# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHISACÁ EN LA LOCALIDAD DE USME MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EMPLEANDO EL ÍNDICE BMWP/COL Y EL ÍNDICE ASPT

LEIDY NATALIA MORENO GUTIÉRREZ
IVONNE JULIETTE ALZATE GAMBOA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

BOGOTÁ DC

2021

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHISACÁ EN LA LOCALIDAD DE USME MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EMPLEANDO EL ÍNDICE BMWP/COL Y EL ÍNDICE ASPT

LEIDY NATALIA MORENO GUTIÉRREZ
COD: 20172085049
IVONNE JULIETTE ALZATE GAMBOA
COD: 20162085027

Director
DIEGO TOMAS CORRADINE MORA

Trabajo de grado en modalidad de investigación, presentado como requisito parcial para optar por el título de Tecnólogas en Saneamiento Ambiental

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

BOGOTÁ DC

2021

Hoja de aprobación

_____

_____

_____

_____

_____

DIEGO TOMAS CORRADINE MORA
Director

_____

RAUL GIOVANNI BOGOTA ANGEL
Jurado

BOGOTA DC (2021)

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a todo su cuerpo de docentes, empleados y compañeros que estuvieron presentes dentro de este proceso de formación, aportándonos sus enseñanzas, y compartiendo sus conocimientos. Así como también por todos los insumos, laboratorios y espacios para desarrollar y emplear los conocimientos adquiridos.

A nuestro director de trabajo de grado el docente Diego Tomás Corradine Mora, por todo su acompañamiento y apoyo para desarrollar cada etapa de este proyecto.

A la Auxiliar de laboratorio Juliette Cruz González por su acompañamiento, ayuda en la etapa de muestreos y etapa de laboratorio.

Al docente de Jhon Fredy López de SIG y AUTOCAD de la facultad FAMARENA por su asesoría para poder realizar los respectivos mapas.

Al docente Jayerth Guerra de Química y Calidad del agua por su disposición a brindarnos asesoría.

A Dios y nuestras familias por el apoyo brindado, en los medios, el amor y recursos suficientes para poder desarrollar la carrera.

## RESUMEN

Los Macroinvertebrados acuáticos son individuos que se pueden observar a simple vista o son retenidos por una red malla de aproximadamente 125$\mu m$ , siendo su uso de gran importancia para la evaluación de la calidad de cuerpos hídricos. En este trabajo se evalúa la calidad del agua por medio de macroinvertebrados acuáticos que funcionan como bioindicadores, en tres puntos del trayecto del río Chisacá durante dos épocas del año, temporada seca y temporada de lluvias. Para la toma de muestras de macroinvertebrados se utilizó la red Surber, adicionalmente se midieron parámetros fisicoquímicos In situ (pH, temperatura, conductividad, sólidos sedimentables y se realizaron pruebas de fosfatos y nitratos); en la fase de laboratorio se llevó a cabo la separación de muestras y conteo e identificación de familias. Posteriormente se realizó el cálculo de los índices BMWP/Col, el índice ASPT, y los índices de Diversidad alfa-índice de Margalef y Diversidad beta-índice de Jaccard. Se determinó que la calidad del agua del río Chisacá en temporada seca se encuentra en nivel aceptable (aguas ligeramente contaminadas) y en temporada de lluvias se encuentra en nivel dudoso (aguas moderadamente contaminadas), obteniendo un total de 4608 individuos pertenecientes a 14 familias diferentes, siendo la familia Simuliidae la más abundante en ambas temporadas con un total de 3443 individuos. En este trabajo se pudo determinar que la calidad del agua del río chisacá no se encuentra en condiciones muy graves de contaminación, lo que la hace ideal para posteriormente ser tratada y luego distribuida como agua para consumo humano.


**Palabras Claves:** Macroinvertebrados, Bioindicadores, Calidad del agua, parámetros fisicoquímicos.

## SUMMARY

Aquatic Macroinvertebrates are individuals that can be observed with the naked eye or are retained by a mesh network of approximately 125µm, their use being of great importance for evaluating the quality of water bodies. In this work, water quality is evaluated by means of aquatic macroinvertebrates that function as bioindicators, at three points along the Chisacá River during two times of the year, the dry season and the rainy season. For macroinvertebrate sampling, the Surber network was used, additionally physicochemical parameters were measured in situ (pH, temperature, conductivity, sedimentable solids, and phosphate and nitrate tests were carried out); In the laboratory phase, the separation of samples and counting and identification of species were carried out. Subsequently, the calculation of the BMWP / Col indices, the ASPT index, and the Diversity alpha-Margalef index and Diversity beta-Jaccard index were performed. It was determined that the water quality of the Chisacá River in the dry season is at an acceptable level (slightly polluted water) and in the rainy season it is at a doubtful level (moderately polluted water), obtaining a total of 4608 individuals belonging to 14 different families. , being the Simuliidae family the most abundant in both seasons with a total of 3443 individuals. In this work it was determined that the quality of the water of the Chisacá River is not in very serious conditions of contamination, which makes it ideal for later being treated and then distributed as water for human consumption.


**Key Words:** Macroinvertebrates, Bioindicators, Water quality, physicochemical parameters.

**CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN ..... 13

2. JUSTIFICACIÓN ..... 15

3. OBJETIVOS ..... 17

3.1 Objetivo general ..... 17
3.2 Objetivos específicos ..... 17

4. MARCO REFERENCIAL ..... 18

4.1 Marco de antecedentes ..... 18
4.2 Marco conceptual ..... 19
4.2.1 Bioindicadores de Calidad del Agua ..... 19
4.2.2 Macroinvertebrados acuáticos ..... 21
4.2.3 BMWP ..... 24
4.2.4 ASPT ..... 26
4.2.5 Índices de Biodiversidad ..... 26
4.2.6 Parámetros Fisicoquímicos ..... 28
4.3 Marco Geográfico ..... 33
4.4 Marco hidrológico ..... 35

5 METODOLOGÍA ..... 36

5.1 Etapa de Campo ..... 36
..... 38
5.2 Etapa de laboratorio ..... 39
5.3 Etapa de evaluación ..... 40

6 RESULTADOS ..... 41

6.1 Bioindicadores ..... 41
6.2 Índices de biodiversidad ..... 52

6.3 Parámetros fisicoquímicos ..... 53

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..... 56

7.3 Caracterización de familias de macroinvertebrados encontradas en el Rio Chisacá ... 56
7.4 Índices de Calidad del Agua ..... 61
7.5 Índices de Biodiversidad ..... 63
7.6 Parámetros Fisicoquímicos ..... 63

8 CONCLUSIONES ..... 70

9 RECOMENDACIONES ..... 72

10 BIBLIOGRAFÍA ..... 73

11 ANEXOS ..... 82

11.3 Anexo 1. Muestreo con Red Surber ..... 82
11.4 Anexo 2. Multiparámetros LEYBOLD- 524 005/MOBILE CASSY 2 ..... 82
11.5 Anexo 3. Cono Imhoff ..... 83
11.6 .Anexo 4. Rótulo para trabajo en campo ..... 83
11.7 Anexo 5. Puntos de muestreo ..... 84

# INDICE DE TABLAS

1. Tabla Nº1.Puntajes para familias método BMWP Adaptado para Colombia (BMWP/Col).....25
2. Tabla Nº2.Interpretación de Resultados Obtenidos con las Familias del Método BMWP Adaptado Para Colombia (BMWP/Col).....25
3. Tabla Nº3. Resultados muestreo 1 (Época seca- Diciembre 2020).....41
4. Tabla Nº4. Resultados muestreo 2 (Época lluvia- Febrero 2021) ..... 42
5. Tabla Nº5.Puntaje BMWP/Col individual para familias encontradas en época seca.....48
6. Tabla Nº6.Puntaje BMWP/Col individual para familias encontradas en época lluvia.....49
7. Tabla Nº7.Resultados BMWP/Col y ASPT para temporada seca.....49
8. Tabla Nº8. Resultados BMWP/Col y ASPT para temporada lluvia .....49
9. Tabla Nº9.índice de Jaccard.....52

## INDICE DE FIGURAS

1. FIGURA N°1.Mapa Puntos de Muestreo, Hidrografía Usme……..... 29
2. FIGURA N°2. Etapa de Campo……...……... 38
3. FIGURA N°3. Red Surber…….……..…….…….39
4. FIGURA N°4. Etapa de laboratorio……..40
5. FIGURA N°5. Familia Hyalellidae……..……..…….42
6. FIGURA N°6. Familia Planariidae...……..……..…….42
7. FIGURA N°7. Familia Ancylidae.....……..……..…….43
8. FIGURA N°8. Familia Baetidae.....……..……..…….43
9. FIGURA N°9. Familia Simuliidae- Larva……..……..…….43
10. FIGURA N°10.Familia Simuliidae- Pupa……..……..…….43
11. FIGURA N°11. Familia Philopotamidae……..……..……..…….44
12. FIGURA N°12. Familia Glossiphoniidae……..……..……..…….44
13. FIGURA N°13. Familia Muscidae…….……..…….44
14. FIGURA N°14. Familia Tubificidae……..……..……..……..…….44
15. FIGURA N°15. Familia Staphylinidae...……..……..……..…….45
16. FIGURA N°16. Familia Oniscidae….....……..……..……..…….45
17. FIGURA N°17. Familia Planorbidae.....……..……..……..…….45
18. FIGURA N°18. Familia Lumbriculidae…...……..……..……..…….45
19. FIGURA N°19. Familia Aeshnidae….....……..……..……..…….46
20. FIGURA N°20. Gráfica Individuos Encontrados en Época seca y Época Lluvia……..46
21. FIGURA N°21. Gráfica porcentaje de Familias de macroinvertebrados encontrados en el Río Chisacá durante la época seca- Diciembre 2020…..……..47
22. FIGURA N°22. Gráfica porcentaje de Familias de Macroinvertebrados encontrados en el Río Chisacá durante la época lluvia- Febrero 2021……..47

23. FIGURA N°23. Gráfica porcentaje total de Familias de Macroinvertebrados durante época lluvia y época seca..……...……48
24. FIGURA N°24. Mapa resultado BMWP/Col para temporada seca..……..……...50
25. FIGURA N°25. Mapa resultado BMWP/Col para temporada lluvia..……..……...51
26. FIGURA N°26. Dendrograma Índice de Jaccard en temporada seca.……..……52
27. FIGURA N°27. Dendrograma Índice de Jaccard en temporada lluvia……..……52
28. FIGURA N°28. Gráfico comparativo Sólidos Sedimentables de Época Seca y Época Lluvia…….....…….……..…….....53
29. FIGURA N°29. Gráfico comparativo Temperatura Agua de Época Seca y Época Lluvia…….....…….……..…..……53
30. FIGURA N°30. Gráfico comparativo o Conductividad de Época Seca y Época Lluvia…….....…….……..…..……54
31. FIGURA N°31. Gráfico comparativo pH de Época Seca y Época Lluvia……...54
32. FIGURA N°32. Gráfico comparativo Nitratos (NO3-) de Época Seca y Época Lluvia…….....…….……..…..……55
33. FIGURA N°33. Gráfico comparativo Fosfatos ($PO_4^{3-}$) de Época Seca y Época Lluvia...55

## LISTA DE ABREVIATURAS

ASPT: Average Score Per Taxon (Puntaje promedio por taxon)

BMWP: Biological Monitoring Working Party

BMWP/COL: Biological Monitoring Working Party (Adaptado para Colombia)

IDEXUD: Instituto de Extensión de la Universidad Distrital

M.O: Materia Orgánica

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable

POT: Plan de ordenamiento territorial

## LISTA DE UNIDADES

μm: Micrómetros

*mm*: Milímetros

*mL/l:* Mililitros por litro

*km:* Kilómetros

mg/L: Miligramos por litro

ppm: Partes por millón

kg/ha: Kilogramos por hectárea

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del  mar

# 1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los cuerpos hídricos se ve afectada frecuentemente por diferentes tipos de vertimientos, los cuales pueden ser domiciliarios o industriales; también se ve afectada por actividades agrícolas y ganaderas desarrolladas en rondas cercanas al recurso, las cuales pueden ser significantes aportadoras de agroquímicos, y materia orgánica que afectan la calidad del recurso.

En Colombia normalmente la valoración de la calidad del agua se realiza a través de métodos fisicoquímicos y algunos microbiológicos (Roldán, 2003). Estos métodos se llevan a cabo en la medición de parámetros como pH, conductividad, sólidos sedimentables, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, demanda química de oxígeno, sólidos disueltos totales, coliformes totales, coliformes fecales y demás; algunos de los parámetros mencionados anteriormente fueron evaluados en el presente trabajo.

En numerosos estudios se ha realizado una evaluación de la calidad del agua por medio de métodos biológicos, que se consideran relativamente rápidos y de bajo costo (Roldán, 2003), lo que los hace idóneos para el monitoreo general de las cuencas hidrográficas. Según Gamboa et al. (2008), los macroinvertebrados son uno de los grupos de organismos acuáticos más utilizados para el monitoreo biológico. Así mismo, Álvarez (2005) habla de los macroinvertebrados como los mejores bioindicadores de la calidad del agua seguido por las algas, los protozoos, las bacterias, y en un grado no tan relevante los peces, las macrófitas, los hongos y los virus; argumentando que se consideran los mejores por factores como su abundancia, amplia distribución, y su visibilidad.

Por otro lado la predominancia de los macroinvertebrados acuáticos se refleja en el sedentarismo, lo cual permite que revelen las condiciones locales, y su ciclo de vida largo permite identificar cualquier alteración en abundancia y diversidad. Previamente Roldán (2003), mencionó que países como Bélgica, Francia, Gran Bretaña, Italia, entre otros, han acogido

sistemas basados en las evaluaciones rápidas de los ecosistemas mediante la clasificación de orden, familia y en ciertos casos como Alemania género, esto, gracias a el nivel de conocimiento que se tiene sobre los Macroinvertebrados acuáticos en cuanto a su distribución y los factores que permiten su crecimiento.

Para poder realizar un biomonitoreo utilizando los Macroinvertebrados acuáticos, es necesario realizar muestreos del cuerpo hídrico utilizando los métodos que se encuentran ya definidos dependiendo del tipo de sustrato que se encuentra en el río y su profundidad. Posteriormente es necesario aplicar claves taxonómicas, que permitan identificar los individuos encontrados hasta el nivel de familia para poder así, aplicar índices como el Biological Monitoring Working Party (BMWP) adaptado para Colombia. El BMWP/COL es explicado por Álvarez (2005), como un método que consiste en estimar la calidad de un ecosistema acuático, a partir de la identificación hasta el nivel de familia de los individuos que se encuentran en este; funciona mediante la asignación de un puntaje que va de 1 a 10 dependiendo de su tolerancia a la contaminación hídrica, de modo que las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad de las aguas en que habitan.

El río Chisacá, se encuentra en la ciudad de Bogotá D.C, más específicamente en la localidad de Usme; según Vargas (2014) este hace parte de la cuenca alta del río Tunjuelo y su importancia radica en que junto al río Curubital es tributario del embalse La Regadera, de donde posteriormente sale el agua para la planta de tratamiento El Dorado, que suple de agua potable al sur de la ciudad. Por esta razón se busca evaluar la calidad del agua por medio de la utilización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, y la medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ, ya que el conflicto de sobreutilización de suelos constante en esta zona, caracterizado por las prácticas agrícolas puede estar generando una afectación a la calidad del recurso hídrico.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El Río Chisacá es un importante cuerpo hídrico, ya que tributa al embalse de La Regadera, de donde posteriormente el agua es tratada para consumo humano en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) El Dorado para abastecer a habitantes del sur de Bogotá. La cuenca alta del Río Chisacá según lo reportado en los mapas presentados por la Alcaldía Local de Usme (2017), no cuenta con conflictos de uso de suelos; no obstante, el tramo de su recorrido comprendido entre el Embalse de Chisacá y el Embalse de La Regadera, se encuentra caracterizado por conflictos de sobreutilización de suelos, que se manifiestan con asentamientos humanos en esta zona de reserva.

Como menciona Vargas et al. (2013), el brote del rio está relacionado con un complejo de lagunas de origen glacial en el Parque Nacional Sumapaz, donde inicialmente su recorrido está caracterizado por vida paramuna y andina en ecosistemas de páramo, subpáramo y bosque altoandino. Vargas et al. (2013), señala además que la vegetación en la zona de páramo se encuentra conservada por estar en área de protección, mientras que los bosques ribereños del subpáramo y alto andino, se encuentran altamente degradados a medida que baja, siendo incluso reemplazados en algunas zonas por cultivos, pastizales, y especies invasoras. Esto se puede apreciar en el tramo que comprende el Embalse Chisacá y el Embalse de La Regadera donde se ve en zonas ribereñas la predominancia de ganadería en pequeña escala para actividades lecheras y agricultura de papa, papa criolla y arveja; esto ocasiona contaminación por agroquímicos los cuales Orta (2002), indica que dejan como consecuencia ecológica, desde pequeñas afectaciones, hasta grandes daños ecológicos, con repercusiones en las aves, los peces y mamíferos, e incluso sobre la salud humana, ya que la utilización de algunos plaguicidas puede ocasionar lixiviados que llegan a las aguas subterráneas, contaminando pozos de agua de consumo humano; por otro lado, se pueden generar afectaciones en la salud debido al consumo de pescado contaminado, pues se sabe que en las zonas más bajas del río hay trucheras.

De igual manera, los aportes de materia fecal provenientes de la actividad ganadera inciden directamente en la parte de la salud pública, ya que como señalan LeJeune & Wetzel (2007); el consumo de agua contaminada puede ocasionar enfermedades que pueden desarrollarse a través de bacterias patógenas, como la *Escherichia coli* que causa diarrea y gases abdominales; así mismo Miner et al. (2000), indica que la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre puede ser reducida por los altos contenidos de nitratos, lo cual es comúnmente llamado metahemoglobinemia.

