 7C se encuentra las variaciones de los datos promedio de pH en cada punto y estos están entre los rangos 7,5119 a 7,7502, en la Figura 7D se encuentra las variaciones de los datos promedio de DQO en cada punto y estos están entre los rangos 41,2mg/l a 1217,3mg/l, en la Figura 7E se encuentra las variaciones de los datos promedio de oxígeno disuelto en cada punto y estos están entre los rangos 7,68mg/l a 8,623mg/l y por último en la Figura 7F se encuentra las variaciones de los datos promedio de temperatura en cada punto y estos están entre los rangos 19,63°C a 27,82°C.

Cada variable arrojó diferentes resultados en cada sector estudiado, inicialmente, la conductividad arrojó su valor más bajo en cuenca alta y va aumentando gradualmente en el trayecto del tramo de estudio, esto se debe a que la Conductividad Eléctrica hace referencia a los iones libres, lo que se puede traducir en que el río en los tramos medio y bajo, contiene mayor material en suspensión que está directamente relacionado con presencia de iones libres (Vives De Andrés, 2016).

En los puntos 2 y 3 se evidenció mayor actividad antrópica, que pueden ser mejor explicadas de la siguiente manera: a medida que el recurso hídrico va hacia su desembocadura al río Guatiquía, pasa por asentamientos en donde recibe carga orgánica, a esto se suma que entra en contacto directo con maquinaria pesada ya que en el sector de cuenca media se realiza extracción de material de arrastre y esto genera cambios bruscos y continuos en el cauce y en la orografía del sector, y al llega nuevamente al sector más bajo vuelve a encontrarse con asentamientos humanos y con ganadería, todo esto junto hace que se modifiquen las condiciones iniciales del agua y aumentan la conductividad eléctrica (Giraldo Gómez, 1995).

Para el punto 3 (cuenca baja) los Sólidos Suspendidos registraron un elevado nivel en comparación a los otros dos puntos muestreados y es que en esta zona la materia orgánica es mayor debido a que por esta pasa lo proveniente de los tramos anteriores. El pH por su parte se mantuvo en un promedio básico a lo largo de los tres tramos observados, y aunque no sea muy significativo tuvo variaciones de entre 7,5 y 7,7. Esto puede verse directamente relacionado al aumento de la temperatura, ya que al aumentar la temperatura las unidades de iones de hidrogeno se liberan generando el aumento de esta variable, que aunque parezca mínimo, esos son los cambios que

perciben y afectan a las poblaciones de bioindicadores, por eso es que su utilización en este tipo de investigaciones es tan efectivo (Saínz Menéndez, 2006).

El Oxígeno Disuelto (OD) según los resultados obtenidos fue mayor en cuenca alta y fue descendiendo gradualmente, esto puede deberse a que en las zona alta del rio ocurre un fenómeno conocido como re-aireación lo cual se define como el proceso en el cual el oxígeno presente en el aire se disuelve parcialmente en el agua, la forma más común en la que esto ocurre es a través de la turbulencia (Peña Pulla, 2007), además de esto también puede ser así mismo el oxígeno disuelto es dependiente de la temperatura ya que las aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno. Por esto, una descarga de agua caliente puede significar la disminución del oxígeno disuelto a niveles por debajo del límite necesario para algunas formas de vida. (Goyenola, 2007).

Otro aspecto importante que disminuye directamente la disponibilidad de Oxígeno Disuelto es la presencia de materia orgánica y compuestos químicos que requieren degradación, por tal motivo se determinó la demanda química de oxígeno (DQO) como la mayor causante de esta disminución de OD, el mayor resultado de DQO se obtuvo en el tramo de cuenca baja, sector en el que evidenció mayor presencia de materia orgánica debido a los aportes por vertimientos, extracciones de material y demás actividades antrópicas desarrolladas en los sectores antecesores.

6.4. Cálculo de ICA5 y BMWP Col

Para el cálculo del BMWP Col se siguió la metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt, 2005) y para el cálculo del ICA para cinco variables se siguió la metodología propuesta por el IDEAM. (IDEAM, 2011)

En la

Tabla 8 se observan los resultados de BMWP Col y ICA5 para los primeros cinco muestreos en cada uno de los puntos. Para los resultados de BMWP se observan valores subrayados con color amarillo (Dudosa), naranja (Crítica) y rojo (muy crítica); para los resultados de ICA se observan valores subrayados de color verde (Aceptable) y amarillo (Regular).

Tabla 8.

BMWP total e ICA5 de las muestras del 1 a la 5 en los tres puntos.

	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3			Muestreo 4			Muestreo 5		
	CA	CM	CB	CA	CM	CB	CA	CM	CB	CA	CM	CB	CA	CM	CB
BMWP	56	24	14	49	7	17	30	23	25	35	9	15	32	13	14
ICA5	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6
	7	7	1	3	5	0	2	4	0	1	3	0	2	1	1

Nota: Valores de BMWP total e ICA5 de los puntos 1 al 5 por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

En la Tabla 9 se observan los resultados de BMWP Col y ICA5 del muestreo 6 al muestreo 10 en cada uno de los puntos. En esta tabla se repiten los colores explicados anteriormente.

