

**BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO SUBACHOQUE  
MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS Y PARAMETROS  
FISICOQUIMICOS COMO UNA INTEGRACION ESPACIAL Y TEMPORAL.**

**MARÍA DEL PILAR DAZA RODRIGUÉZ  
DERLY JANETH PATIÑO RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
TECNOLOGIA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**2016**

**BIOINDICACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO SUBACHOQUE  
MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS Y PARAMETROS  
FISICOQUIMICOS COMO UNA INTEGRACION ESPACIAL Y TEMPORAL.**

**MARÍA DEL PILAR DAZA RODRIGUÉZ**

**COD: 20102085016**

**DERLY JANETH PATIÑO RAMIREZ**

**COD: 20122085088**

**TRABAJO EN MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN COMO REQUISITO PARA  
OPTAR EL TITULO EN TECNOLOGOS EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**ORLANDO RODRIGUEZ CASTELLANOS**

**DIRECTOR**

**JAYERT GUERRA RODRIGUEZ**

**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
TECNOLOGIA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**2016**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

-----  
-----  
-----

-----

**JURADO**

-----

**DIRECTOR**

-----

**CODIRECTOR**

**NOTA DE ADVERTENCIA**

**“Todas las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad  
y no expresan necesariamente las opiniones de la Universidad”**

**(Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998)**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a Dios, por concedernos la oportunidad de realizarlo y obtener bellas experiencias y también grandes dificultades, ya que gracias a estas, aprendimos a buscar soluciones. Este trabajo de grado refleja en parte esa enseñanza.

A nuestros padres Miguel Patiño, Guillermo Daza y Rosa Aura Rodríguez, que nos apoyaron con dedicación y paciencia durante el tiempo que tardo el proyecto, en las etapas anímicas como económicas, éticas y morales; y por supuesto a nuestros hermanos (as), tíos y demás familiares, que son el motor fundamental para la culminación de nuestra carrera universitaria.

A nuestros amigos y compañeros que nos han aportado, aconsejado y colaborado en las actividades que demandó la realización de este trabajo, lo cual nos facilitó la labor realizada.

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras de este proyecto agradecemos a las siguientes personas:

A nuestro Director, Profesor Orlando Rodríguez, por su dedicación, paciencia, tiempo y sobre todo por la formación académica que nos brindó como investigadoras en la realización de este proyecto. De igual manera agradecemos a nuestro Codirector, Profesor Jayerth Guerra, quien nos aportó su conocimiento en el área de calidad del agua desde el punto de vista de parámetros fisicoquímicos.

Agradecemos también a los coordinadores de los laboratorios de Biología, Calidad de aguas y sus auxiliares, por facilitarnos los equipos, materiales y reactivos para los análisis correspondientes, de igual manera agradecemos al profesor Diego Tomas Corradine quien además de ser nuestro revisor inicial nos facilitó el laboratorio de zoonosis, para la determinación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos.

Al profesor Rodulfo Ospina Torres y su colaboradora Sandra Jaimes, Biólogos de la Universidad Nacional por la verificación de los organismos colectados. Finalmente a nuestro amigo Cesar Castro por su apoyo y disposición durante todo el proyecto.

# TABLA DE CONTENIDO

## INTRODUCCION

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	19
¿Qué variables biológicas y fisicoquímicas se relacionan con la Riqueza y abundancia de macroinvertebrados en el área de estudio?	
<b>2. JUSTIFICACION</b> .....	20
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	21
3.1 Objetivo General	
3.2 Objetivos Específicos	
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	22
4.1 MARCO GEOGRAFICO.....	22
4.1.1 Localización Geográfica.....	22
4.1.2 Climatología.....	25
4.1.3 Vegetación Característica.....	25
4.1.4 Geomorfología.....	25
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	26
4.2.1 Aguas Lóticas.....	26
4.2.2 Bioindicación de la Calidad del Agua.....	27
4.2.3 Condiciones que deben cumplir los organismos para ser Catalogados como bioindicadores de calidad del agua.....	28
4.2.4 Macroinvertebrados Acuáticos.....	28
4.2.5 Hábitat de los macroinvertebrados acuáticos.....	30
4.2.6 Alimentación.....	31
4.2.6.1 Grupos Generalistas.....	31
4.2.6.2 Grupos Especialistas.....	31