Por lo anterior, se busca realizar un biomonitoreo, aprovechando que este método permite tener una noción del pasado y presente de la calidad del cuerpo hídrico, ya que el uso de macroinvertebrados acuáticos y la aplicación de algunos índices permite tener una visión histórica del estado y eventos de toxicidad puntuales de este, como indica Springer (2010). Esto se realizará mediante el análisis de la presencia de las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos que se encuentran en el lugar, para la aplicación de índices como el Biological Monitoring Working Party Adaptado para Colombia (BMWP/Col), Puntaje promedio por taxón (ASPT) e índices de biodiversidad, Diversidad alfa-índice de Margalef y Diversidad beta-índice de Jaccard; los dos últimos para determinar la riqueza de familias y analizar el cambio o reemplazo de estas en cada punto de muestreo respectivamente (Moreno, 2001)

Simultáneamente, el muestreo biológico será apoyado con la medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ como pH, conductividad, temperatura, sólidos sedimentables, nitratos y fosfatos; y así mismo correlacionar la incidencia de las diferentes actividades antrópicas, de las que se tiene registro con la calidad del recurso hídrico. De esta forma se busca confirmar si hay incidencias de las actividades humanas en riberas del rio Chisacá y su gravedad, para posteriormente determinar si es necesaria alguna intervención para su mejoramiento, y de esta manera ayudar a las entidades distritales a mejorar los proyectos de conservación y protección del recurso hídrico.

# 3. OBJETIVOS

## 3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua, por medio de macroinvertebrados acuáticos que funcionan como bioindicadores en distintos puntos del trayecto del río Chisacá, en dos diferentes temporadas del año.

## 3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la calidad del agua del río Chisacá, por medio de la identificación y clasificación de los macroinvertebrados acuáticos presentes tanto en temporada seca como en temporada lluvia.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos in situ tales como pH, temperatura, conductividad, sólidos sedimentables, fosfatos y nitratos en temporada seca y temporada lluvia.
- Aplicar los índices BMWP/Col y ASPT y los índices de biodiversidad Diversidad alfa-índice de Margalef y Diversidad beta-índice de Jaccard.
- Asociar y analizar los resultados biológicos con los parámetros fisicoquímicos, comparándolos con la respectiva normativa para uso de agua cruda.

# 4. MARCO REFERENCIAL

## 4.1 Marco de antecedentes

Según Álvarez (2005), el surgimiento de la relación entre algunas especies con el nivel de calidad del agua se remonta a la actividad académica de autores como Kolenati y Cohn a mediados del siglo XIX. Posteriormente Kolkwitz & Marsson a inicios del siglo XX, plantearon el sistema saprobio para Alemania, el cual se basó en la materia orgánica de cada medio para la clasificación de organismos del medio acuático como indicadores; y de este ha partido la gran mayoría de índices utilizados en la actualidad, algunos en materia de sistemas saprobios como el ya mencionado anteriormente, y otros como índices bióticos, los cuales tienen su base en la puntuación de especies o grupos según su tolerancia a los contaminantes del medio.

Más adelante, la propuesta de los macroinvertebrados como bioindicadores de corrientes se dio con Gaufin y Tarzwell a mediados del siglo XX, cuando estudiaron los cambios ambientales estacionales en jornada diurna en un arroyo contaminado con desechos caracterizados por agotar el oxígeno, y relacionaron las composiciones tanto cualitativas como cuantitativas del grupo de organismos acuáticos identificados, con las condiciones ambientales encontradas en el arroyo. También se sentaron precedentes importantes respecto a la diversidad de especies con Shannon & Weaver y Margalef a mediados del siglo XX, y demás autores basándose en teorías de la información y análisis matemáticos, que establecen que habrá mayor entendimiento de un suceso entre más información se tenga acerca de este según lo expuesto en la investigación de Álvarez (2005).

En Inglaterra, en 1970 se estableció el Biological Monitoring Working Party (BMWP). Este método fue utilizado en diferentes países del mundo debido a que es un método sencillo y rápido comparado con otros métodos antes empleados para determinar la calidad del agua; sin embargo, se le realizaban diferentes adaptaciones dependiendo del lugar en donde se iba a

emplear, por ejemplo, Zamora & Tercedor a finales del siglo XX, realizaron una adaptación del índice para España como lo expuso Roldán (2016).

En Colombia una gran variedad de autores ha utilizado este índice incluyendo a Roldán quien en 2003 estableció una versión del índice para Colombia denominado BMWP/Col. Este índice ha sido empleado en diferentes investigaciones publicadas en revistas académicas con trabajos como el de Chávez et al. (2020) en el Río Ranchería, el de Madera et al. (2016) en el río Cesar, el de González et al. (2012) en quebradas abastecedoras de Manizales y Meza et.al (2012) en el río Chinchiná; quienes emplearon el método BMWP, y en algunos casos índices de biodiversidad, como los índices alfa y beta; los cuales permitirán, correlacionar eventos de toxicidad puntuales con la disminución de la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos (tanto en los puntos de muestreo, como en la comunidad en general de cada muestreo) y la calidad del agua del río.

## 4.2 Marco conceptual

### 4.2.1 Bioindicadores de Calidad del Agua

Lanza et al. (2000) y González et al. (2014) hablan de la importancia de los métodos biológicos tanto para la interpretación, como para el manejo del recurso hídrico, dadas sus ventajas. Estas se manifiestan en su ubicación espacio temporal, y la duración de su vida, permitiendo observar las condiciones pasadas y actuales; otras ventajas son los bajos costos si se requiere un monitoreo permanente, y el poder detectar concentraciones bajas de contaminantes a las que son expuestos los organismos, que de ser medidas con parámetros fisicoquímicos se necesitarían tecnologías de alta sensibilidad y costos, mientras que la observación de la conducta de los bioindicadores permite detectarlas ; sin embargo, también expone que la información brindada, no reemplaza los muestreos de los parámetros fisicoquímicos, asociándola con el constante crecimiento de la población y los procesos de industrialización,

los cuales generan aumento en las concentraciones de contaminantes que conducen a un declive en la calidad del recurso.

(Heink & Kowarik, 2010, citado por Gonzáles et al. 2014) Define los bioindicadores como:

> Aquellas especies que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente. (p.25)

Por otro lado, Álvarez (2005) explica que los bioindicadores permiten revelar cambios producidos en un cuerpo hídrico a lo largo del tiempo; lo anterior se da debido a que los organismos vivos muestran adaptaciones evolutivas a unas explícitas condiciones ambientales y poseen límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas, lo cual ocasiona una visión histórica de lo que ha ocurrido en un período de tiempo, en función de la dinámica de las comunidades biológicas presentes.

Los macroinvertebrados son uno de los grupos de organismos acuáticos más utilizados para el monitoreo biológico. Así mismo, Álvarez (2005) y Gamboa et al. (2008) hablan de los macroinvertebrados como los mejores bioindicadores de la calidad del agua seguido por las algas, los protozoos, las bacterias, y en un grado no tan relevante los peces, las macrófitas, los hongos y los virus; argumentando que se consideran los mejores por factores como su abundancia, amplia distribución, y su visibilidad. Además, su predominancia se refleja en el sedentarismo, lo cual permite que revelen las condiciones locales; su ciclo de vida largo permite identificar cualquier alteración en abundancia y diversidad, y por último sus métodos de muestreo no demandan equipos.

### 4.2.2 Macroinvertebrados acuáticos

Los invertebrados están definidos como el grupo de animales más abundante y diverso dentro de ambientes dulceacuícolas; los ambientes de agua dulce comparados con el ambiente marino acogen menos filos de animales, ya que existen filos exclusivamente marinos. Los macroinvertebrados son aquellos que se pueden observar a simple vista o son retenidos por una red malla de aproximadamente $125\mu m$. Así mismo, se pueden definir de forma más precisa basándose en su taxonomía (Hanson et al., 2010).

Hanson et al. (2010) indica además, que este grupo posee representantes en numerosos filos de animales como lo son Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. No obstante, varios miembros de los filos mencionados anteriormente son microscópicos; por lo cual, son considerados parte de la meiofauna (microcrustáceos y micromoluscos, muchos anélidos y nemátodos, entre otros).

Los macroinvertebrados que viven en aguas dulces tienen muchas adaptaciones, incluyendo relevantes variaciones en sus ciclos de vida, ya que algunos macroinvertebrados pasan parte o casi toda su vida en el agua. Algunos ejemplos se pueden encontrar en la mayoría de escarabajos, moluscos, sanguijuelas, crustáceos y planarias; sin embargo, los órdenes de algunos insectos como Odonata, Megaloptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Díptera y Lepidoptera tienen su etapa adulta en tierra (Hanson et al., 2010).

#### 4.2.2.1 Hábitat y locomoción

Los hábitat de los macroinvertebrados se pueden clasificar en dos grupos de ambientes dulceacuícolas. Los ambientes dulceacuícolas se dividen generalmente en lóticos (aguas con corriente) en los cuales se encuentran los ríos y quebradas; y lénticos (aguas sin corriente) en los cuales se encuentran los lagos, lagunas, y pantanos. Los ríos que poseen aguas limpias y bien oxigenadas, son los ecosistemas de agua dulce que hospedan la mayor diversidad de macroinvertebrados; los ambientes lénticos comparados con los lóticos tienen en general menos diversidad de microhábitats (Hanson et al.2010).

Respecto a su locomoción, Hanson et al. (2010) explica que los que se mueven en la superficie del agua son denominados neuston, los que se quedan suspendidos en la columna del agua son denominados plancton y los que nadan frecuentemente son denominados necton. Los grupos mencionados anteriormente no viven generalmente en aguas con corriente, si no que pueden ser muy abundantes en lagos y lagunas. La mayoría de los que habitan en ambientes acuáticos dulces, viven sobre sustratos, como en el fondo (bentos) o en los tallos de las plantas acuáticas, madera, rocas, entre otros.

#### 4.2.2.2 Alimentación

Algunos macroinvertebrados se pueden alimentar de plantas acuáticas, restos de otras plantas, peces y algas; por otro lado, los macroinvertebrados pequeños se alimentan de restos de comida en descomposición, elementos nutritivos del suelo, animales en descomposición, elementos nutritivos del agua, y sangre de otros animales (Carrera & Fierro, 2001).

Los macroinvertebrados herbívoros tienen diferentes formas de alimentación; algunos se alimentan de plantas vasculares acuáticas o algas filamentosas. Generalmente los llamados fragmentadores o de desmenuzadores toman pedazos mayores a 1mm de tejido vegetal; también pueden alimentarse externamente o internamente como excavadores de tallos y hojas,

como algunos de la familia Chironomidae; o pueden alimentarse de raíces que se encuentran enterradas en los sedimentos como algunos de la familia Curculionidae. Otros macroinvertebrados pueden ser raspadores, los cuales se alimentan de algas y microbios adheridos a rocas u otros sustratos, como por ejemplo las familias Heptageniidae, glossosomatidae y caracoles.

Su alimentación puede ser también carnívora, incluyendo diferentes categorías como los depredadores, los parasitoides y los parásitos; los depredadores en su mayoría mastican la presa; sin embargo, algunos chinches, larvas de coleópteros (Gyrinidae y Dytriscidae), ninfas y adultos ácaros inyectan a su presa enzimas y luego succionan su contenido; por otro lado, están los parasitoides que pese a ser un grupo pequeño en los ecosistemas acuáticos, se caracterizan por vivir en una asociación íntima con una especie hospedadora en la que siempre termina matándolo. Siguiente a esto se encuentran los parásitos que coinciden en tener una asociación íntima con el hospedero, pero estos generalmente no lo matan.

También están los detrivoros, los cuales se caracterizan por alimentarse de materia orgánica muerta y se dividen en dos grupos llamados fragmentadores, y filtradores; los fragmentadores se alimentan de pedazos mayores a 1 mm de hojas en descomposición o fragmentos de madera, esta dieta también se caracteriza por la presencia de microorganismos como hongos y bacterias que aumentan los valores nutricionales de la materia orgánica que consumen; los filtradores incluyen las especies que poseen estructuras especiales en su cuerpo como cepillos bucales o redes de seda que utilizan para filtrar partículas finas de agua (<1mm), aprovechando las corrientes fuertes ya que estas llevan más cantidad de alimento, algunos ejemplos de este grupo son la familias Simuliidae, Ephemeroptera, y varios de las familias Trichopera y Chironomidae (Hanson et.al, 2010).

### 4.2.3 BMWP

Según Roldán (2003) el Índice 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 macroinvertebrados como bioindicadores; las razones para ello fueron básicamente económicas, ya que es un método de bajo costo y menores tiempos para una evaluación rápida del ecosistema . El método solo requiere llegar hasta el nivel de familia, los datos son cualitativos (presencia o ausencia) y el puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. A lo largo del tiempo se realizaron diferentes adaptaciones de este método dependiendo sus áreas de estudio o aplicación; posteriormente Roldan (2003) propone la variación del método con la abreviatura BMWP/Col, una adaptación para evaluar los ecosistemas acuáticos del país. (Tabla Nº.1).

Como explica Roldan (2003) se asignan puntajes a cada familia de macroinvertebrados, los cuales clasifican su nivel de tolerancia a la contaminación, teniendo como base el conocimiento de su distribución y su abundancia. El sistema funciona clasificando las familias encontradas en cada punto de un muestreo, asignándoles luego un puntaje como lo especificado en la tabla Nº1; seguidamente se suman los valores obteniendo individualmente el BMWP/Col de cada punto; de esta forma, si se tienen 3 puntos dentro de un muestreo, entonces, se obtendrán 3 BMWP/COL.

Con los puntajes obtenidos se verifica dentro de qué rango numérico se encuentra en la columna BMWP/Col de la tabla Nº2. De esta forma, se obtendrá la clasificación de acuerdo a su calidad, la cual cómo podemos evidenciar en la tabla Nº2 está dividida en 5 clases, las cuales son buena, aceptable, dudosa, critica y muy crítica, que tienen un significado explicado en la tabla ya mencionada (Tabla Nº2). Para la representación de las calidades del agua encontradas en cada punto de un río o quebrada, Roldán (2003) define en la tabla Nº2 un color específico para su sencilla diferenciación dentro de un mapa.

**Tabla Nº.1**

*Puntajes para familias método BMWP Adaptado para Colombia (BMWP/Col).*

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

Nota: Tomado de Bioindicación de la calidad del agua en Colombia – uso del método BMWP/Col. Roldán (2003). p31

**Tabla Nº.2**

*Interpretación de Resultados Obtenidos con las Familias del Método BMWP Adaptado Para Colombia (BMWP/Col)*

| Clase | Calidad | BMWP/COL | Significado | Color |
|---|---|---|---|---|
| I | Buena | >150, 101-120 | Aguas muy limpias a limpias | Azul |
| II | Aceptable | 61-100 | Aguas ligeramente contaminadas | Verde |
| III | Dudosa | 36-60 | Aguas moderadamente contaminadas | Amarillo |
| IV | Crítica | 16-35 | Aguas muy contaminadas | Naranja |
| V | Muy crítica | <15 | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |

Nota: Tomado de Bioindicación de la calidad del agua en Colombia – uso del método BMWP/Col. Roldán (2003). p32

### 4.2.4 ASPT

El puntaje promedio por Taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon):

> Es el puntaje total BMWP dividido entre el número de los taxa, es un índice particularmente valioso para la evaluación del río. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. (Roldán, 2003, p.29)

Se pueden utilizar los dos índices (BMWP/Col y ASPT) como complemento del otro ya que como menciona Álvarez et al. (2008) estos se definen con una asignación de valores por el grado de tolerancia/intolerancia de las familias de macroinvertebrados a los contaminantes, y además incluyen riqueza.

### 4.2.5 Índices de Biodiversidad

#### 4.2.5.1 Índice Alfa- Margalef

“La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea”. (Whittaker, 1972, Citado por Moreno, 2001).

> La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, se dividió en dos grandes grupos, el primero son métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica) y el segundo son métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.). Los métodos basados en la estructura pueden a su vez clasificarse según se basen en la dominancia o en la equidad de la comunidad. (p.23)

El índice de Margalef es uno de los índices más comunes utilizados para medir la riqueza de las especies y hace parte del primer grupo anteriormente mencionado. Juárez et al. (2016) explica que en la ecuación, en cuanto mayor sea el valor de D, mayor será la riqueza de especies, y Moreno (2001) explica que cuando D es igual a 0, se encontrará una sola especie. Según (Magurran, 1998, Citado por Moreno 2001), este índice transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual, las especies son añadidas por expansión de la muestra y su fórmula es la siguiente: $D_{mg} = \frac{S-1}{ln\, N}$ Donde S es el número total de especies y N el número total de individuos.

#### 4.2.5.2 Índice Beta- Jaccard

La diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Whittaker, 1972, Citado por Moreno, 2001). A diferencia de las diversidades alfa y gamma que pueden ser medidas fácilmente en función del número de especies, la medición de la diversidad beta es de una dimensión diferente porque está basada en proporciones o diferencias (Magurran,1998, Citado por Moreno, 2001), pero al igual que la diversidad alfa, ésta se divide en tres grandes grupos. El primero se basa en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos, (presencia ausencia de especies) cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etc.), o métodos de ordenación y clasificación; el segundo grupo se basa en índices de reemplazo de especies y por último, el tercer grupo es la complementariedad que “Se refiere al grado de disimilitud en la composición de especies entre pares de biotas”.(Colwell y Coddington, 1994, Citado por Moreno, 2001).