Tabla 9.

BMWP total e ICA de las muestras del 6 a la 10 en los tres puntos.

	Muestreo 6			Muestreo 7			Muestreo 8			Muestreo 9			Muestreo 10		
	CA	CM	CB	CA	CM	CB	CA	CM	CB	CA	CM	CB	CA	CM	CB
BMWP	21	25	19	50	9	22	53	24	16	7	33	16	15	22	26
ICA5	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6
	7	4	8	2	4	1	7	5	1	7	4	7	2	2	7

Nota: Valores de BMWP total e ICA5 de los puntos 6 al 10 por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

Se observa en la Figura 8, los valores de BMWP de cada uno de los puntos en las 10 jornadas de muestreo representados en sus respectivos rangos donde se observa que en general en los tres puntos de muestreo dio un BMWP bajo en todas las jornadas y solo en 4 ocasiones esta sube y se sitúa en contaminación dudosa y se presentan estas 4 veces en el punto 1 en cuenca alta.

Aunque se presente este resultado en el BMWP Col en los diez muestreos por los pocos individuos encontrados no significa que sea el estado real en que se encuentra el río ya que en estos puntos se encontraron familias en algunas ocasiones que tiene puntajes altos dentro de la Tabla 4 por ejemplo las familias Leptophebiidae o Baetidae con puntajes de 9 y 7, estas familias son muy

sensibles a la contaminación y no se encontrarían en aguas como la que nos muestra el resultado del BMWP Col.

Los resultados pudieron estar afectados por errores que se cometieron en la recolección o mediante la identificación de las familias debido a los equipos en el laboratorio y las técnicas de observación aplicadas, obteniendo conteos bajos o falta de identificación de individuos.

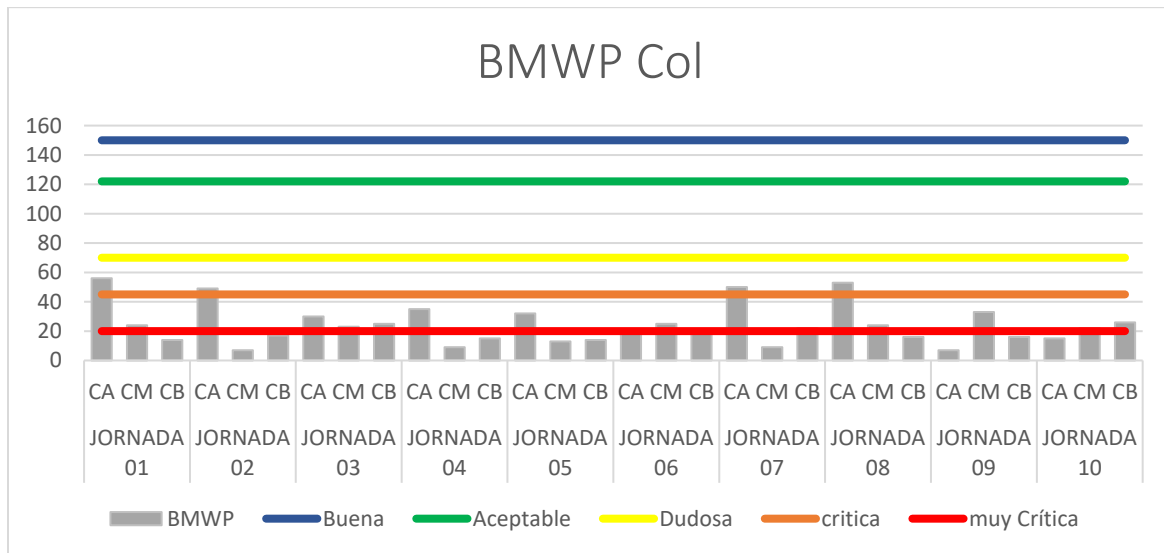


Figura 8. BMWP Col por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

Se observa que en la Figura 9, se encuentran los resultados del ICA5 para todos los puntos de muestreo en todas las jornadas. Los valores en este caso se encuentran en la parte alta del rango y solo en 4 ocasiones baja a contaminación regular la calidad de agua en estos puntos, estas 4 ocasiones que baja sucede en el punto 3 en cuenca baja.