El índice de Jaccard es un índice cualitativo perteneciente al primer grupo anteriormente mencionado. El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 a medida que aumenta el número de especies

compartidas en los dos sitios y su fórmula es la siguiente: $I_{J=\frac{c}{a+b-c}}$ Donde a es el número de especies presentes en el sitio A, b es el número de especies presentes en el sitio B y c es el número de especies presentes en ambos sitios (sitio A y sitio B) como especifica Moreno (2001).

### 4.2.6 Parámetros Fisicoquímicos

Samboní et al. (2007) argumenta que la calidad de los cuerpos hídricos ha sido valorada mediante variables químicas, físicas, y biológicas, de formas grupales e individuales. Los parámetros fisicoquímicos como su nombre lo indica, proporcionan información sobre las propiedades químicas y físicas del agua; sin embargo, estos no dan información sobre la influencia que tienen sobre la vida acuática. Es por esto que muchos investigadores han recomendado la utilización tanto de los parámetros fisicoquímicos, como de los biológicos para la evaluación de los recursos hídricos.

Los parámetros fisicoquímicos, proporcionan valores puntuales sobre los niveles admisibles de contaminantes presentes en un cuerpo hídrico; los parámetros a medir serán determinados de acuerdo a al uso posterior que tendrá el recurso hídrico como por ejemplo los mencionados en el decreto 1594 de 1984 (consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, y demás) , por lo cual, en caso de no superar los valores admisibles en las mediciones de cada contaminante, se deberán determinar que procesos cambiarán dentro del proceso de su tratamiento; o si por el contrario este recurso no podría ser utilizado para el fin esperado.

#### 4.2.6.1 Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH es el potencial de hidrogeno, éste indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución (Alpízar, 2001). Cuando un cuerpo lótico tiende a estar entre basicidad y neutralidad (pH de 6.5 a 7.5), la diversidad de macroinvertebrados tiende a ser elevada. Por el contrario, cuando presenta mucha acidez o basicidad, la riqueza de macroinvertebrados tiende a decrecer (Atlas et al, 2001). Comúnmente el valor de pH de las aguas superficiales se encuentra en el intervalo de 6.0 a 8.5.

García et al.( 2019) expone que algunos factores externos pueden causar variaciones en el pH de un cuerpo hídrico, algunos de estos pueden ser drenajes de ácidos de minería , desechos de agricultura o combustibles fósiles como el dióxido de carbono, que puede generar ácidos débiles al ser disuelto en los ríos. También manifiesta (García et al., 2019) que los valores de pH varían en aguas no contaminadas de acuerdo a los cambios que se presenten en otros parámetros fisicoquímicos como caudal, sulfatos, alcalinidad, oxígeno disuelto, aceites y cloruros.

Roldan (2012) explica que el causante de cambios drásticos en el pH en los ecosistemas acuáticos es la contaminación con residuos orgánicos o industriales; esto ocasiona que se vean más marcados fenómenos como la respiración y la fotosíntesis, que dan paso al agotamiento de oxígeno nocturno y exceso de oxígeno diurno, los cuales tendrán como consecuencia la desaparición de las especies que habitan el ecosistema acuático por su incapacidad a resistir tales cambios.

#### 4.2.6.2 Temperatura

La temperatura mide cuán caliente o frío está un objeto o sustancia, y desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de ecosistemas, al regular o afectar otros factores como la distribución, tamaño, estructura y abundancia de las poblaciones de algunos individuos, lo cual

a su vez incide en los ciclos de nutrientes, funcionamiento, estructura y distribución de los ecosistemas (Uribe, 2015).

El deterioro de la calidad del aire o del agua, ya sea por el aumento o descenso de la temperatura, puede afectar en forma negativa a los seres vivientes y al ambiente. Temperaturas extremas, pueden tener un efecto severo sobre los peces y la vida acuática, ya que, las temperaturas muy bajas solidifican el agua provocando destrucción de células y tejidos, y las temperaturas muy altas producen desnaturalización de proteínas y muerte celular (Lozano, 2018), lo cual puede provocar que los individuos emigren a otras regiones.

#### 4.2.6.3 Conductividad

IDEAM. (2006) nos indica que:

> La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente a muy baja escala. (p. 2)

Su importancia dentro de la calidad del agua radica en que por medio de la medición de este parámetro se puede obtener una apreciación sobre la presencia de las sales que afectan su calidad, influyendo dentro del ecosistema acuático ya que cada organismo tolera diferentes variaciones de conductividad; como por ejemplo las pulgas de agua, que presentan más sensibilidad al cloruro de potasio que al cloruro de sodio. También es importante dentro de la calidad del agua, porque su valor varia respecto a la fuente de donde proviene el agua (aguas residuales municipales, precipitación, aguas subterráneas, o aguas de escorrentía de la agricultura); por esta razón el autor afirma que este parámetro puede ser indicador de

filtraciones de aguas subterráneas o fugas de aguas residuales (Agencia de Protección del Medio Ambiente de California , 2013).

#### 4.2.6.4 Solidos sedimentables

Romero (2002) expone que son los sólidos en suspensión que sedimentarán por medio de la gravedad. Para su determinación se debe poner un litro de volumen dentro de un cono Imhoff, que se dejará una hora sedimentando; cuando el tiempo haya transcurrido se tomará el dato expresado como mL/L.

Ramos et al. (2002) muestra que la importancia de los sólidos sedimentables radica en que permiten estimar la cantidad de sedimentos que se pueden acumular dentro de los sistemas de tratamiento; o también permiten establecer si es necesaria la construcción de unidades de sedimentación dentro del tratamiento de aguas.

#### 4.2.6.5 Fosfatos

“El fosfato es un indicador de la cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, debido a que estos poseen entre 12 y 13% de fósforo en sus formulaciones. Además, este parámetro es fundamental al contribuir en procesos de eutroficación en los cuerpos de agua.” (Gualdrón, 2016. p. 89).

El fosfato ($PO_4$ -) como lo explicado por Sánchez et al. (2007) tiene su formación a partir del fósforo inorgánico que tiene presencia como mineral y favorece directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. Su existencia también se da en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. Además, el agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas a los recursos hídricos cercanos.

El análisis de este parámetro tiene su importancia en que, como lo indica Bolaños et al. (2017), los iones de fosfato aportan a la nutrición para el crecimiento de algas; por lo cual, una alta

concentración de fosfatos podría ocasionar el crecimiento excesivo de estas, afectando la cantidad de oxígeno presente en el agua, lo cual a su vez ocasionaría un aumento en el crecimiento de materia orgánica, elevando la tasa de descomposición y causando finalmente un proceso de eutrofización.

#### 4.2.6.6 Nitratos

Donoso & Cortés (2018) nos indican que:

> El nitrato, forma más oxidada del nitrógeno que se encuentra en la naturaleza (NO3-), es reconocido mundialmente en la actualidad como un contaminante de las aguas para consumo humano. Las principales fuentes para esta contaminación provienen del uso de fertilizantes agrícolas, pesticidas, residuos animales, y siembras de legumbres que capturan nitrógeno atmosférico depositándolo en la tierra. (p.223)

La medición de este parámetro fisicoquímico es importante por que como indica Bolaños et al. (2017), este compuesto presenta un aumento significativo en los cuerpos hídricos por las actividades humanas que son realizadas principalmente en los suelos, que luego llegan a ríos y por su capacidad de solubilidad alcanzan altas concentraciones en estos. La importancia en su medición se da también por los dos tipos de contaminación que explica Bolaños et al. (2017), los cuales pueden ser puntuales que se relacionan con las actividades de orígenes ganaderos, urbanos o industriales; mientras que el tipo de contaminación dispersa es asociada a las actividades agronómicas. Dentro del agua para consumo humano, es necesaria su medición, ya que su consumo puede traer consecuencias como la disminución del oxígeno en órganos y tejidos en el cuerpo de en especial infantes, ocasionando daños graves e incluso la muerte.

## 4.3 Marco Geográfico

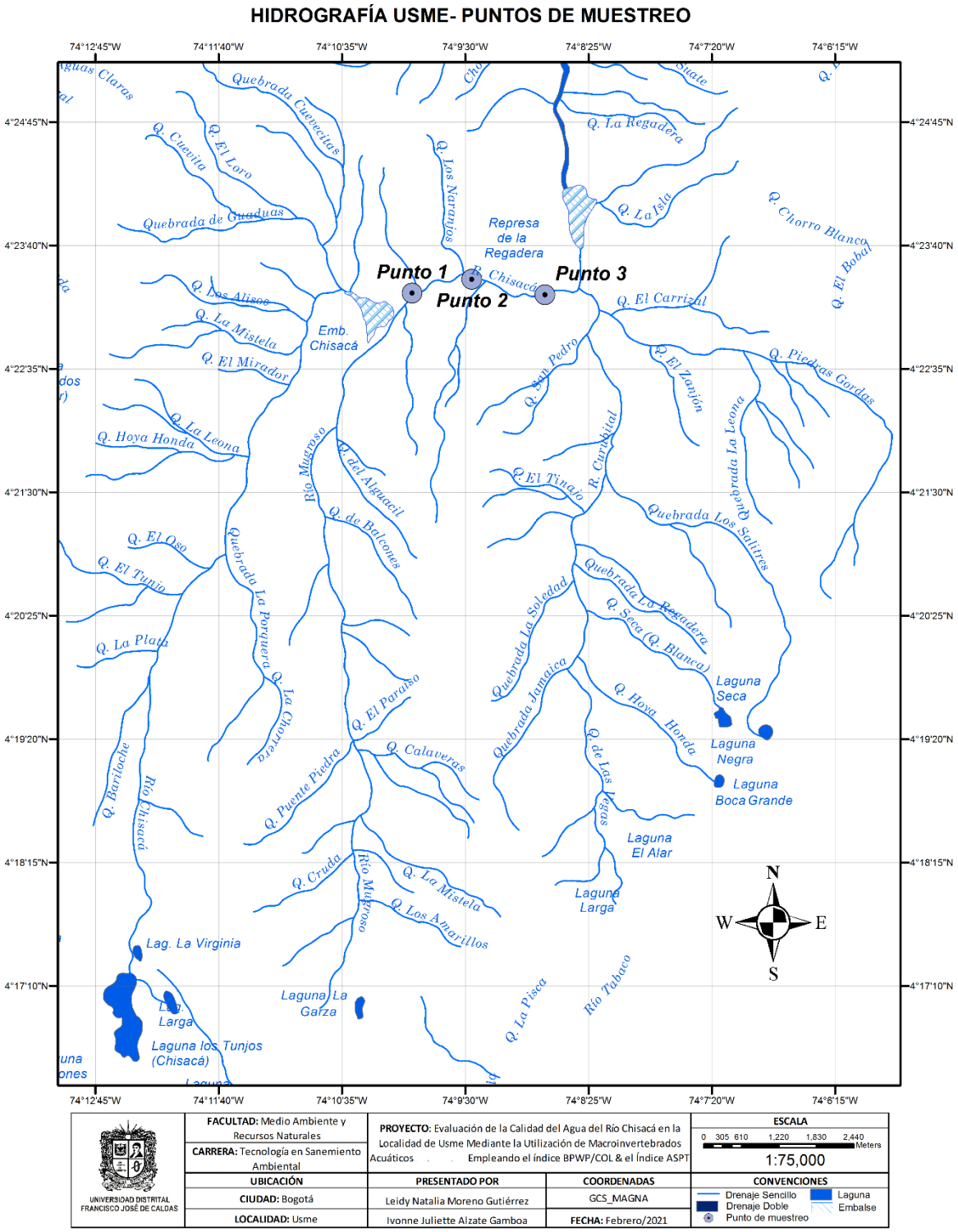
Según el la Alcaldía Local de Usme (2017) el Río Chisacá se encuentra en la localidad de Usme, la cual se encuentra ubicada en el sur de Bogotá; este importante cuerpo hídrico según lo determinado por el convenio con el Instituto de Extensión de la Universidad Distrital (IDEXUD) 233/16, tiene una extensión de 14,40 km la cual se encuentra delimitada dentro una zona que ocupa un área de 3731,21 hectáreas.

Su nacimiento se encuentra a la altura de 3852 m.s.n.m; como menciona Vargas et al. (2013) el brote del río está relacionado con un complejo de lagunas de origen glacial en el Parque Nacional Sumapaz, donde su curso alto se da en la laguna de los tunjos la cual se puede apreciar en la Figura Nº1; su recorrido está caracterizado por vida paramuna y andina en ecosistemas de páramo, subpáramo y bosque altoandino.

El uso potencial de suelos establecido por el Plan de ordenamiento territorial (POT) para la zona de la microcuenca del Río Chisacá se encuentra definido mayormente para la conservación y una baja capacidad agrologica; sin embargo, se evidencian conflictos de sobreutilización de suelos, ya que en varias áreas protegidas se dan actividades de agricultura, tales como cultivos de papa, arveja, hortalizas, y cebada, siendo la papa lo más cultivado; pese a lo propuesto para las zonas circundantes a cuerpos de agua, tales como ríos, quebradas, y lagunas. Otro uso reportado es la silvicultura con una muy baja incidencia comparada con los otros usos, caracterizado por la extensión de bosque plantado en la zona de las microcuencas, es por esto que su grado de vulnerabilidad está definido por la Alcaldia Local de Usme (2017) como alta fragilidad. La localidad de Usme cuenta con un gran porcentaje de áreas de vegetación de páramo, específicamente un 37.66% que se encuentra en su mayoría en la zona de los límites de la localidad con Sumapaz y Chipaque, por lo cual en la cuenca alta del río Chisacá se puede apreciar esta vegetación.

**Figura Nº 1**

*Mapa Puntos de Muestreo, Hidrografía Usme.*



## 4.4 Marco hidrológico

El Río Chisacá hace parte de la cuenca alta del río Tunjuelo junto al río Mugroso y Curubital, dichos afluentes alimentan el embalse de La Regadera, el cual hace parte del sistema sur de abastecimiento del Acueducto de Bogotá, que a través de la Planta El Dorado, permite el suministro de agua potable para la parte sur de la ciudad. El Río Chisacá recorre las veredas las Margaritas y una pequeña parte del Hato y Arrayanes.

Dentro de sus afluentes están la Laguna de Chisacá, Laguna de La Lajita, Laguna de Rebosadero, Embalse de Chisacá, Laguna Chigaito, Quebrada Chorro del Oso, Quebrada Waterloo, Quebrada El Campamento, Quebrada El Tunjo, Quebrada La Leona, Quebrada La Plata, Quebrada La Porquería, Quebrada Los Alisos, Quebrada Los Encenillos, y Quebrada Los Naranjos (Figura N.º 1).

# 5 METODOLOGÍA

## 5.1 Etapa de Campo

Para llevar a cabo la etapa de campo, se inició determinando la temporada seca (Diciembre 2020) y temporada de lluvias (Finales de Febrero 2021) en Bogotá D.C para establecer las fechas de muestreo. Se realizó un muestreo en cada época, el cual se dividió como lo indica la Figura Nº 2 en 3 puntos de muestreo que tienen su ubicación específica en los siguientes lugares.

La zona escogida para los muestreos comprende el tramo del río Chisacá distribuido en 3 puntos de muestreo escogidos, teniendo como base lo expuesto en la investigación de la Alcaldía Local de Usme (2017) en convenio con el IDEXUD, que indica que en esta zona es donde se encuentran principalmente los conflictos de sobreutilización de suelos; donde las áreas que están destinadas a conservación, presentan asentamientos humanos caracterizados por actividades agrícolas. De esta manera los puntos escogidos se encuentran desde que el río sale del Embalse de Chisacá que según Rodríguez (2016), se encuentra a 3150 m.s.n.m, hasta antes de tributar el embalse de la Regadera el cual se encuentra a 3002 m.s.n.m. El punto uno se encuentra localizado después de salir del embalse Chisacá a los 3071 m.s.n.m, en las coordenadas 4°23'14.8"N 74°09'58.0"W, el punto dos está localizado a los 3051 m.s.n.m, en las coordenadas 4°23'22.1"N 74°09'26.6"W y por último el punto 3 se encuentra localizado antes de tributar al embalse de la Regadera a los 2994 msnm, en las coordenadas 4º 23’ 14” N 74º 08’ 48” W. (Figura Nº 1).

Posteriormente se realizó una visita previa para reconocimiento de cada punto de muestreo, verificando su accesibilidad y características abióticas como el sustrato y la profundidad del cuerpo de agua; dependiendo de estas características se utilizaron diferentes implementos

para tomar los muestreos. Según lo establecido por IDEAM (2006), el implemento utilizado para el muestreo biológico fue la Red Surber (Figura Nº 3- Anexo Nº1). Se tomó un muestreo para cada época (Época lluvia y época seca), con 3 puntos de muestreo y 5 réplicas establecidas para cada uno, como se menciona en la Figura Nº2, con desplazamientos rio arriba en un área establecida de $15m^2$ (Álvarez, 2005). Las horas de muestreo estuvieron entre las 8 am y 3 pm.

Para el muestreo físico químico se utilizó el equipo de medición multiparámetros LEYBOLD-524 005/MOBILE CASSY 2 (Anexo Nº2) con el cual se midieron parámetros como pH, conductividad, temperatura ambiente, temperatura del agua, nitratos y fosfatos; para la medición de sólidos sedimentables se utilizó el Cono Imhoff (Anexo Nº.3). Después de cada medición y toma de datos, se consignó la información en el rótulo (Anexo Nº4), y se procedió a lavar los electrodos y el cono Imhoff con agua destilada.