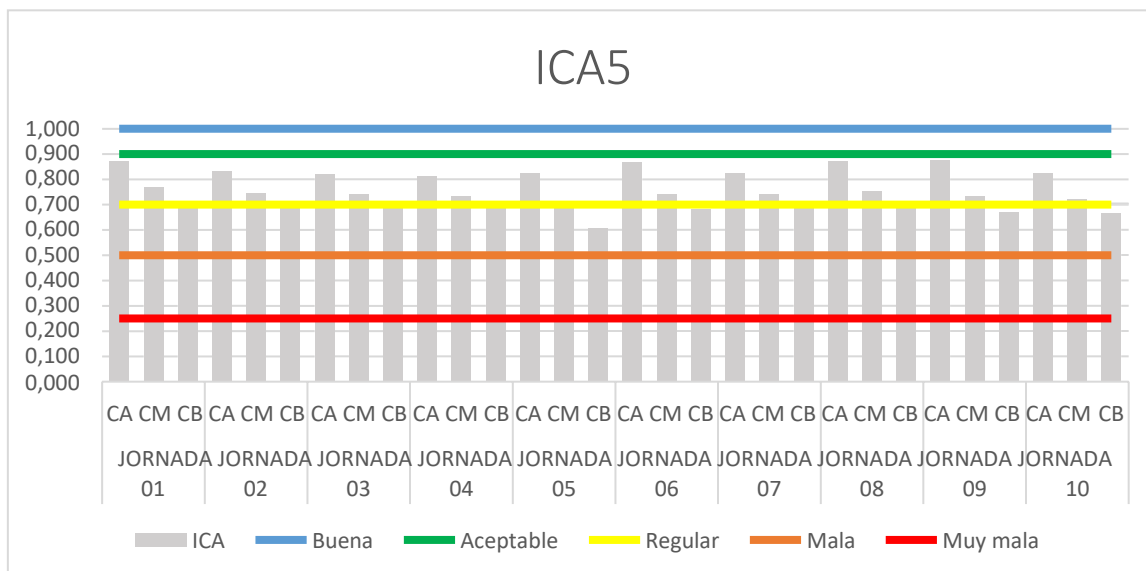


Figura 9. ICA5(Garcés, D., Pacheco L., 2020).

Se realizó el promedio de los resultados de BMWP e ICA5 para cada punto teniendo en cuenta las 10 jornadas donde resaltan que el BMWP dio en muy crítico para el punto 2 en cuenca media y el punto 3 en cuenca baja y crítico para cuenca alta y en el ICA5 dio en contaminación aceptable para los puntos 1 y 2 y para el punto 3 dio en contaminación regular. (

Tabla 10)

Las desviaciones estándar para los datos obtenidos para ICA dieron valores bajos debido a que su dispersión es mínima y este índice se trabaja en un rango de 0 a 1 por el contrario para el BMWP hubo una mayor dispersión de los valores obtenidos debido a que hubo muestreos donde se encontraron muy pocos individuos lo que aumento la dispersión de estos y su rango es mucho mayor ya que va de 0 a 150.

Tabla 10.

Ica promedio y BMWP de los tres puntos muestreados.

	CUENCA ALTA	CUENCA MEDIA	CUENCA BAJA
ICA PROM	0,84	0,74	0,69
Desviación estándar	0.026	0.019	0.031
BMWP PROM	34,8	18,9	18,4
Desviación estándar	16.995	12.419	4.452

Nota: ICA promedio y BMWP por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

El BMWP Col promedio quedo muy bajo dentro de su rango, el valor más alto se presentó en el punto 1 en cuenca alta y la línea de tendencia muestra que va descendiendo. El ICA5 promedio nos muestra que también su línea de tendencia va descendiendo, pero al contrario del BMWP Col esta se encuentra en la parte alta de su rango teniendo su punto máximo en el punto 1 en cuenca alta y su punto mínimo en el punto 3 en cuenca baja, cabe aclarar que este índice permite determinar la calidad del agua en el momento de la muestra, y algunas variables no permanentes pueden tener incidencia en estos resultados, a diferencia del índice BMWP Col.

Mediante el software ArcMap de ArcGIS se representa espacialmente el resultado del ICA5 en el Rio Caney de Restrepo Meta en cada uno de sus puntos como se puede observar en la Figura 10 donde se observa que para el punto 1 y el punto 2 tienen calidad aceptable (color verde) y para el punto 3 tiene una calidad regular (color amarillo).

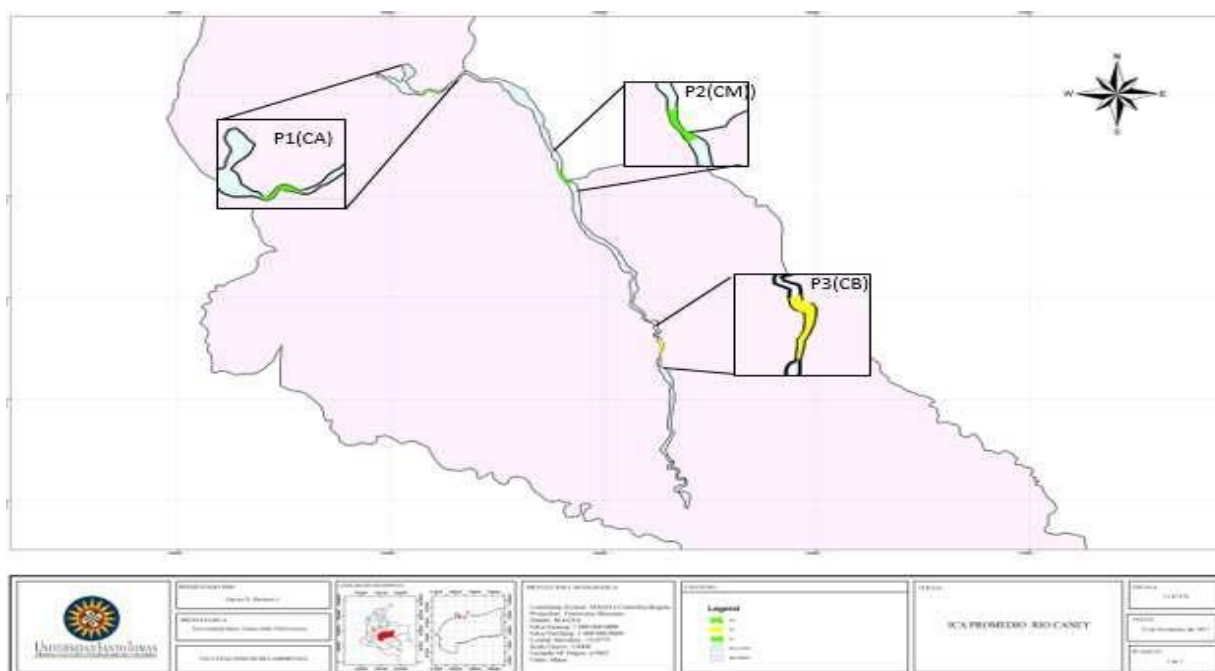


Figura 10. Representación espacial del ICA5 mediante software ArcMap de ArcGIS por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

En la 10, se puede observar la representación espacial del resultado de BMWP Col promedio de cada uno de sus puntos mediante e software de ArcMap de ArcGIS donde se puede ver que para

el punto 1 tiene una calidad crítica (color naranja) y para los puntos 2 y el punto 3 tiene una calidad muy crítica (color rojo).

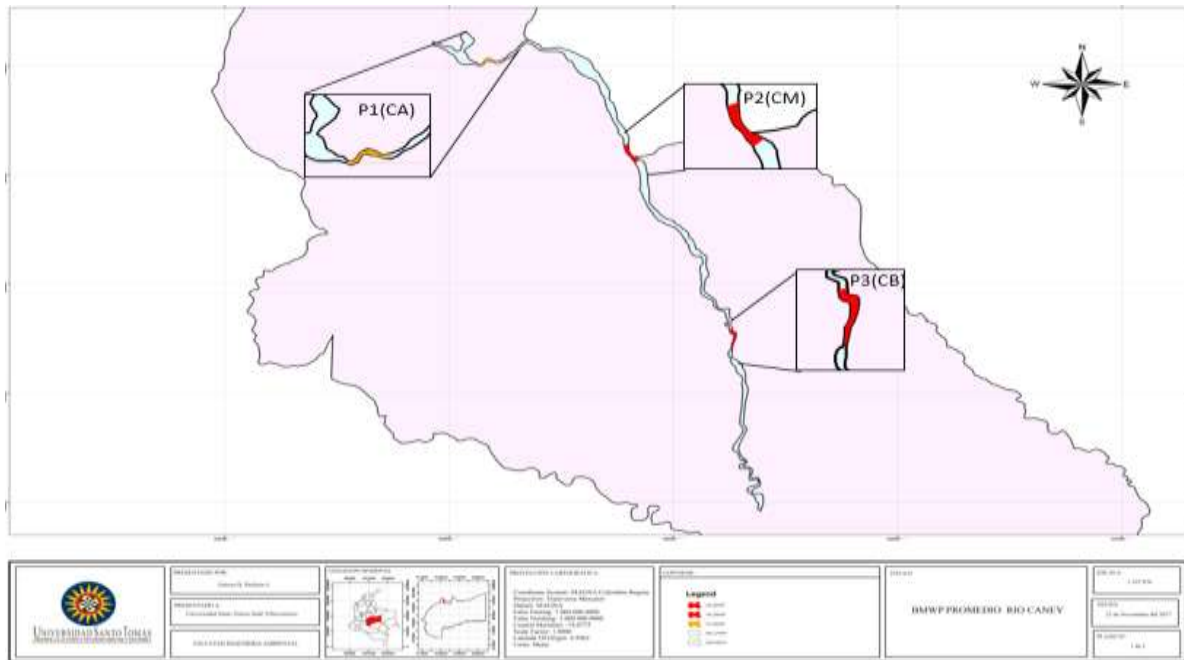


Figura 11. Representación espacial del BMWP Col mediante el Software ArcMap de ArcGis por (Garcés, D., Pacheco L., 2020)

6.5. Análisis estadístico de ACP

El Análisis de componentes principales se realizó mediante el software Restudio en donde se tuvo en cuenta todos los parámetros fisicoquímicos y los resultados de BMWP e ICA para cada punto en las 10 jornadas de muestreo en la Figura 12, se observa el círculo de correlación de todas las variables nombradas con anterioridad.