**Figura Nº2**
*Etapa de Campo*

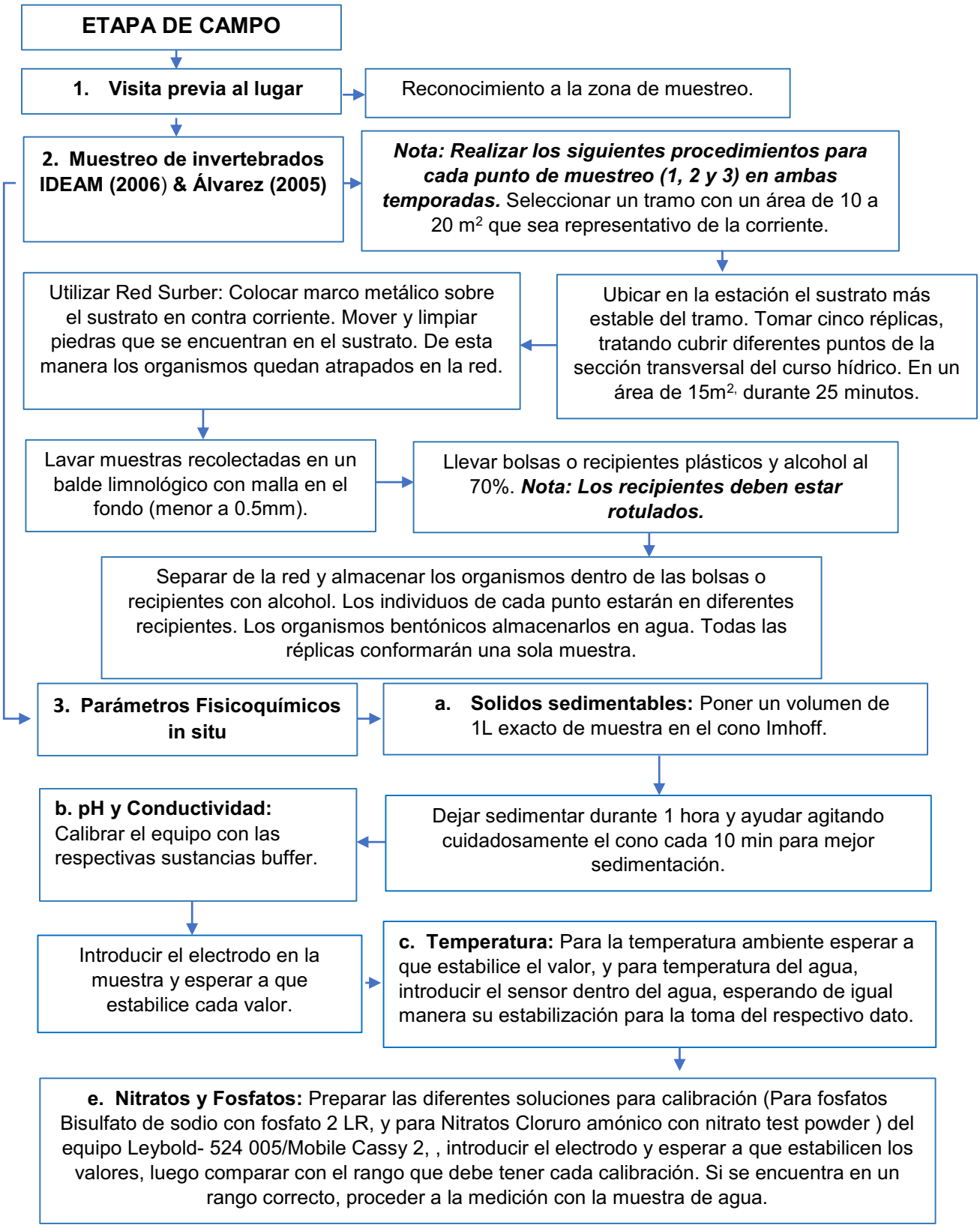
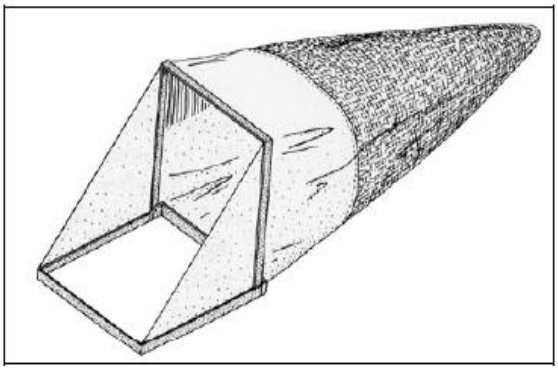


**Figura Nº.3**

*Red Surber*



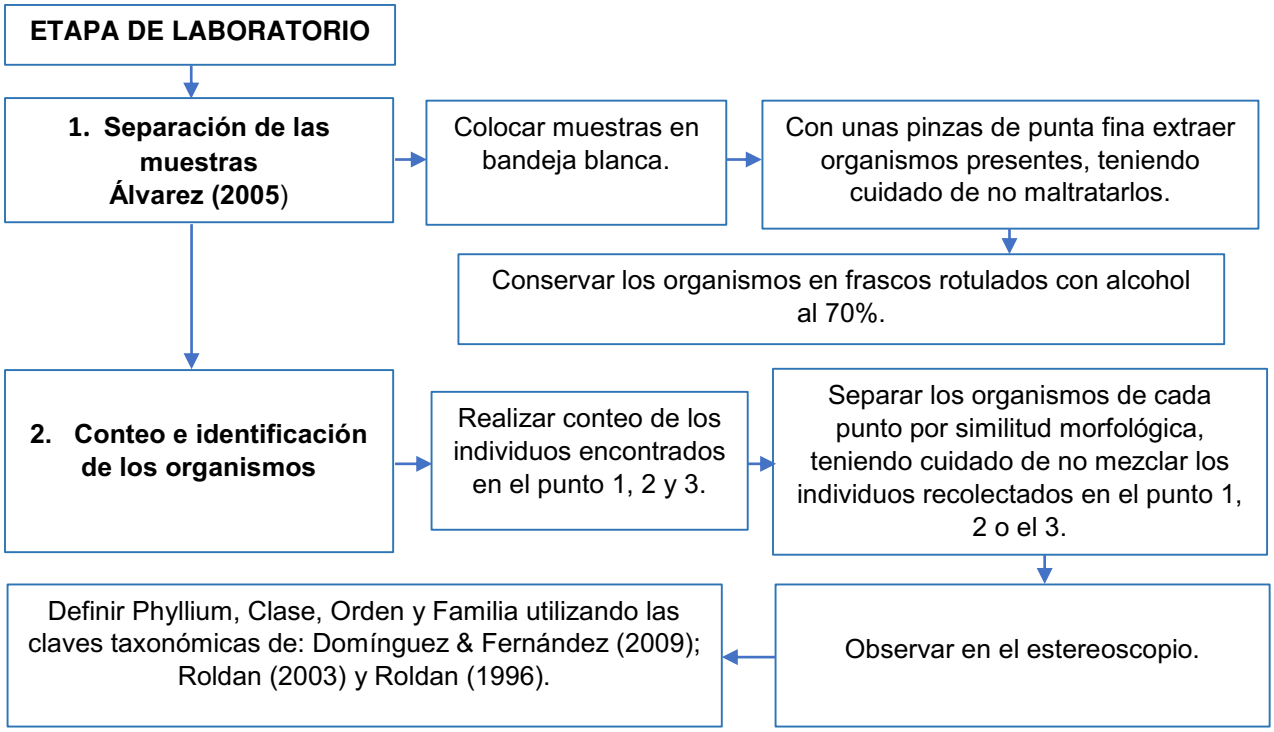
*Nota:* Tomado de *Proyecto para definir caudales ecológicos en ríos del Sistema Papallacta- Plan de trabajo para monitoreo de Macroinvertebrados como indicadores para caudales ecológicos* (p.9); por Fossati & Calvez (2005).

## 5.2 Etapa de laboratorio

La etapa de laboratorio especificada en la Figura Nº 4, fue llevada a cabo en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el laboratorio de Ecología y Zoonosis ubicado en la sede Bosa Porvenir. Se realizó la separación de los individuos recolectados por similitudes morfológicas, luego se depositaron en frascos diferentes con sus respectivos rótulos y alcohol al 70% limpio de residuos anteriores del sustrato; por último se procedió a realizar la visualización de estos en el Microscopio Estereoscopio Leica S8 Ap0, para la toma de las fotos de los individuos se utilizó un software Leica LAZ EZ, el cual se puede emplear mediante la conexión directa del Estereoscopio con el computador. Con las imágenes obtenidas y la literatura de Domínguez & Fernández (2009), Roldan (2003), y Roldan (1996) se realizó la respectiva clasificación estableciendo Phyllium, Clase, Orden y familia.

**Figura Nº4**

*Etapa de Laboratorio*




### 5.3 Etapa de evaluación

Para la etapa de evaluación se aplicaron los índices BMWP/COL y ASPT con el fin de evaluar la calidad del agua mediante la utilización de las familias de macroinvertebrados encontradas en el cuerpo hídrico. Para la realización y señalización del mapa de la zona con el BMWP/Col, con los colores indicados por Roldan (2003), se utilizó el software ArcGIS.

También se evaluó la biodiversidad de cada punto de muestreo mediante la utilización de los índices Alfa-Margalef (biodiversidad entre individuos de la misma comunidad) y Beta- Jaccard (familias compartidas entre los puntos de muestro para cada época). Para un mejor análisis, se realizó un dendrograma con la utilización del programa “Past”. Finalmente se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos y su incidencia en la presencia de las diferentes familias encontradas en el cuerpo hídrico, teniendo en cuenta la presencia/ ausencia de los macroinvertebrados acuáticos, respecto a las variaciones de los parámetros fisicoquímicos.

# 6 RESULTADOS

## 6.1 Bioindicadores

Se recolectaron una totalidad de 4608 individuos pertenecientes a 14 familias diferentes, a continuación, se muestra la clasificación taxonómica hasta el nivel de familia y la cantidad de individuos recolectados en los 3 puntos de muestreo, en las dos diferentes épocas del año.

Durante el período de muestreo de la temporada seca se recolectaron un total de 3299 individuos pertenecientes a 13 familias (Tabla N°. 3) y durante la temporada de lluvias se recolectaron un total de 1309 individuos pertenecientes a 11 familias (Tabla N°. 4).

**Tabla Nº.3**

*Resultados muestreo 1 (Época seca -Diciembre 2020).*

| Phyllium | Clase | Orden | Familia | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Hyalellidae | 17 | 51 | 30 |
| | | Isopoda | Oniscidae | 1 | 0 | 0 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | 936 | 1225 | 613 |
| | | | Muscidae | 1 | 5 | 0 |
| | | Ephemeroptera | Baetidae | 16 | 24 | 6 |
| | | Trichoptera | Philopotamidae | 13 | 22 | 38 |
| | | Coleoptera | Staphylinidae | 1 | 0 | 0 |
| Annelida | Clitellata | Rynchobdellida | Glossiphoniidae | 5 | 11 | 7 |
| | | Lumbriculida | Lumbriculidae | 0 | 2 | 1 |
| | Oligochaeta | Haplotaxida | Tubificidae | 1 | 1 | 1 |
| Mollusca | Gastropoda | Basommatophora | Ancylidae | 33 | 53 | 27 |
| | | | Planorbidae | 3 | 2 | 0 |
| Platyhelminthes | Rhabditophora | Tricladida | Planariidae | 29 | 66 | 58 |
| | | | **Total Individuos** | **1056** | **1462** | **781** |
| | | | **Índice Margalef** | **1.48** | | |

**Tabla Nº.4**

*Resultados muestreo 2 (Época Lluvia – Febrero 2021).*

| Phylum | Clase | Orden | Familia | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Arthropoda | Malacostraca | Amphipoda | Hyalellidae | 24 | 172 | 25 |
| | Insecta | Diptera | Simuliidae | 314 | 266 | 89 |
| | | Ephemeroptera | Baetidae | 19 | 9 | 2 |
| | | Trichoptera | Philopotamidae | 15 | 4 | 20 |
| | | Odonata | Aeshnidae | 1 | 0 | 0 |
| Annelida | Clitellata | Rynchobdellida | Glossiphoniidae | 8 | 11 | 18 |
| | | Lumbriculida | Lumbriculidae | 0 | 4 | 0 |
| | Oligochaeta | Haplotaxida | Tubificidae | 2 | 0 | 0 |
| Mollusca | Gastropoda | Basommatophora | Ancylidae | 77 | 30 | 88 |
| | | | Planorbidae | 0 | 1 | 6 |
| Platyhelminthes | Rhabditophora | Tricladida | Planariidae | 18 | 56 | 30 |
| | | | **Total individuos** | **478** | **553** | **278** |
| | | | **Índice de Margalef** | **1.39** | | |

De las 14 familias obtenidas, tan solo 4 familias fueron realmente representativas, ya que obtuvieron un valor mayor al 5% del muestreo total, el resto de familias oscilan entre el 0.02% al 2.43%.

Los macroinvertebrados encontrados visualizados con el estereoscopio Leica se presentan en las Figuras Nº 5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18 y 19.