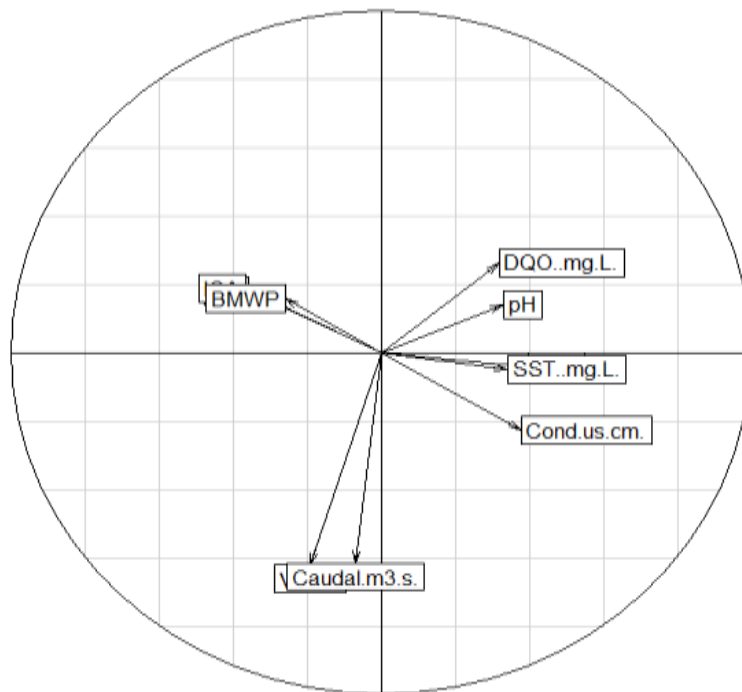


Figura 12. Círculo de correlación de ACP por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

En el círculo de correlación de análisis de componentes principales podemos observar todas las variables que se trabajaron en la investigación, donde observamos que el ICA y el BMWP Col tienen una correlación directa debido a que se superponen una sobre otra, esto nos da como base que los valores que se presentaron en estos dos índices tienen gran relación y concordancia entre ellos y que ambos métodos sirven para determinar la calidad y el estado en el que se encuentra un río, también observamos que el oxígeno disuelto tiene una correlación alta y directa con estos dos índices lo que nos da a entender que este parámetro fisicoquímico es un gran indicador de la calidad en la que se encuentra el río y que en el momento que este parámetro fisicoquímico disminuya o aumente afectara directamente los índices tanto del ICA y el BMWP Col incluso al estar directamente relacionados este parámetro fisicoquímico podría ser indicador para determinar en qué condición se encuentra un recurso hídrico, como estrategia de monitoreo básico de la calidad del agua.

Dentro de este círculo de correlación también podemos observar que si los sólidos suspendidos totales, la conductividad y la temperatura llegaran a aumentar en algún momento generarían una disminución tanto del índice ICA, el BMWP Col y el oxígeno disuelto debido a que se encuentran en el cuadrante contrario a estos índices (círculo de correlaciones) presentando

una correlación inversa con estos; lo que sería totalmente cierto ya que claramente al aumentar algunos de estos parámetros la calidad de agua disminuiría y como se explicó anteriormente el oxígeno disuelto depende directamente tanto de la temperatura como de los sólidos suspendidos totales, que a su vez se correlacionan de una manera directa con la conductividad debido a que entre mayor sea la cantidad de minerales aumentara la conductividad.

Además, dentro de este círculo observamos que en el momento que la velocidad y el caudal aumenten la DQO y el pH disminuyen esto posiblemente debido a efectos de la dilución y el aumento de procesos de aireación por efectos de la turbulencia. La DQO y el pH se ven con una correlación directa debido a que un valor elevado de la demanda química de oxígeno hace referencia a que hay una cantidad considerable de materia orgánica presente en el cuerpo hídrico, lo cual cambia las características del agua y de esta manera el pH. (Bernal García, Martínez María-Dolores, & Sánchez García, 2003).

En la Figura 13, se pueden observar la semejanza entre las muestras tomadas en las 10 jornadas y su dispersión, donde CA es el punto 1, CM es el punto 2 y CB es el punto 3.