**Figura Nº 5**

*Familia Hyalellidae*




**Figura Nº 6**

*Familia Planariidae*



**Figura Nº 7**

*Familia Ancylidae*

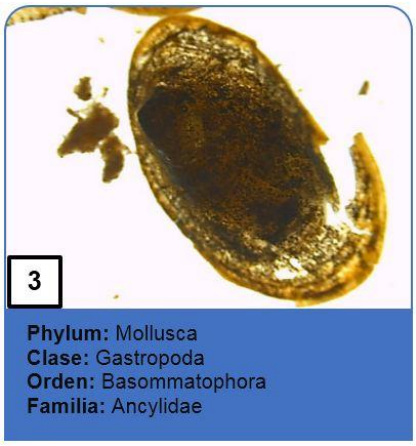



**Figura Nº 8**

*Familia Baetidae*




**Figura Nº 9**

*Familia Simuliidae- Larva*




**Figura Nº 10**

*Familia Simuliidae- Pupa*

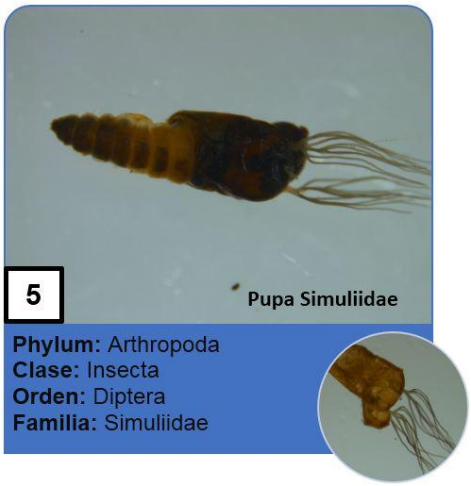


**Figura Nº 11**

*Familia Philopotamidae*

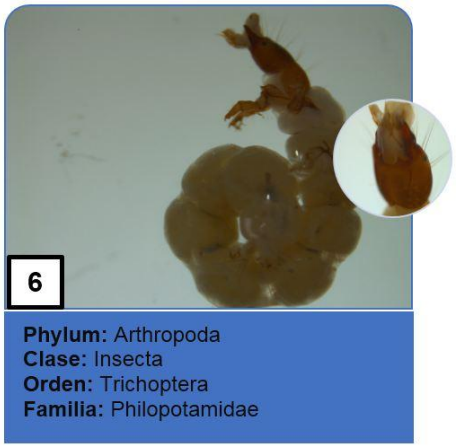



**Figura Nº 12**

*Familia Glossiphoniidae*

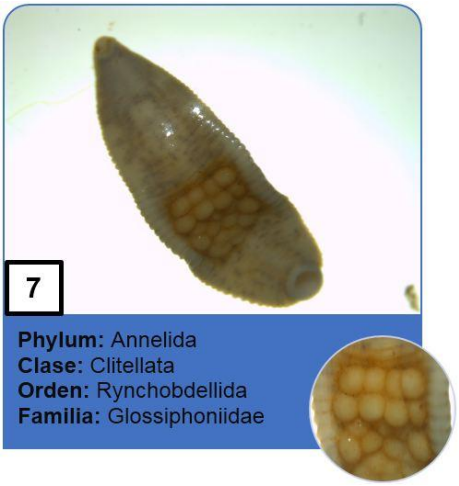



**Figura Nº 13**

*Familia Muscidae*




**Figura Nº 14**

*Familia Tubificidae*

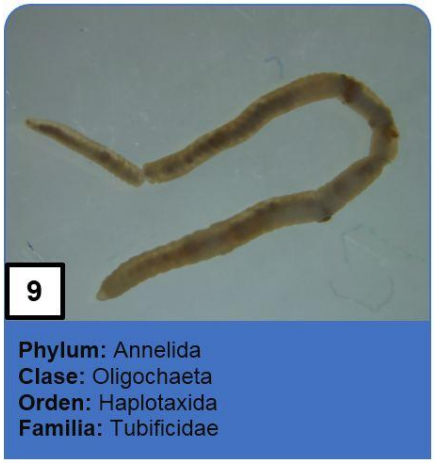


**Figura Nº 15**

*Familia Staphylinidae*




**Figura Nº 16**

*Familia Oniscidae*




**Figura Nº 17**

*Familia Planorbidae*

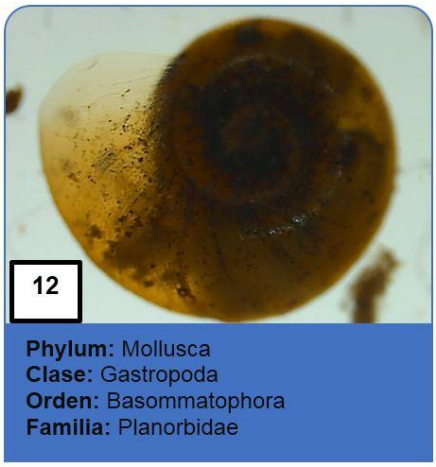



**Figura Nº 18**

*Familia Lumbriculidae*

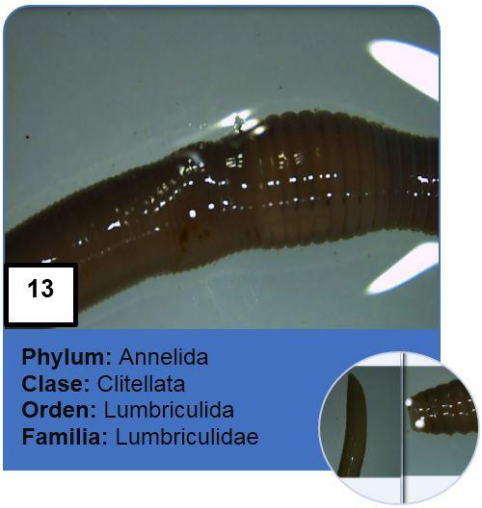


**Figura Nº 19**

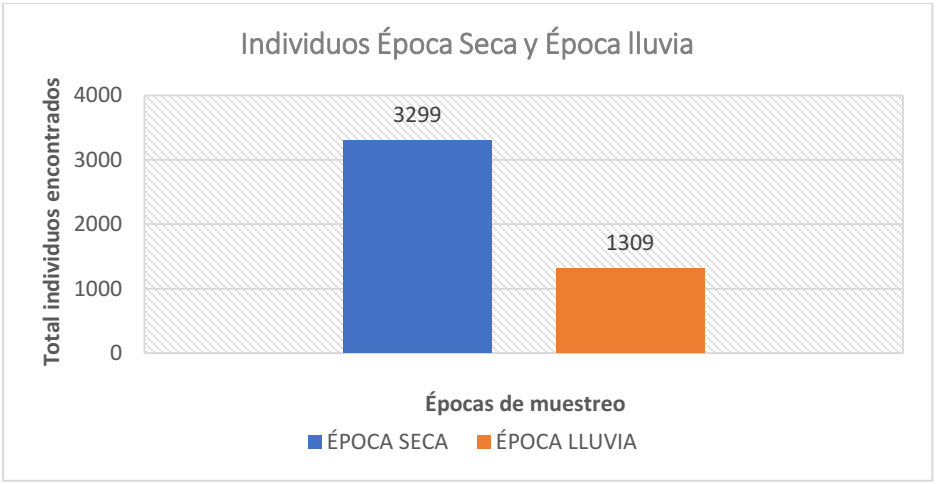
*Familia Aeshnidae*




Se determinó la cantidad total de individuos tanto en el muestreo de época seca como en época lluvia (Figura Nº20).

**Figura N°.20**

*Gráfica Individuos Encontrados en Época Seca y Época Lluvia*




De acuerdo a las familias encontradas en los muestreos de época seca (Figura Nº21) y época lluvia (Figura Nº22), se determinó porcentaje de su distribución, tanto individual, como total de las dos muestreos (Figura Nº23).

**Figura N°.21**

*Gráfica porcentaje de Familias de Macroinvertebrados encontradas en el Río Chisacá durante la época seca- Diciembre 2020.*

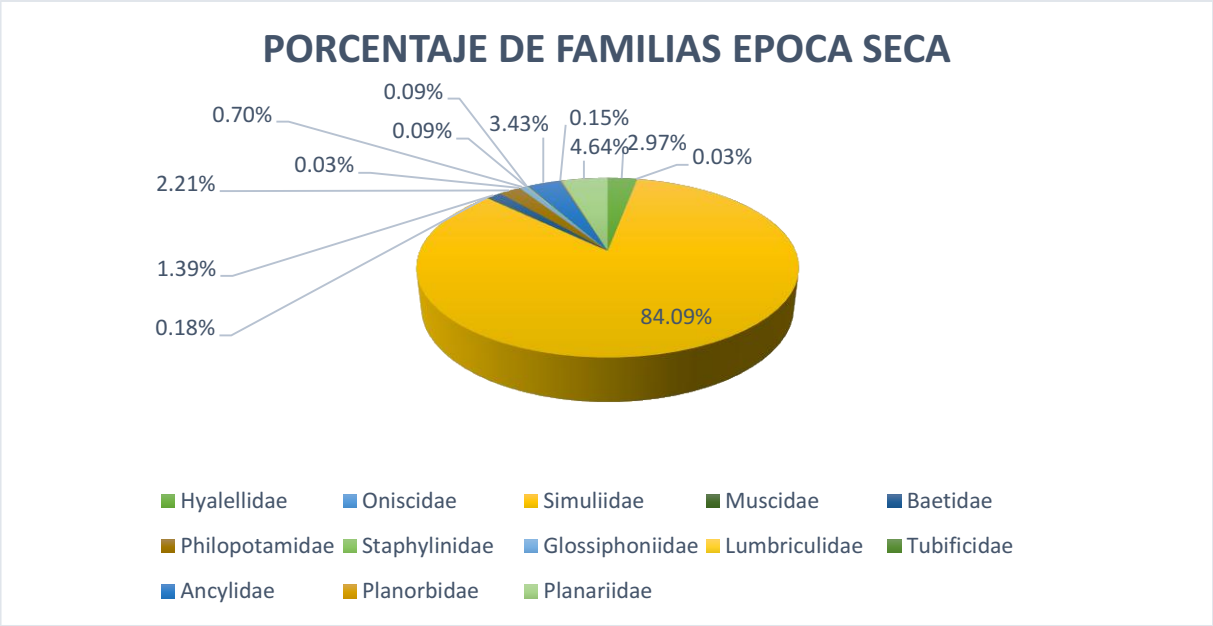



**Figura N°.22**

*Gráfica porcentaje de Familias de Macroinvertebrados encontradas en el Río Chisacá durante Inicio época lluvia – Febrero 2021.*

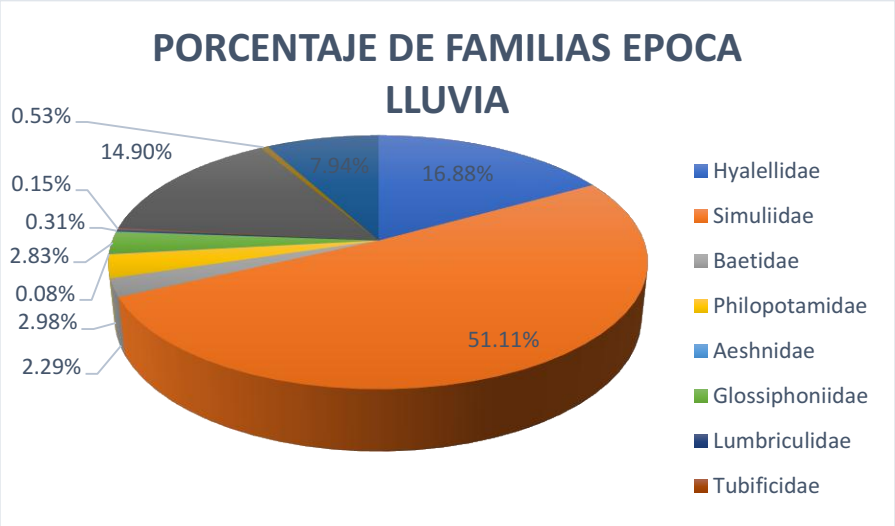
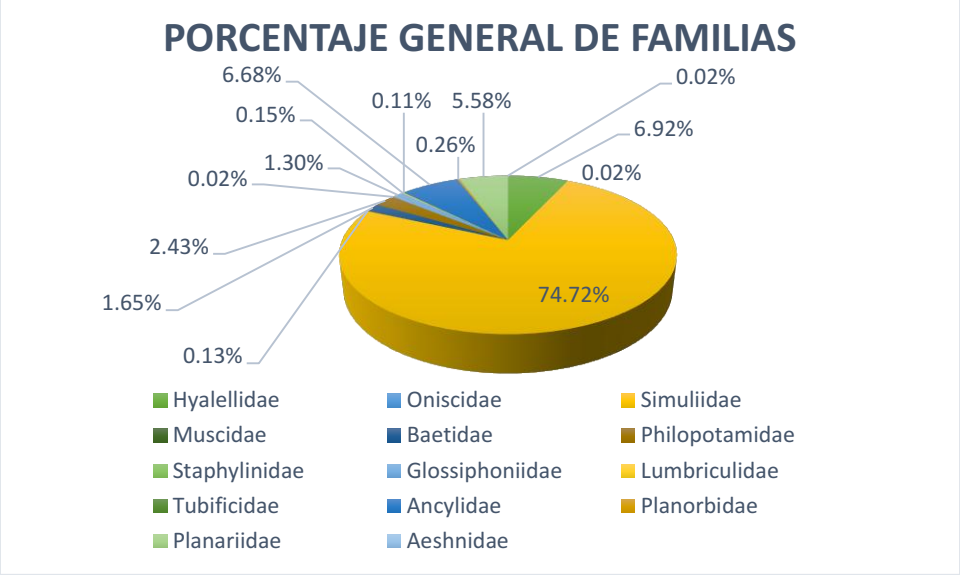


**Figura N°.23**

*Gráfica porcentaje total de Familias de Macroinvertebrados durante época lluvia y época seca.*




Para determinar el resultado final del BMWP/Col, se asignó el puntaje correspondiente según lo indicado (Tabla Nº1) para cada familia encontrada en río Chisacá, tanto en época seca (Tabla Nº 5) y temporada lluvia (Tabla Nº6).

**Tabla Nº5**

*Puntaje BMWP/Col individual para familias encontradas en época seca*

| Familia | Puntaje BMWP Individual |
|---|---|
| Hyalellidae | 7 |
| Simuliidae | 8 |
| Muscidae | 2 |
| Baetidae | 7 |
| Philopotamidae | 9 |
| Staphylinidae | 6 |
| Glossiphoniidae | 3 |
| Tubificidae | 1 |
| Ancylidae | 6 |
| Planorbiidae | 5 |
| Planariidae | 7 |

**Tabla Nº6**

*Puntaje BMWP/Col individual para familias encontradas en época lluvia*

| Familia | Puntaje BMWP Individual |
|---|---|
| Hyalellidae | 7 |
| Simuliidae | 8 |
| Baetidae | 7 |
| Philopotamidae | 9 |
| Aeshnidae | 6 |
| Glossiphoniidae | 3 |
| Tubificidae | 1 |
| Ancylidae | 6 |
| Planorbiidae | 5 |
| Planariidae | 7 |

Tras determinar los puntajes para cada familia, se determinó el valor final BMWP/Col y ASPT para temporada seca (Tabla Nº7 y Figura Nº23) y época lluvia (Tabla Nº8 y Figura Nº24).

**Tabla Nº.7**

*Resultados BMWP/Col y ASPT para temporada seca*

| TEMPORADA SECA | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **BMWP/COL** | | **CALIDAD** | **SIGNIFICADO** | **ASPT** |
| PUNTO 1 | 61 | Aceptable | Aguas ligeramente contaminadas | 5.5454 |
| PUNTO 2 | 60 | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | 5.4545 |
| PUNTO 3 | 55 | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | 5.5 |

**Tabla Nº.8**

*Resultados BMWP/Col y ASPT para temporada lluvia*

| TEMPORADA LLUVIA | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **BMWP/COL** | | **CALIDAD** | **SIGNIFICADO** | **ASPT** |
| PUNTO 1 | 54 | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | 6 |
| PUNTO 2 | 52 | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | 6.5 |
| PUNTO 3 | 52 | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | 6.5 |

**Figura N°.24**

*Mapa resultado BMWP/Col para temporada seca*

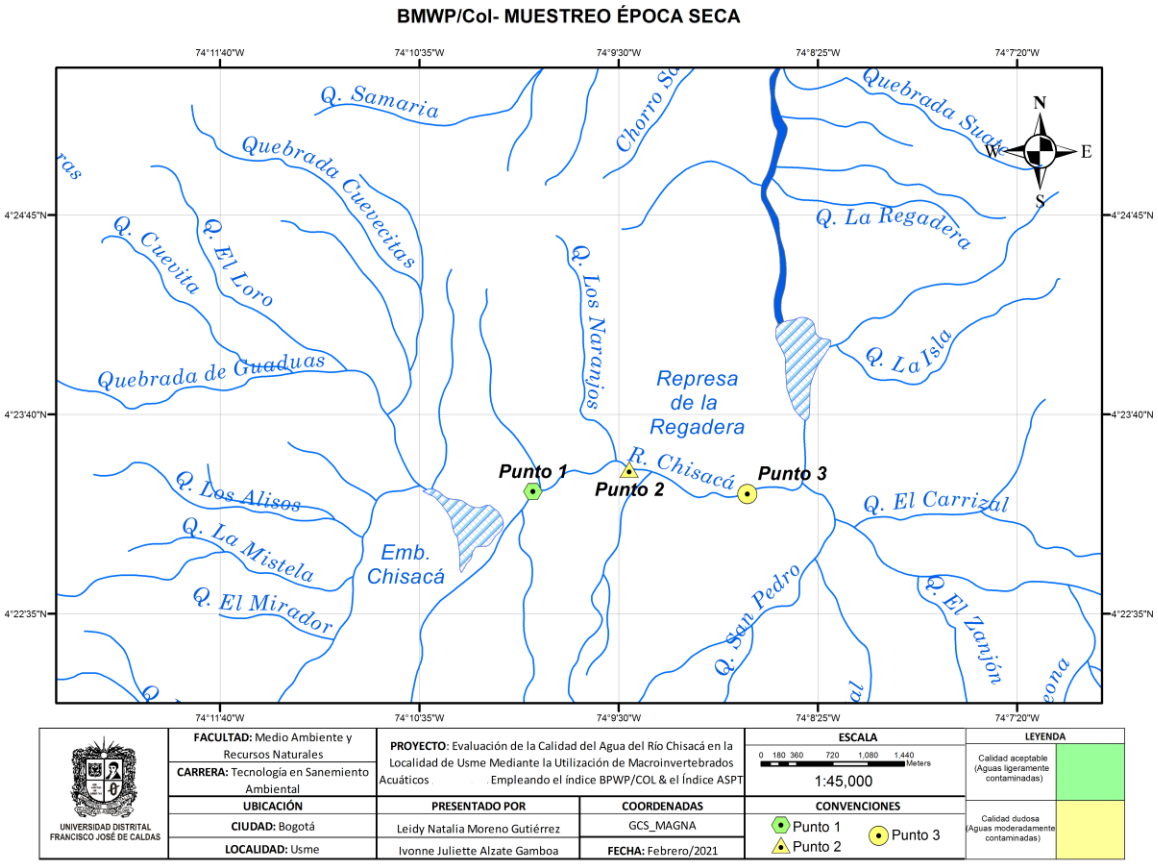
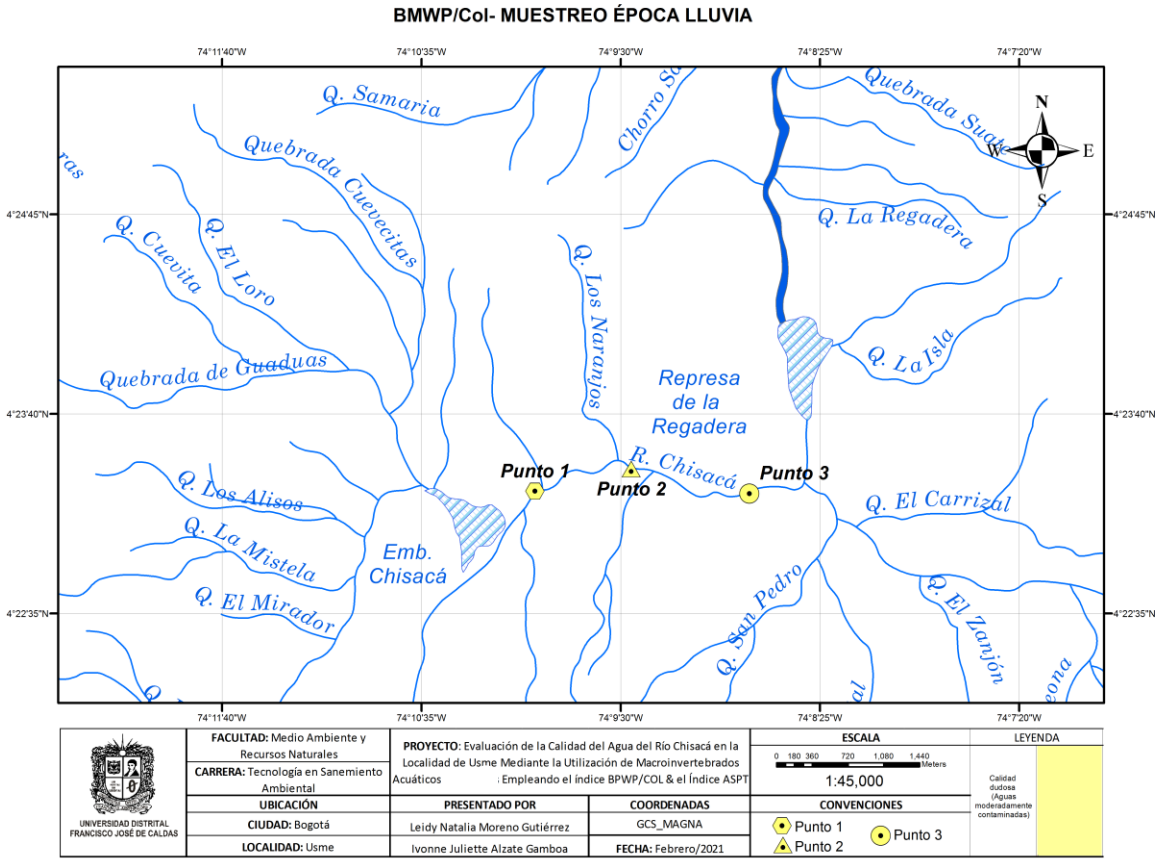


**Figura N°.25**

*Mapa resultado BMWP/Col para temporada lluvia*



### 6.2 Índices de biodiversidad

Se determinó el índice Jaccard (Tabla Nº9) de acuerdo a la ecuación: $I_J = \frac{c}{a+b-c}$

**a=** Es el número de familias presentes en el sitio A

**b=** Es el número de familias presentes en el sitio B

**c=** Es el número de familias presentes en ambos sitios (sitio A y sitio B).

**Tabla Nº9**

*Índice de Jaccard*

| Índice de biodiversidad Jaccard | | |
|---|---|---|
| **Puntos** | **Temporada seca** | **Temporada lluvia** |
| **A: Punto 1, B: Punto 2** | 0.77 | 0.64 |
| **A: Punto 1, B: Punto 3** | 0.61 | 0.70 |
| **A: Punto 2, B: Punto 3** | 0.82 | 0.89 |

De acuerdo a los resultados obtenidos del número de individuos en cada familia por punto de muestreo; se realizó un dendrograma para cada época (Figura Nº26 y Figura Nº27) por medio del programa PAST utilizando el algoritmo “Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages” (UPGMA).

**Figura N°.26**

*Dendrograma índice de Jaccard en temporada seca.*

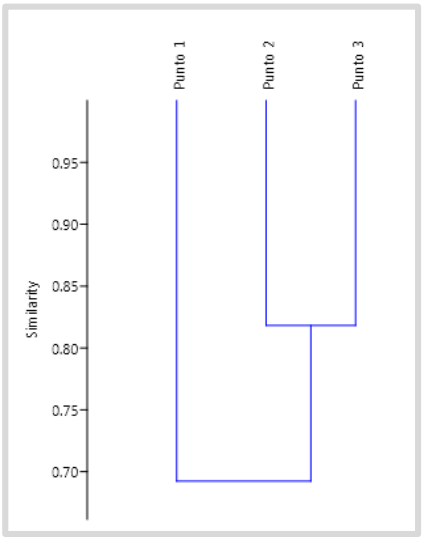
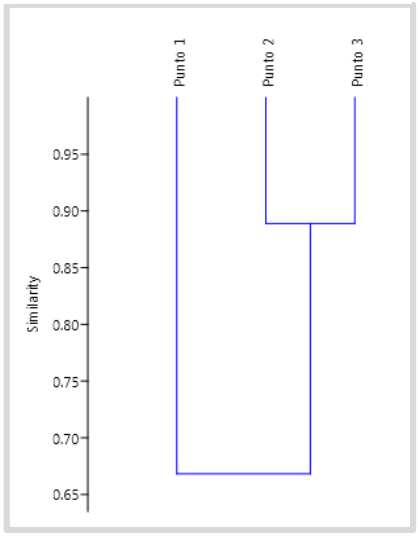



**Figura N°.27**

*Dendrograma índice de Jaccard en temporada lluvia.*



### 6.3 Parámetros fisicoquímicos

De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos medidos, se realizaron las gráficas de Sólidos sedimentables (Figura Nº 28), temperatura del agua (Figura Nº 29), conductividad (Figura Nº 30), pH (Figura Nº 31), nitratos (Figura Nº 32), y fosfatos (Figura Nº 33); donde se pueden apreciar los cambios tanto en los 3 puntos de muestreo, como en la temporada seca y la temporada lluvia.

**Figura N°.28**

*Gráfico comparativo Sólidos Sedimentables de Época Seca y Época Lluvia*

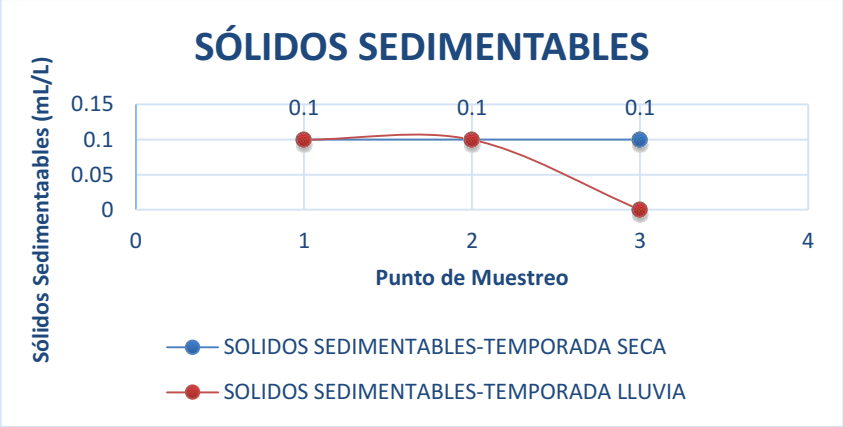



**Figura Nº 29**

*Gráfico comparativo Temperatura Agua de Época Seca y Época Lluvia*

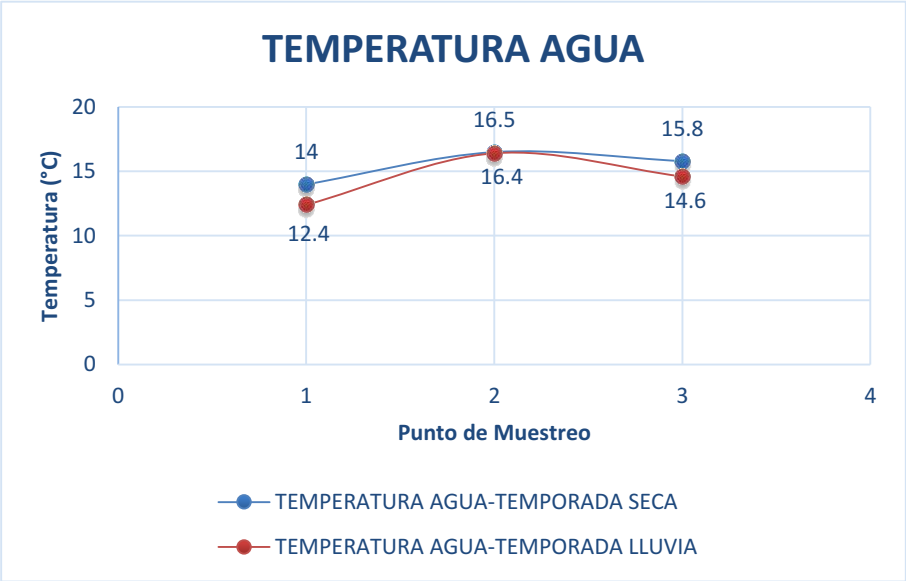


**Figura N°.30**

*Gráfico comparativo  Conductividad de Época Seca y Época Lluvia*

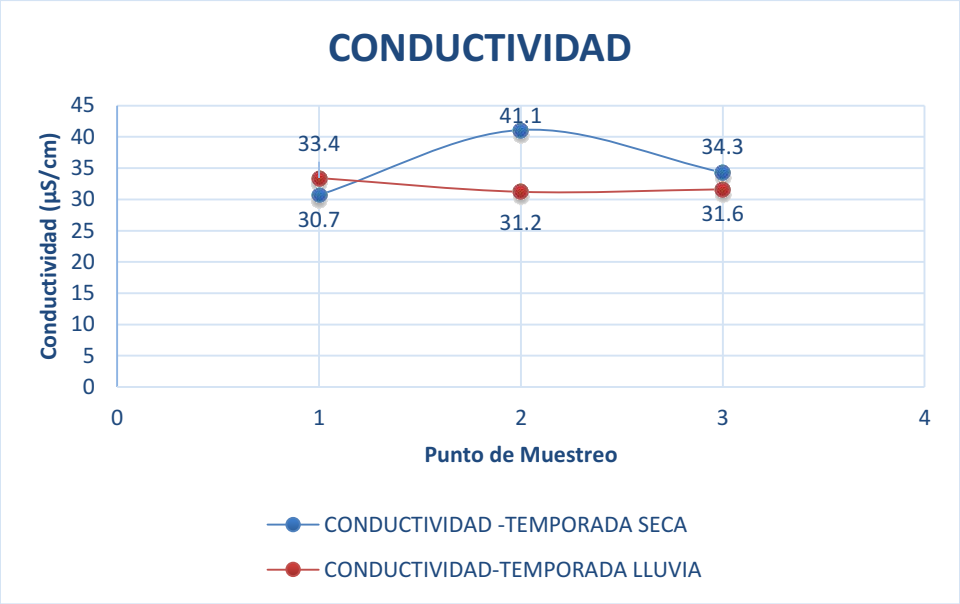



**Figura N°.31**

*Gráfico comparativo pH de Época Seca y Época Lluvia*

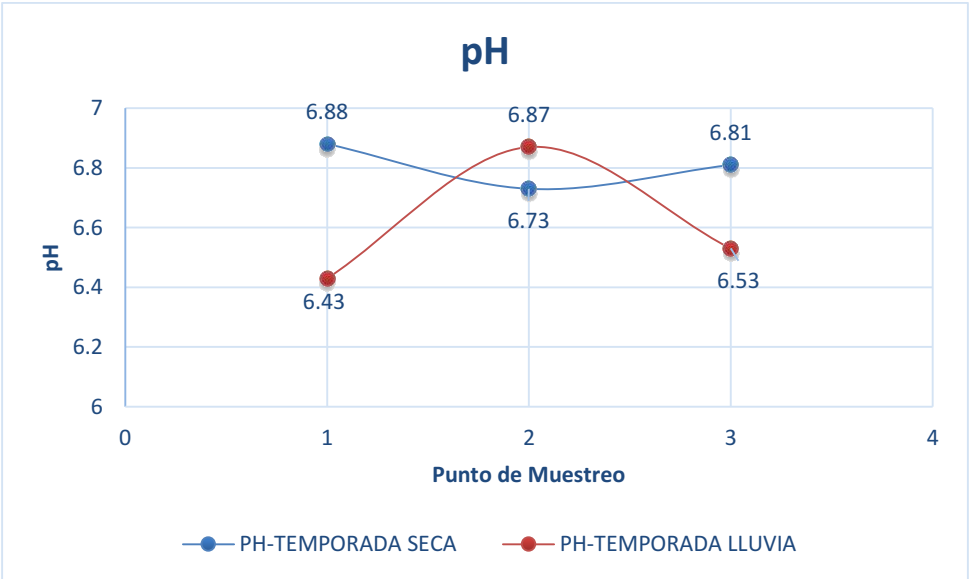


**Figura N°.32**

*Gráfico comparativo Nitratos ($NO_{3-}$) de Época Seca y Época Lluvia*

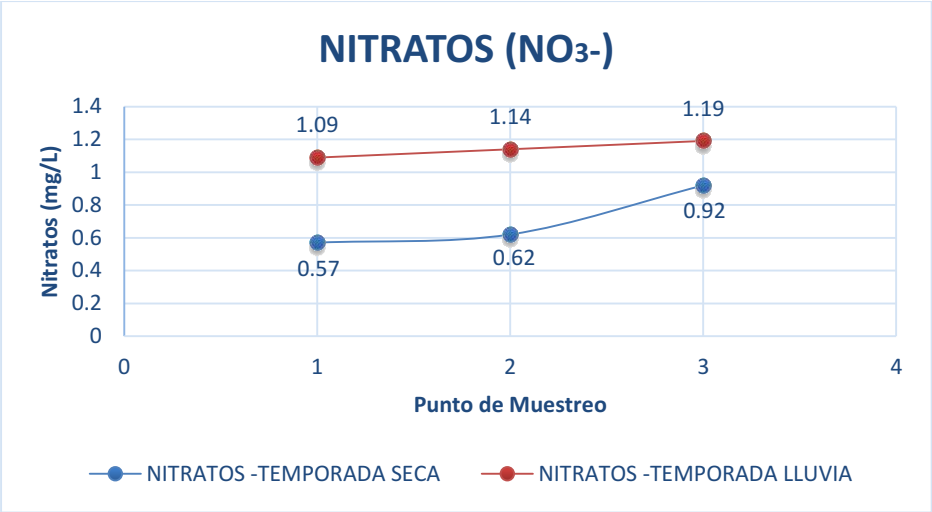
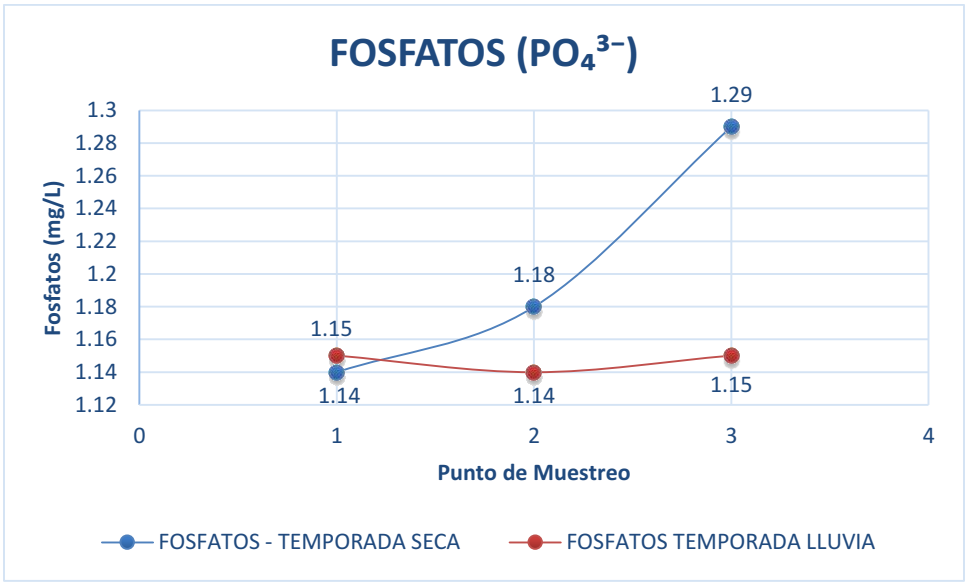



**Figura N°.33**

*Gráfico comparativo Fosfatos ($PO_4^{3-}$) de Época Seca y Época Lluvia*



# 7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 7.3 Caracterización de familias de macroinvertebrados encontradas en el Rio Chisacá

### Familia Hyalellidae

Aunque la familia Hyalellidae (Figura Nº5), en el muestreo realizado en temporada seca no alcanzó más de un 3% (Figura N°21), en el muestreo realizado en temporada de lluvia fue una familia bastante representativa con un 16. 88% (Figura N°22), alcanzando así un 6.92% de la totalidad del muestreo (Figura N°23). Viven en aguas corrientes y remansos de quebradas, asociado a materia orgánica en descomposición, donde se forman densas poblaciones (Roldán 2003). “Algunas especies son detritívoras y depredadoras de zooplancton y larvas de quironómidos” (Fernández & Domínguez, 2001).

### Familia Planariidae

La familia Planariidae (Figura Nº6) representó un 5.58% del muestreo total (Figura N°23), y su diferencia de porcentaje entre temporadas no fue muy significativa pasando de un 4.64% en temporada seca (Figura N°21) a un 7.94% en temporada de lluvias (Figura N°22). Viven en aguas poco profundas, tanto correntosas como estancadas, debajo de piedras, troncos, ramas, hojas y sustratos similares, en ambientes acuáticos bien oxigenados, pero algunas especies pueden resistir cierto grado de contaminación, son fuente de alimento para ninfas de odonatos y otros insectos acuáticos (Roldán 1996).

Gamarra et. al (2012) indica que esta familia está asociada a comportamientos de desplazamientos lentos; su coloración oscura permite camuflarse en el sustrato que habitan; su nutrición está caracterizada por ser omnívoros.

### Familia Ancylidae

Al igual que la anterior familia, la familia Ancylidae (Figura Nº 7), no fue muy representativa en el muestreo realizado en temporada seca obteniendo tan solo un 3.43% (Figura N°21), pero en el muestreo realizado en temporada de lluvia aumentó su porcentaje a un 14.90% (Figura N°22), alcanzando así un 6.68% de la totalidad del muestreo (Figura N°23).

Roldán (1996) explica que estos molusco habitan en aguas corrientes y lagos; se caracterizan por ser sedentarios y lentos, encontrándose adheridos a la superficie inferior de sustratos duros como rocas y tallos que se encuentran, respecto a su alimentación son fitófagos y detrivoros.

### Familia Baetidae

La familia Baetidae (Figura Nº8), fue poco representativa en los muestreos, ya que como lo muestra la Figura Nº 21 representó el 0.18 % en el muestreo realizado en la época seca; 2.29% en la época lluvia (Figura Nº 22), y 0.13% en la totalidad de los muestreos (Figura Nº23). Lo anterior, se puede atribuir a que, en el río Chisacá, se puede apreciar un sustrato de tipo pedregoso y arenoso, y como lo indica Forero et al. (2016), en la arena, puede haber baja diversidad y riqueza de organismos de la familia Baetidae, ya que este sustrato es inestable y presenta baja disponibilidad de materia orgánica.

### Familia Simuliidae

La familia Simuliidae fue la familia más representativa y con mayor número de ejemplares en la totalidad del muestreo, abarcando un 74.72% del total de las familias muestreadas (Figura N°23); se encontró en estado de larva (Figura Nº 9) y en estado de pupa (Figura Nº10). Generalmente escogen sitios con flujos de agua continuo y rápido; se ubican cerca de la superficie donde existe mayor concentración de oxígeno sobre hojas o ramas o bien sustratos pedregosos libres de algas y fango que permiten su fijación, no se les encuentra sobre limo, ni tampoco cuando hay muchas algas unicelulares. Se encuentran con mayor frecuencia en

aguas correntosas, también en pequeños riachuelos naturales y artificiales. Son considerados indicadores de aguas oligotróficas, estas aguas tienen baja producción de algas, y consecuentemente, poseen aguas sumamente claras, con alta calidad para posterior potabilización. (Coscarón, 2000; Roldán, 1996).