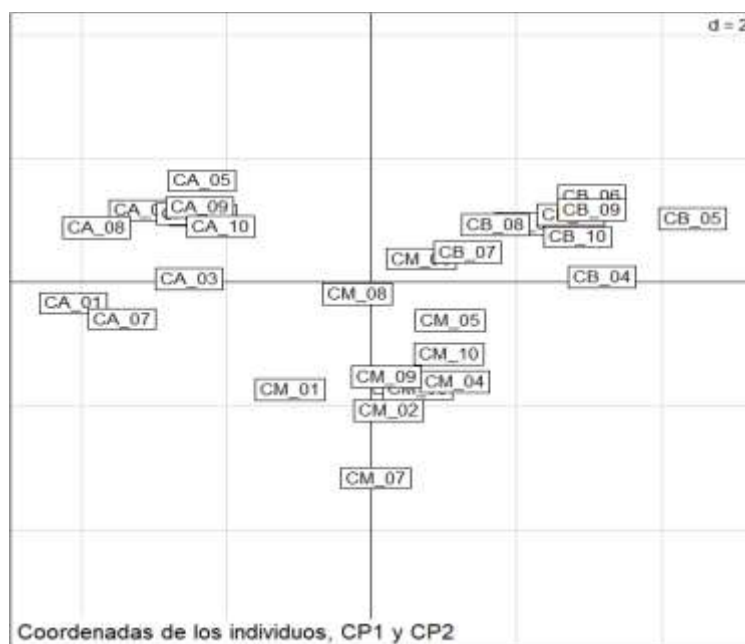


Figura 13. Coordenadas de los individuos de los tres puntos por (Garcés, D., Pacheco L., 2020).

Para este gráfico podemos analizar que cada una de las cuencas tiene una caracterización diferente y es por esto que cada una está organizada en un cuadrante distinto, y el motivo por el

cual cuenca media no está ni en el cuadrante de cuenca alta, ni en el de cuenca baja es porque esta cuenca tiene similitudes con ambas cuencas, siendo un tramo de transición, entre un sector de buena calidad (Punto 1) y un sector de calidad regular (Punto 3).

Este plano principal del ACP permite verificar que las muestras tomadas en cada uno de los sectores tienen similitudes entre sí, según su ubicación, obteniendo tres agrupaciones de muestras debido a sus características fisicoquímicas. Sin embargo, las muestras de los puntos 2 y 3, presentan mayor similitud entre ellas, que con las muestras obtenidas en el punto 1.

7. Conclusiones y recomendaciones

A pesar de que en los tres puntos muestreados dentro del río Caney se encontraron gran cantidad de individuos de macroinvertebrados con un total de 283 para el punto 1, 298 para el punto 2 y 278 para el punto 3, esto no influyó en gran medida en los resultados obtenidos para el BMWP Col ya que la mayoría de los individuos pertenece a la familia Baetidae; la elevada corriente y el sustrato pedregoso presente en los puntos seleccionados dentro del río pudieron influir a que se presentara este resultado. Si se tuviera en cuenta la cantidad de individuos totales solamente sin tomar en consideración las familias el punto que presentaría el mayor índice de calidad sería donde se presentó el mayor número de individuos.

A partir de los resultados obtenidos se puede inferir como primera medida que el sector ubicado en cuenca alta (Punto 1) presenta el mejor estado de calidad del agua entre los tres sectores analizados, obteniendo presencia de familias de macroinvertebrados con puntajes que indican baja tolerancia a la contaminación según el índice BMWPCol, como es el caso de la familia Hidridae, Gomphidae, Ptilodactylidae y Blepharoceridae con puntaje de 10 y Letophebiidae con un puntaje de 9 para el BMWP Col.

Por su parte los puntos 2 y 3 (cuenca media y cuenca baja) presentaron un estado de calidad similar entre ellos, tanto para el ICA como para el índice BMWPCol, sin embargo, cabe resaltar que el ICA es un indicador de calidad para el estado del agua en el instante de monitoreo, a diferencia del BMWP Col que por las características de hábitat de los macroinvertebrados identificados podría dar indicios de la calidad en una temporalidad mayor, siendo esto evidencia de actividades extractivas de material de arrastre (grava) que posiblemente han modificado las condiciones del ecosistema en estos dos puntos.

Sin embargo, se recomienda que para profundizar y mejorar estos resultados referentes al BMWPCol, se logre una identificación taxonómica más detallada de los macroinvertebrados, así como mayor control en el manejo y procesamiento de muestras, debido a que posiblemente en este tratamiento se presentaron pérdidas de material que podrían contener macroinvertebrados indicadores de calidad del agua. Así mismo, la selección del punto de muestreo y la inclusión de otras variables externas (entorno) podrían mejorar el análisis de los resultados obtenidos.

Pese a la diferencia obtenida entre ambos índices tanto ICA como BMWP ambos coinciden en que tienen la misma línea de tendencia entre los tres puntos muestreados donde en ambos casos se puede evidenciar que la calidad del recurso va disminuyendo a medida que este se va acercando a su desembocadura en el río Guatiquía, donde los valores más altos del índice se presentan en el punto 1 que se encuentra en la cuenca alta y los valores más bajos en el punto 3 que se encuentra en la cuenca baja del río Caney.

El resultado del ICA promedio obtenido para el punto 3 dio calidad regular debido principalmente a los grandes valores obtenidos de DQO en este punto lo que ayudaron a que su puntaje en este índice no diera de un valor mayor, de esta manera pudimos concluir que debido a las afectaciones antrópicas que tiene este recurso en la parte alta y media por las distintas veredas con las cuales colinda disminuyen su calidad en esta parte del río en cuenca baja.