**Familia Philopotamidae**

La familia Philopotamidae (Figura Nº11), abarcó un porcentaje bajo, teniendo en época seca 2.21% (Figura Nº21) y en época lluvia un 2.98% (Figura Nº22); representando en el porcentaje un 2.43% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

Roldán (2003) y Springer (2010) explican que su hábitat esta en aguas de fondos pedregosos y poca corriente; y las larvas viven en quebradas y ríos con corriente, donde se pueden encontrar en acumulaciones de hojarasca y piedras. Su alimentación está basada en materia orgánica fina; las larvas de algunas especies de esta familia tienen preferencia por quebradas pequeñas muy limpias tipo nacientes y ojos de agua.

**Familia Aeshnidae**

La familia Ashinidae (Figura Nº19), no se encontró en época seca, en época lluvia abarcó un 0.15% (Figura Nº22); y representó un 0.02% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

Ladrera (2012) explica que esta familia se encuentra en una gran cantidad de hábitats, sin embargo, es más frecuente encontrarlos en zonas como pequeñas lagunas o remansos caracterizados por tener poca o nula corriente en sus cursos fluviales. Las larvas de esta familia tienden a tener grandes tamaños, y se caracterizan por ser grandes consumidores que requieren aguas de buena calidad para vivir.

### Familia Glossiphoniidae

La familia Glossiphoniidae (Figura Nº12), abarcó un porcentaje bajo, teniendo en época seca 0.7% (Figura Nº21), en época lluvia incrementó a un 2.83% (Figura Nº22); representando un 1.30% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

Tello et al. (2007) indica que esta familia se encuentra frecuentemente en ambientes lenticos y loticos, los cuales están relacionados con macrófitos acuáticos donde el sustrato es el idóneo para poder tener refugio y alimentación; de esta manera, algunos charcos y lagunas con buena vegetación se vuelven ambientes adecuados para el aumento de su población.

Por otro lado Roldán (2003), expone que se quedan adheridos a troncos, residuos vegetales, rocas, plantas y plantas. Además, toleran concentraciones bajas de oxígeno, y su abundancia se da frecuentemente en lugares con concentraciones altas de materia orgánica en descomposición, las cuales están asociadas a procesos eutróficos.

### Familia Tubificidae

La familia Tubificidae (Figura Nº14), abarcó un porcentaje bajo, teniendo en época seca 0.09% (Figura Nº21), en época lluvia incrementó a un 0.15% (Figura Nº22); representando un 0.11% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

Esta familia se encuentra caracterizada por tener especies de color rojo (presencia de hemoglobina) o blanco (no desarrollan hemoglobina) el cual depende del hábitat donde se encuentre; es decir si su coloración es roja, es porque el medio tendrá una alta cantidad de materia orgánica en descomposición y una baja concentración de oxigeno; pero si su color es blanco, este será indicador aguas con mejores condiciones de calidad; sin embargo son indicadores de aguas contaminadas en niveles altos . Son organismos detrivoros y viven en

remansos de sistemas lóticos o en los sedimentos de los sistemas lénticos. (González et al. 2016).

**Familia Planorbidae**

La familia Planorbidae (Figura Nº17), abarcó un porcentaje bajo, teniendo en época seca 0.15% (Figura Nº21), en época lluvia incrementó a un 0.15% (Figura Nº22); representando un 0.26% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

Gamarra et al. (2012) señala que esta familia es tolerante a la contaminación moderada; y habita en todos los tipos de aguas, excepto en aguas ácidas; en las aguas loticas se encuentran en partes lentas de los ríos, que tienen presencia de plantas acuáticas. Su alimentación está caracterizada por el consumo de algas del perifiton, macrofitas y detritus.

**Familia Staphylinidae**

La familia Staphylinidae (Figura Nº15), abarcó un porcentaje bajo, teniendo en época seca 0.03% (Figura Nº21), en época lluvia no tuvo presencia; representando un 0.02% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

La familia Staphylinidae está caracterizada por ser indicadora de aguas medianamente contaminadas. Su etapa adulta terrestre asociada a zonas ribereñas; sus larvas tienen 3 etapas en sus estadios también caracterizadas por tener su etapa terrestre, sin embargo, hay ocasiones donde se encuentran en hábitats semiacuáticos (Gamarra et al.2012).

**Familia Musicidae**

La familia Musicidae (Figura Nº13), abarcó un porcentaje bajo, teniendo en época seca 0.18% (Figura Nº21), en época lluvia no se encontró ningún individuo de esta familia; representando un 0.13% en el porcentaje general de los dos muestreos (Figura Nº23).

Roldan (1996) explica que los individuos de esta familia se encuentra normalmente en ríos, adheridos a rocas; sus larvas se encuentran en materia orgánica en descomposición de origen vegetal, pueden ser también saprófagas (alimentación de materia orgánica en putrefacción).

**Familia Oniscidae y Lumbriculidae**

Las familias *Oniscidae* (Figura Nº16) y *Lumbriculidae* (Figura Nº18), no fueron usadas para el cálculo de los índices BMWP/Col y ASPT, debido a que no hay información disponible para Colombia sobre el puntaje de estas familias. Sin embargo, de acuerdo a investigaciones como la de Pérez (2010) en Chile se puede saber que la familia Oniscidae se alimenta de materia organica en descomposición, por otro lado, la familia Lumbriculidae revela dinámicas de comportamiento caracterizadas como indica Wetzel (2001) por tener individuos detrivoros (se alimentan de materia orgánica en descomposición); y su presencia se encuentra relacionada con procesos de acumulación y descomposición de material orgánico, así como también altas conductividades, durezas y alcalinidades en el agua.

## 7.4 Índices de Calidad del Agua

**BMWP/Col y ASTP**

El Índice BMWP/Col para la temporada seca (Tabla Nº7 ) nos indica que el primer punto tuvo un BMWP/Col de 61, el cual corresponde a aguas ligeramente contaminadas, también registró un puntaje de ASPT de 5.54; para el segundo los puntajes de BMWP/Col y ASPT, tuvieron un valor de 60 y 5.45 respectivamente, lo cual corresponde a aguas moderadamente contaminadas en el BMWP/Col; y finalmente para esta temporada, el puntaje del tercer punto para el BMWP/Col y ASPT, fue de 55 y 5.5 respectivamente, determinando que el BMWP/Col, corresponde a aguas moderadamente contaminadas como el anterior.

Para la época lluvia (Tabla Nº8), el primer punto tuvo un BMWP/Col de 54, el cual corresponde a aguas moderadamente contaminadas, también registró un puntaje de ASPT de 6; para el segundo y tercer punto de muestreo, los puntajes de BMWP/Col y ASPT, tuvieron un valor de 52 y 6.5 respectivamente, lo cual corresponde a aguas moderadamente contaminadas en el BMWP/Col.

El valor del BMWP/Col (Tabla Nº7) para el muestreo de época seca presentó una disminución en su calidad, ya que para el primer punto presento aguas ligeramente contaminadas; pero luego para el segundo y tercer punto la calidad del agua ya fue de aguas moderadamente contaminadas (Figura Nº24). Respecto a la época lluvia (Tabla Nº8) la calidad del agua disminuyó en puntaje, sin embargo, los rangos se mantuvieron cercanos, e incluso el segundo y tercer punto compartieron el mismo valor, caracterizando los 3 puntos por estar compuestos de aguas moderadamente contaminadas (Figura Nº25). Las calidades del agua aceptable y dudosas encontradas en los muestreos de época lluvia y época seca, permitieron la presencia de familias como la Philopotamidae, Simuliidae, Hyalellidae, Baetidae y Planaridae las cuales son las que menos toleran las aguas contaminadas.

Respecto al valor de ASPT se puede observar para la temporada seca (Tabla Nº7) un rango de 5.4 a 5.5, y para la temporada de lluvia el (Tabla Nº8) ASPT se mantuvo en un rango de 6 a 6.5. Estos resultados asociados a los del BMWP/Col indican que en el Rio Chisacá no se encuentra una condición grave de contaminación, en el tramo localizado entre los 3150 y los 2994 m.s.n.m.

## 7.5 Índices de Biodiversidad

### Índice Alfa- Margalef

Como los valores obtenidos tanto para la temporada seca como para la temporada de lluvias se encuentran por debajo de 2 (Tabla Nº3- Tabla Nº4). Se puede deducir que en los puntos de muestreo se presentan ecosistemas con una baja riqueza de familias, en las cuales se pudo evidenciar que por sus características morfológicas no hay diferentes morfoespecies; lo cual permite inferir que también hay una baja riqueza de especies, y por tanto biodiversidad.

### Índice Beta- Jaccard

Como se mencionaba anteriormente, el intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 a medida que aumenta el número de especies compartidas en los dos sitios. En este caso todos los valores obtenidos en general tienen más cercanía a 1 que cero (Tabla Nº9), sin embargo, donde más se pudo determinar que había familias compartidas, fue del punto 2 al punto 3 tanto en temporada seca con un valor de 0.82 (Figura Nº26), como en temporada lluvia, con un valor de 0.89 (Figura Nº27). Mientras que donde menos se encontraron familias compartidas fue del punto 1 al punto 3 para temporadas seca con un valor de 0.62 y del punto 1 al punto 2 en la temporada lluvia con un valor de 0.64.

## 7.6 Parámetros Fisicoquímicos

**Sólidos Sedimentables:** En los dos muestreos los resultados tuvieron una variación entre 0.1 mL/L y 0 mL/L como se puede observar en el gráfico comparativo (Figura N°28).La presencia de sólidos sedimentables fue en general baja o en algún caso nula, teniendo en cuenta que generalmente correspondió a un 0.01% del mayor valor que podría obtenerse en sólidos sedimentables exceptuando la temporada lluvia, que para el tercer punto fue un 0%, lo cual se

puede inferir que se da por el aumento del caudal ocasionado por las lluvias, donde se puede inferir que en el tercer punto hubo una mayor fuerza de arrastre en los sólidos.

Estos sólidos presentes en el río Chisacá están conformados por partículas, las cuales Secretaria Distrital de Salud (2014) menciona que son arcillolitas, las cuales están definidas como rocas sedimentarias con tamaños de tipo arcilla , con una composición que en general se caracteriza por la presencia de compuestos como hidróxidos de aluminio e hidróxidos de hierro; y areniscas arcillosas mencionadas por el autor (Secretaria Distrital de Salud ,2014) como rocas sedimentarias que están conformadas por mínimo un 85% de granos de cuarzo medianamente redondeados con tamaños de arena entre los 0,0625 y 2 mm; estas partículas en su mayoría hacen parte del sustrato del cuerpo hídrico, y posteriormente serán eliminadas en el proceso de tratamiento para consumo humano.

**Temperatura agua:** La temperatura del agua se mantuvo en un intervalo de 12.4ºC a 16.5ºC, como se puede observar las variaciones de la temperatura del agua para la época seca se dan entre 0.7°C y 2.5ºC, mientras que para la época lluvia se dan variaciones entre 1.8ºC y 4°C (Figura Nº.29).

Teniendo en cuenta que no solamente la contaminación antrópica influye en la distribución y crecimiento de las especies, sino que también se deben considerar factores climáticos y geográficos que alteran una comunidad, es notable una disminución del número de familias recolectadas en el muestreo realizado en temporada de lluvias.

Esto puede ser explicado por los cambios repentinos de temperatura en el agua que llevan a ocasionar mortalidad en la vida acuática, así mismo, los aumentos de temperatura traen consigo la disminución de la solubilidad de los gases, afectando los niveles de oxígeno (Lampert & Sommer, 2007); por otro lado Serna (2018), afirma que las temperaturas

inadecuadas se pueden manifestar con afectaciones en la reproducción, el metabolismo, en los modelos de crecimiento y la movilidad (migración de los organismos). Esto se puede apreciar en el Figura Nº29, donde para muestreo de época lluvia se evidencian cambios bruscos de temperatura, factor que influyó en la disminución de la presencia de los macroinvertebrados acuáticos, donde para la época seca habían 3299 individuos y en época lluvia bajó a 1309 , lo que significa una disminución de 60.32%.

Esto va directamente relacionado con la caracterización de Colombia ya que al ser zona tropical los macroinvertebrados acuáticos no resisten los cambios fuertes de temperatura como los explicados por Moya et al. (2009) quien afirma que cambios de 3ºC, ponen en riesgo de extinción local entre el 5 y el 12% de los individuos; mientras que como menciona Roldán (2012) lugares que tienen cambio de estaciones, permiten que los organismos desarrollen una mayor resistencia a dichos cambios.

**Conductividad:** La conductividad en época seca tuvo variaciones entre 30.7 µS/cm y 41.1 µS/cm, mientras que para el muestreo en época lluvia la conductividad tuvo variaciones entre 31.6 µS/cm y 33.4 µS/cm como se puede evidenciar en la Figura Nº30. La disminución de la conductividad en el época lluvia respecto a la época seca puede ser explicada por Zuñiga et al. (2015), quien afirma que la conductividad tiene tendencias a disminuir cuando hay temporadas lluvias por el incremento de los caudales en los ríos, además de que el agua de lluvia aporta muy poco a la conductividad.

El rango de valores obtenidos coincide con la conductividad de las aguas tropicales de montaña explicadas por Roldán (2012), como aguas que presentan conductividades bajas, que se encuentran en rangos de 10 µS/cm y 50 µS/cm; para estos ecosistemas acuáticos de alta montaña cuando se presenta un aumento en la conductividad ocasionado por actividades antrópicas, se da una disminución en la diversidad de familias. Sin embargo, aunque el aumento más significativo de conductividad fue en época seca de 30.7 µS/cm a 41.1 µS/cm

(Figura Nº30), este factor no influyó en una disminución de la población de familias, ya que para muestreo de época seca como se evidencia en la Tabla Nº3, del punto 1 al punto 2 se generó un aumento de individuos. Se puede inferir que la conductividad no fue influyente porque a pesar del aumento, los rangos se mantuvieron en lo que denomina Roldán (2012) como conductividades bajas.

**pH:** El pH se caracterizó por ser ácido con una tendencia marcada a ser neutro tanto para la época seca, como para la época lluvia, con valores entre 6.43 a 6.88. De acuerdo al decreto 1594 de 1984, en su artículo 38 el cual establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico, indicando que solo requiere un tratamiento convencional, el rango de pH debe estar entre 5 y 9 unidades; por consiguiente, el pH obtenido en los dos muestreos es admisible.

Roldan (2012) expone que el causante de cambios drásticos en el pH en los ecosistemas acuáticos es la contaminación con residuos orgánicos o industriales; sin embargo, dentro de los resultados obtenidos (Figura N°.31) se puede apreciar que no se dan cambios drásticos en el pH en la época seca respecto a la época lluvia, lo cual explica que pese a que el número de familias disminuyó de 13 (Tabla N°. 3) en el muestreo realizado en época seca a 11 (Tabla N°. 4) en el muestreo realizado en época lluvia, y se dio una disminución de individuos en general, este factor no es el causante.

También permite inferir que el río Chisacá para este trayecto no se encuentra afectado notablemente por contaminación de residuos orgánicos e industriales, pese a la presencia humana que se puede observar cerca al río. No obstante, también se puede observar que para el punto dos (Figura Nº31), tanto en época seca, como en la época lluvia, los valores de pH fueron cercanos, esto permite inferir que en este lugar persisten las mismas actividades antrópicas durante los dos muestreos, las cuales como podemos observar en el Anexo Nº5 se concentran en la ganadería que puede ser aportante de materia orgánica, característica que

justifica la presencia en este punto de familias que basan su alimentación en materia organica (M.O), como la Hyalellidae, Baetidae, Philopotamidae, Glossiphoniidae, Lumbriculidae y Planorbidae.

**Nitratos:** Los Nitratos registrados para el muestreo de época seca y muestreo de época lluvia tuvieron variaciones entre 0.57 ppm (mg/L) y 1.19 ppm (mg/L) como se puede visualizar en la figura Nº.32. De acuerdo al decreto 1594 de 1984, en su artículo 38, el valor máximo admisible para Nitratos es de 10 ppm (mg/L); por lo cual los valores obtenidos en los muestreos no exceden el límite máximo permisible, si no que por el contrario, se encuentran en un rango muy bajo respecto a la normativa.

Para el muestreo de época lluvia se presentó un aumento en la concentración de nitratos (Figura Nº.32) ; Roldan (2012), explica que las fuentes principales del nitrógeno en el agua son la contaminación orgánica y la agricultura, esto explica el aumento de nitratos evidenciado en la figura Nº.32 a medida que disminuye la altitud y se encuentra más presencia humana en la ronda cercana; como se puede visualizar en el Anexo Nº.5 la presencia antrópica cercana al río se da con grandes grupos de ganado y cosechas recientes que dan estos aportes de contaminación orgánica y de abonos provenientes de la agricultura.

Lo anterior se puede contrastar con investigaciones como la de Bastidas & Rodríguez (2017) en aguas de alta montaña, quienes evaluaron la cuenca alta del río Chisacá en la laguna La Virginia (Figura Nº1), donde no se presentan afectaciones de tipo agronómicas, obteniendo un valor de 0.07 mg/L en Nitratos, valor que está muy por debajo de los datos obtenidos en la presente investigación, con las variaciones ya mencionadas entre 0.57 mg/L y 1.19mg/L.

Rivera et al. (2013) menciona que el crecimiento por año de macroinvertebrados, se relaciona con compuestos nitrogenados como los nitratos, que estimulan la producción en sistemas bióticos y por lo tanto, también la población de macroinvertebrados acuáticos; de esta manera

correlacionan estadísticamente la presencia de familias como la Glossiphonidae, que presenta crecimientos cuando se dan aumentos de parámetros como los nitratos. Esto se puede apreciar tanto en temporada seca, como en temporada lluvia donde a medida que aumentaba la concentración de nitratos, aumentaba también el número de individuos encontrados de esta familia; cabe aclarar que fueron pocos los individuos que se encontraron de esta familia, la cual tiene además de acuerdo al BMWP/Col (Tabla Nº1) son indicadores de aguas de relativamente alta contaminación.

**Fosfatos:** El nivel de fosfatos como menciona Roldan (2012) se relaciona directamente con el uso excesivo de abonos en la agricultura y vertimiento de las aguas residuales domésticas.

Para el muestreo en época lluvia la concentración de fosfatos fue menor que la de época seca (Figura N°.33), esto se puede inferir que se da por el aumento del caudal que se da en épocas de lluvia.

No es posible relacionar este parámetro con la normativa vigente, de aguas que tienen futuro a ser potabilizadas, ya que el decreto 1594 de 1984, no contempla valores máximos permisibles para fosfatos. En los dos muestreos el punto que registró una mayor concentración fue el punto 3, el cual, para el muestreo de época seca, se podía apreciar que estaba caracterizado por colindar con un cultivo de papa lo cual pudo generar este incremento en la concentración de fosfatos por la utilización de agroquímicos. La diferencia entre el nivel de nitratos más bajo (Figura Nº32), asociado a una mayor de concentración de fosfatos (Figura Nº33,) se puede inferir que está relacionado directamente con lo establecido por Núcleo Ambiental (2015) en el manual de la papa, quienes afirman que para un cultivo de este tubérculo, es necesario aplicar 390 kg/ha de sulfato de potasio, 1.050 kg/ha de fosfato simple y 390 kg/ha de nitrato de amonio.

El resultado de concentración de Fosfatos obtenido al compararse con investigaciones como la ya mencionada de Bastidas & Rodríguez (2017), quienes evaluaron la cuenca alta del río Chisacá en la laguna La Virginia (Figura Nº1), donde no se presentan afectaciones de tipo agronómicas, obteniendo un valor de 0.21 mg/L en Fosfatos, valor que es significativamente menor respecto a los datos obtenidos en la presente investigación, con las variaciones entre 1.14 y 1.29 mg/L (Figura Nº 33).

Respecto a la concentración de fosfatos asociada a la cantidad de individuos encontrados en cada punto de muestreo tanto en época seca, como en época lluvia, no se encuentra una correspondencia significativa, ya que la cantidad de individuos no parece variar respecto al aumento o disminución de este parámetro.

# 8 CONCLUSIONES

- Los resultados de los índices BMWP/COL y ASPT permitieron determinar que la calidad del agua del río Chisacá no se encuentra en condiciones muy graves de contaminación, lo que la hace ideal para posteriormente ser tratada y luego distribuida como agua para consumo humano.
- La predominancia de las familias Simuliidae, Hyalellidae, Ancylidae, y Planariidae permiten concluir que el río Chisacá posee aguas con características oligotróficas en sentido de su claridad y calidad para potabilización, pero con un flujo continuo y rápido; que propician mayormente el crecimiento de familias de macroinvertebrados que tienen baja tolerancia a la contaminación.
- Los niveles de pH y concentración de Nitratos no exceden los límites máximos permisibles de acuerdo a la normativa legal vigente para aguas que tienen destino a ser potabilizadas.
- El incremento en la concentración de Fosfatos se puede asumir que se debe a fertilizantes provenientes de cultivos de papa, los cuales requieren una mayor cantidad de fosfatos para su cosecha.
- Se puede concluir que la conductividad no fue un parámetro influyente en la cantidad de individuos y familias de macroinvertebrados, porque los rangos se mantuvieron en lo que está definido como conductividades bajas.
- El índice de biodiversidad, Diversidad alfa-índice de Margalef indica que en general hubo una baja biodiversidad en la comunidad de familias de macroinvertebrados acuáticos de los dos muestreos, sin embargo, se puede notar que se presentó una mayor biodiversidad en el muestreo de época seca. Por otro lado, para la Diversidad beta-índice de Jaccard se puede notar que los puntos que tuvieron un mayor índice de familias compartidas, fueron el punto 2 y el punto 3, esto se da porque a medida que el

rio disminuía su altitud, las actividades antrópicas cercanas al cuerpo de agua eran similares, caracterizándose por tener cultivos y ganado.

# 9 RECOMENDACIONES

- Se requieren estrategias para la protección del cuerpo hídrico por parte la empresa de acueductos y alcantarillados de Bogotá (EAAB), ya que, si bien la zona cuenta con letreros que informan la prohibición de ingreso o bañarse en el río, la falta de vigilancia en el lugar propicia que estas restricciones no se cumplan en absoluto.
- Se recomienda al EAAB realizar visitas de verificación del cumplimiento a la ronda del río Chisacá, ya que en zonas como el punto 3, se pudo evidenciar que las comunidades no respetan esta ronda, teniendo construcciones, cultivos y ganado a pocos metros del río; no solo afectando la calidad del agua, si no poniendo en peligro su integridad en caso de presentarse crecientes en temporadas de lluvias.
- Se recomienda en las siguientes investigaciones medir adicionalmente parámetros fisicoquímicos como Oxígeno disuelto, y Demanda química de Oxígeno para poder ver la influencia y su afectación en los resultados del muestreo biológico.
- Se recomienda medir parámetros microbiológicos como Coliformes totales y Coliformes fecales, para poder tener un punto de vista de estos respecto a la normativa vigente y si afecta en el tratamiento que se le dará posteriormente al agua.
- Se recomienda realizar investigaciones que permitan ampliar la información sobre más familias de Macroinvertebrados en Colombia a modo de poder complementar el índice BMWP/COL para futuras investigaciones de bioindicación.

# 10 BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Protección del Medio Ambiente de California. (2013). *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica y Salinidad (Folleto Informativo 3.1.3.0).* EPA. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf

Alcaldía local de Usme. (2017). *Atlas Usme Ambiental*. Alcaldía Mayor de Bogotá. http://www.usme.gov.co/sites/usme.gov.co/files/documentos/atlas_usme_ambiental_2017._vf.pdf

Alpízar, L. (2001). *Hidroponía. Cultivo sin tierra.* Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Álvarez, L. (2005). *Metodología para la utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.* Instituto de Investigación de Recursos Alexander Von Humbold. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/31357/1/05-0424PS.pdf

Álvarez, L., Monsalve, A., Torres O., Arango, G., & Arango, M. (2008). Calidad Del Agua De Las Quebradas La Cristalina Y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA, 9 (1794-1237), 121-141. http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n9/n9a10.pdf*

Atlas, R. & Bartha, R. (2001). *Ecología microbiana y microbiología ambiental.* Addison-Wesley Iberoamericana Espana, S.A. https://www.geogpsperu.com/2019/09/ecologia-microbiana-y-microbiologia.html

Bastidas, J. & Rodríguez, B. (2017). *Diversidad y Biomasa de Macroinvertebrados Acuáticos en Función de la Arquitectura de las Macrófitas Sphagnum Aciphyllum (Müll. Hal.) y Ranunculus Flagelliformis (Smith) en la Laguna La Virginia, Páramo Sumapaz.* [Trabajo de grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. Repositorio Institucional

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. EXPEDITIO. https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/

Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, *30* (4), 15-27. https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf

Carrera, C. & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: Los Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores de la Calidad del Agua*. EcoCiencia. https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374

Chávez, L., Espinosa, A., & Molina, G. (2020). Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón. *Tecnura, 24*(65), 49-63. https://doi.org/10.14483/22487638.15773

Coscarón, C. (2000). The salivary gland chromosomes of the black fly Simulium (Pternaspatha) limay (Diptera: Simuliidae) from Argentina. *Revista Colombiana de Entomología,* 26(3) ,137-143. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19341343/

Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 26 de Junio de 1984. D.O. Nº 36.700

Domínguez, E. & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. Fundación Miguel Lillo. https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_bentonicos_

Sudamericanos_Sistematica_y_Biologia

Donoso, R. & Cortés, S. (2018). Exposición a nitratos en agua y su relación con disfunción de la glándula tiroides: revisión sistemática ¿Existen riesgos para la salud de la población?. *Revista médica de Chile*, *146* (2) ,223-231. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872018000200223

Fernández, H. & Domínguez, E. (2001). Guía para la determinación de Artrópodos Bentónicos sudamericanos. Tucumán – Argentina: Universitaria de Tucumán. http://www.insecta.bio.spbu.ru/z/pdf/DominguezHubbardPescadorMolineri2001p17.pdf

Forero, A., Gutiérrez, C., & Reinoso, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica, 26*(3), 459-474.http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300459

Fossati, O. & Calvez, R. (2005). *Proyecto para definir caudales ecológicos en ríos del Sistema Papallacta-Plan de trabajo para monitoreo de macroinvertebrados como indicadores para caudales ecológicos.* EMMAP-FONAG-IRD. https://docplayer.es/84384344-Proyecto-para-definir-caudales-ecologicos-en-rios-del-sistema-papallacta.html

Gamarra, Y., Restrepo, R., & Cajigas, A. (2012). *Guía de campo de los macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Menzuly –Santander – Colombia.* Ediciones Universidad Industrial de Santander. https://www.academia.edu/6031723/Gu%C3%ADa_de_campo_de_los_macroinvertebrados_acu%C3%A1ticos_de_la_quebrada_Menzuly_Santander_-_Colombia

Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de malariología y salud ambiental, 48* (2), 109-120.

https://www.researchgate.net/publication/239586192_Macroinvertebrados_bentonicos_como_bioindicadores_de_salud_ambiental

García, S., Arguello, A., Parra, R., & Pincay, M. (2019) Factores que influyen en el pH de agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *Revista de la Universidad Internacional del Ecuador, 4* (2), 59-71. https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909

González, S., Ramírez, Y., Meza, A., & Dias, L. (2012). Diversidad de Macroinvertebrados Acuáticos Y Calidad De Agua De Quebradas Abastecedoras Del Municipio De Manizales. *Boletín Científico- Centro de Museos- Museo de Historia Natural*, *16*(2), 135-148.http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682012000200012&lng=en&tlng=es.

González, A., Rivera, A., Granada, D., Contreras, E., Patiño, Y., Jaramillo, J., & Valencia, M. (2016). *Hidrobiológicos de la Jurisdicción de Corantioquia / Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.* Editorial CORANTIQUIA. https://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/Hidrobiologicos_Jurisdicci%C3%B3n_Corantioquia-1.pdf

Gonzáles, C., Vallarino, A., Pérez, J., & Low, A. (2014). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-Guardianes-de-nuestro-futuro-ambiental.pdf*

Gualdrón, L. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Revista Universidad libre – Dinámica Ambiental, 1* (1), 83-102. https://core.ac.uk/download/pdf/229944869.pdf

Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Introducción a los Grupos de Macroinvertebrados Acuáticos. *Revista Biología Tropical, 58*(4) ,3-37. *http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001*

IDEAM. (2006). *Conductividad eléctrica en agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4

Juárez, A., Herrera, N., Martínez, J., & Reyes, M. (2016). Diversidad y Estructura de la Selva Mediana Subperennifolia de Acapulco, Gro, México. *Revista Iberoaméricana de las ciencias biológicas y agropecuarias, 5* (10) ,50-69. https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/58

Ladrera R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental. 39* (1), 24-29. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4015812.pdf

Lampert, W. & Sommer, U. (2007). *Limnoecology, the ecology of lakes and streams.* Oxford University Press. https://books.google.com.gt/books?id=PCaQDwAAQBAJ&pg=PA75&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false

Lanza, G., Pulido, S., & Carbajal, J. (2000). *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores).* Plaza y Valdés S.A. https://books.google.com.co/books?id=DfXiBOYXb98C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

LeJeune, J., & Wetzel, A. (2007). Preharvest control of *Escherichia coli* O157 in cattle*. Journal of Animal Science, 85* (13), 73-80. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17145967/

Lozano, J. (2018). *Estructura y dinámica del medio ambiente.* Síntesis, S.A. https://www.sintesis.com/data/indices/9788491711377.pdf

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. *Información Tecnológica*, *27* (4), 103-110.https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000400011

Meza, A., Rubio, J., Dias, L., & Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río chinchiná. *Caldasia*, *34*(2), 443-456. https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39163

Miner, R., Humenik, F., & Overchash, R. (2000). *Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality*. Iowa State University Press. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300052443

Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad.* CYTED/ORCYT-UNESCO/SEA. https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad

Moya, N., François, G., Oberdorff, T., Rosales, C., & Domínguez, E. (2009). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología aplicada*, 8(1-2), 105–114. http://www.redalyc.org/pdf/341/34112150012.pdf

Núcleo ambiental, 2015. *Manual papa*. Cámara de Comercio de Bogotá. https://www.ccb.org.co/content/download/13727/175111/file/Papa.pdf

Orta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad, 6* (1562-3009), 55-62. https://www.redalyc.org/pdf/2091/209118292006.pdf

Pérez, J. (2010). Familias de Isópodos Terrestres (Crustacea: Isopoda: Oniscidea) De Chile: Sinopsis y clave de identificación). *Boletín de Biodiversidad de Chile,* 4(1), 63:82. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3405937.pdf

Ramos, O., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2002). *El Agua en el Medio Ambiente-Muestreo y Análisis.* Plaza y Valdés S.A de C.V. https://books.google.co.cr/books?id=b8l-xhcHPEYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Rivera, J., Pinilla, G., & Rangel, J. (2013). Ensamblaje de Macroinvertebrados Acuáticos y Su Relación Con Las Variables Físicas y Químicas en el Humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia, 35* (2), 389-408. http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v35n2/v35n2a13.pdf

Rodríguez, J. (2016). *Evaluación limnológica del embalse la regadera, sus tributarios y la zona de descarga del río Tunjuelo. Usme Cundinamarca*. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional Universidad Militar Nueva Granada UMNG. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15301/1/Orjuela Rodriguez Jorge Yecid2016.pdf.

Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* FEN COLOMBIA-COLCIENCIAS-UDEA. https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Col.* Editorial Universidad de Antioquia.

Roldán, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.* Imprenta Nacional de Colombia. https://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/37633#page=6

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,* 40(155), 254-274. http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf

Romero, J. (2002). *Calidad del agua.* Escuela Colombiana de Ingeniería. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/calidad_del_agua.pdf

Samboní, R., Carvajal, N., Escobar, Y., & Escobar, J. (2007).Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación, 27*(3), 172-181.http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092007000300019&script=sci_abstract&tlng=es

Secretaría Distrital de Salud (2014). *Mapa de Riesgo de La Calidad del Agua Para Consumo Humano PTAP el Dorado Empresa de Acueducto de Bogotá Localidad de Usm*e. Alcaldía Mayor de Bogotá. http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Documentos/Mapa_riesgo_PTAP_El_Dorado.pdf

Serna, M. (2018). *Propuesta De índice De Calidad Del Agua, Como Herramienta Para El Desarrollo Sustentable En Cuerpos De Aguas Superficiales De La Ciudad De Bogotá* [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13166/SernaMosqueraJorgeAntonio2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Springer, M. (2010). Capítulo 3: Biomonitoreo acuático*. Revista de Biología Tropical, 58*(4), 53-59.http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-

77442010000800003&lng=en&tlng=es.

Tello, P., Jerez, V., & Olmos, V. (2007). Sanguijuelas (Hirudinea: Glossiphoniidae) asociadas a Cryphiops caementarius (Decapoda: Palaemonidae) del Río Limarí, Chile. *Revista de Biología Tropical*, *55*(1), 255-260. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442007000100027&lng=en&tlng=es.

Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina.* Euroclima-CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1

Vargas, O., Franco, L., León, O., & Rodríguez, C. (2013). *Restauración Ecológica Participativa En La Cuenca Alta Del Río Tunjuelo, Microcuenca Del Río Chisacá (Localidad De Usme).* Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/profile/Orlando_Vargas2/publication/262935616_RESTAURACION_ECOLOGICA_PARTICIPATIVA_EN_LA_CUENCA_ALTA_DEL_RIO_TUNJUELO_MICROCUENCA_DEL_RIO_CHISACA_LOCALIDAD_DE_USME/links/00b49539618020815a000000.pdf

Vargas, R. (2014). *Identificación De Estrategias De Gestión Ambiental.* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana] Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/13525.

Wetzel, R. (2001). *Limnology, Lake and river ecosystems. 3ed edition.* Academic Press, USA.

# 11 ANEXOS

## 11.3 Anexo 1. Muestreo con Red Surber



## 11.4 Anexo 2. Multiparámetros LEYBOLD- 524 005/MOBILE CASSY 2



## 11.5 Anexo 3. Cono Imhoff



## 11.6 .Anexo 4. Rótulo para trabajo en campo

| | |
|---|---|
| Fecha: | |
| Punto: | |
| Hora: | |
| TA(°C): | |
| TW(°C): | |
| pH: | |
| SS(mL/L): | |
| Conductividad(us/cm): | |
| Nitratos(mg/L): | |
| Fosfatos(mg/L): | |

## 11.7 Anexo 5. Puntos de muestreo

| PUNTO DE MUESTREO N°1 |
| --- |
|  |
|  |



**PUNTO DE MUESTREO N°2**









Actividades antrópicas aledañas al punto N°2

**PUNTO DE MUESTREO N°3**