En el análisis de componentes principales mediante el círculo de correlación reporta que hay una relación directa entre los valores obtenidos de ICA, BMWP y oxígeno disuelto, además de esto se observa que tienen un ángulo casi mínimo inclusive casi se superponen lo que nos dicen que estos resultados tienen una gran correlación según este análisis debido a la similitud que existe en el comportamiento de estas variables, además se puede sacar de este círculo que el parámetro fisicoquímico de oxígeno disuelto puede ser un gran indicador de las condiciones en que se encuentra el río e inclusive con este parámetro conocer si la calidad del agua del río es buena o mala.

Finalmente se obtuvo que el río Caney en los tres puntos que se seleccionaron estratégicamente en cuenca alta, cuenca media y cuenca baja presentaron por medio de índice de calidad del agua para 5 variables del IDEAM que es un río en donde a pesar que se presenta una afectación en cuenca baja donde la calidad disminuye, en general es un río que se encuentra en una buena condición respecto a su calidad.

Aunque los resultados obtenidos por medio biológico (BMWP) no coinciden en su totalidad con la condición en la que se puede encontrar el río, estos no tienen que ser descartados ya que presentaron familias que son muy sensibles a la contaminación, lo que podría indicar que el río no está en una situación crítica y por el contrario se encuentra en una buena condición. Para mejorar los resultados obtenidos por BMWP Col se podrían mejorar las metodologías de recolección o identificación.

Con esta investigación se pretende sentar un precedente de información sobre este río que es tan importante para los municipios del departamento del Meta Restrepo y de Cumaral del cual se tiene muy poca información. Además, de ser usado como base para futuras investigaciones en donde se puedan disminuir los errores cometidos en el proceso de selección del punto de muestreo, recolección e identificación de macroinvertebrados, además de ayudar a

Bibliografía

- Auge, M. (2007). *Agua fuente de vida*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>
- Bello, C. L. (2000). *Descripción taxonómica de las ninfas de seis géneros de la familia Leptophlebiidae (Insecta; Ephemeroptera) del Caño Paso del Diablo, Región Carbonífera del Guasare (Edo. Zulia)*. Tesis de grado. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/download/9038/9028>
- Bernal García, J. J., Martínez María-Dolores, S. M., & Sánchez García, J. F. (2003). *Modelización de los factores más importantes que caracterizan un sitio en la red*. https://www.um.es/asepuma04/resumen/resumen_bernal_martinez_sanchez.pdf
- Carrera Reyes, C., & Fierro Peralbo, K. (2001). Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Quito: ecociencia. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>
- Carrera, Carlos; Fierro, Karol. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito: ecociencia. <https://ecociencia.org/manual-de-monitoreo-los-macroinvertebrados-acuaticos-como-indicadores-de-la-calidad-del-agua/>
- Carvacho Aránguiz, C. A. (2012). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multiparamétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del limari en Chile. Universidad de Barcelona. <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-las-comunidades-de-macroinvertebrados-y-Ar%C3%A1nguiz-Alejandra/56cde026dbc9e2c56b83a61eff5ee690454ae918>
- Castaño, Y., & Quintana Cruz, L. (2016). Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada el tabor en el municipio de San Carlos - Antioquia. Antioquia. <http://190.217.58.250/jspui/bitstream/tda/312/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20C.pdf>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). *Indicadores de la calidad del agua:*

- evolución y tendencias a nivel global*. Ingeniería solidaria.
<https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/811/770/>
- Embid Irujo, A., & Ganzon Pachon, M. (2016). *Reflexiones sobre el derecho de aguas en Colombia*. U. Externado de Colombia.
<https://medioambiente.uexternado.edu.co/reflexiones-sobre-el-derecho-de-aguas-en-colombia/>
- Fernández, H., & Domínguez, E. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. Tucumán.
https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_benticos_Sudamericanos_Sistematica_y_Biologia
- Forero Céspedes, A. M., Gutiérrez, C., & Reinoso Flórez, G. (2014). *Nuevos registros de baetidae (ephemeroptera: insecta) para Colombia y el departamento del Tolima*. Ibagué: Universidad del Tolima, Ibagué.
https://www.researchgate.net/publication/306314140_NUEVOS_REGISTROS_DE_BAETIDAE_EPHEMEROPTERA_INSECTA_PARA_COLOMBIA_Y_EL_DEPARTAMENTO_DEL_TOLIMA
- García Bermúdez, J. (2015). Informe Nacional De Calidad Del Agua Para Consumo Humano INCA 2015. Bogotá.
https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-2015_reducido.pdf
- Gil Gómez, J. A. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del río Garagoa. Manizales: Facultad de ciencias contables económicas y administrativas maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente.
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1803/tesisJAGG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Giraldo Gómez, G. I. (1995). Manual de análisis de aguas. Manizales : universidad nacional de Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/50540/>
- González Meléndez, V., Caicedo Quintero, O., & Aguirre Ramirez, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP-Col. Antioquia: Universidad de Antioquia. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169427489003.pdf>
- Goyenola, G. (2007). Guía para la utilización de las Valijas Viajeras .

- http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/3-planificacion.pdf
- Gutiérrez, J. D. (2004). Bioindicación de la calidad de agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39358>
- IDEAM. (2007). Demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetria . Bogota.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- IDEAM. (2007). Sólidos suspendidos totales en agua secados A 103 – 105 °c. Bogota.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf
- IDEAM. (2011). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Bogota.
http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/363.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031
- IDEAM. (2014). *Metodologías de analisis*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/metodos-analiticos>
- Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Bogota.
<http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>
- Ladrera, R. (2012). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos* . <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4015812.pdf>
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
https://www.researchgate.net/publication/265965601_Macroinvertebrados_acuaticos_como_indicadores_biologicos_una_herramineta_didactica
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodríguez, C. M., & Sánchez Delgado, A. R. (2013). *Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba*

- (Argentina). Universidade Federal do Ceará.
<https://www.scielo.br/pdf/rca/v44n3/a02v44n3.pdf>
- Merritt, R., & Cummins, K. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Colorado: Kendall Hunt Publishing.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532010000200032
- Meza, A. M., Días, L., & Walteros, J. (2012). *Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río chinchiná*.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39163>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *El cuidado del agua*. Bogotá: Moreno
- Rodríguez, F., Caro Caro, C. I., Pinilla, G. A., & Osorio, D. P. (2017). Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos departamento del meta, colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v22n3/0120-548X-abc-22-03-00274.pdf>
- OMS. (2006). *Agua, saneamiento y salud: enfermedades relacionadas con el agua*.
https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/
- ONU. (2010). La calidad del agua en el mundo está cada vez más amenazada.
<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Oscoz, J., Campos, F., & Escala, M. (2006). *Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas*. Madrid: Universidad Europea Miguel de Cervantes.
http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne25/L25b683_Macroinvertebrados_bentonicos_calidad_agua.pdf
- Osorio Ramirez, D., Caro Caro, C., Oliveros Monroy, A., & Gutierrez Bohorquez, L. (2011). *Macroinvertebrados acuáticos del río Orotoy*. Villavicencio.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6131079>
- Palma, A. (2013). *Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos*. Santiago.
https://www.researchgate.net/publication/318970118_GUIA_PARA_LA_IDENTIFICACION_DE_MACROINVERTEBRADOS_ACUATICOS_DE_CHILE
- Patiño Pescador, G. A. (2015). *Evaluación de la calidad del agua por medio de Bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada vieja*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4724/1/Pati%C3%B1oPescadorGinaAlejandra2015.pdf>
- Peña Pulla, E. (2007). Calidad de agua trabajo de investigación oxígeno disuelto. Guayaquil. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Peru, O. (Octubre de 2019). Equipo Multiparámetro Portátil 3630 WTW. Perú. <https://www.oz-peru.com/analizador-de-la-calidad-del-agua-multiparametro-portatil-3630-wtw/>
- Pineda, J., & Quiroz, G. (2015). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados y estimación de la calidad de agua de las lagunas de chingaza, del medio y el arnical en el parque natural chingaza. Bogotá. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/626/2015juanpineda.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Robayo Alvarez, C. A. (2016). Plan de desarrollo municipal. Restrepo. https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Plan_de Desarrallo Restrepo_2016-2019.pdf
- Rojo Nieto, E., & Montoto, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. Ecologistas en Acción. <https://spip.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>
- Roldán Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Medellín: Universidad de Antioquia. <http://www.ianas.org/docs/books/wbp13.pdf>
- Roldán Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/335/0>
- Roldán Pérez, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica*. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf>
- Rosenberg, D., & Resh, V. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York. <https://www.springer.com/gp/book/9780412022517>
- Sáinz Menéndez, B. (2006). Alteraciones del equilibrio ácido básico. Habana. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74932006000100011
- Sánchez Herrera, M. J. (2005). *El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working*

Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. Pamplona: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. <https://www.redalyc.org/pdf/903/90330207.pdf>

- Sanchez, O. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Mexico: S y G Editores, S.A. de C.V. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Sotelo Casas, R. C., Cupul Magaña, A. L., & Rodríguez Troncoso, A. P. (2014). *Primer registro del género Clunio (Diptera: Chironomidae) asociado a las comunidades coralinas de islas Marietas, México*. Guadalajara. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314707298>
- Universidad Politécnica de Cartagena. (2012). *Análisis de aguas*. Cartagena.
- Valverde Legarda, N. L., Aguirre, N., & Caicedo Quintero, O. (2012). *Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos*. <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/541>
- Villegas Jiménez, N. E. (Diciembre de 2011). *Formulación del plan de ordenamiento del recurso hídrico*. Villavicencio, Colombia: Cormacarena. <http://www.cormacarena.gov.co/descargarpdf.php?libro=2134>
- Vives De Andrés, J. B. (2016). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Invemar. <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf>
- Yépez Rosado, Á., Yépez Yanez, Á. B., Urdánigo Zambrano, J. P., Morales Cabezas, D. C., Guerrero Chuez, N. M., & tayhing, C. C. (2017). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador*. Quevedo: Universidad Técnica estatal de Quevedo. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6261804>