4.2.7 Ordenes más representativos dentro de la bioindicación.....	32
4.2.7.1 Trichoptera.....	32
4.2.7.2 Coleóptera.....	32
4.2.7.3 Ephemeroptera.....	33
4.2.7.4 Turbellaria.....	33
4.2.7.5 Hirudinea.....	33
4.2.7.6 Díptera.....	34
4.2.7.7 Gastrópoda.....	34
4.2.8 Parámetros fisicoquímicos y ambientales que miden la calidad del agua.....	34
4.2.8.1 La Temperatura.....	35
4.2.8.2 La Turbiedad.....	36
4.2.8.3 Oxígeno Disuelto.....	36
4.2.8.4 Conductividad Eléctrica.....	37
4.2.8.5 Solidos Disueltos Totales.....	37
4.2.8.6 pH.....	38
4.2.8.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	39
4.2.9 Métodos ecológicos que evalúan la calidad del agua.....	39
4.2.9.1 Índices de diversidad.....	40
4.2.9.1.1 Índice de SHANNON Y WEAVER.....	41
4.2.9.1.2 Índice de SIMPSON.....	41
4.2.9.1.3 Índice de MARGALEF.....	42
4.2.9.1.4 Índices de similitud.....	42
4.2.9.1.5 Curva de Acumulación.....	43
4.2.9.2 Índices bióticos BMWP/Col y ASTP.....	43
<b>5. ANTECEDENTES.....</b>	<b>45</b>
<b>6. MARCO LEGAL.....</b>	<b>47</b>
<b>7. METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>



7.1 Elección del lugar de estudio (río Subachoque).....	50
7.2 Determinación puntos de muestreo.....	50
7.3 Medición de parámetros “In situ”.....	53
7.4 Recolección de macroinvertebrados acuáticos.....	54
7.5 Tiempo de muestreo.....	57
7.6 Determinación y clasificación de los macroinvertebrados.....	57
7.7 Determinación de la DQO.....	57
<b>8. PRESENTACION DE RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
8.1 Parámetros fisicoquímicos.....	59
8.1.1 Temperatura del Agua.....	62
8.1.2 Temperatura Ambiente.....	62
8.1.3 Turbiedad.....	63
8.1.4 Conductividad Eléctrica.....	63
8.1.5 Sólidos disueltos totales.....	64
8.1.6 Sólidos Sedimentables.....	64
8.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	65
8.1.8 Oxígeno Disuelto.....	65
8.1.9 pH.....	66
8.2 Macroinvertebrados acuáticos.....	66
8.2.1 Curva acumulación de Géneros.....	67
8.2.2 Distribución de Órdenes de macroinvertebrados acuáticos colectados por punto de estudio.....	68
8.2.3 Aplicación y valor de los índices bióticos BMWP/Col Y ASTP.....	72
8.2.4 Resultados índices de diversidad.....	74
<b>9. ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
9.1 Relación entre la Temperatura del Agua y la presencia de bioindicadores	

acuáticos encontrados en el río Subachoque.....	76
9.2 Relación entre la Temperatura Ambiente y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.....	76
9.3 Relación entre la Turbiedad y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.....	77
9.4 Relación entre la Conductividad Eléctrica y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.....	78
9.5 Relación entre la Conductividad Eléctrica y los Solidos Disueltos Totales medidos en el río Subachoque.....	79
9.6 Relación entre la Demanda Química de Oxígeno, el Oxígeno Disuelto y la Presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.....	80
9.7 Relación entre el pH y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.....	83
9.8 Comportamiento de la curva de acumulación de géneros.....	83
9.9 Comportamiento de los índices de diversidad e índices bióticos.....	84
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** *Localización de los puntos de muestreo.*

**Tabla 2.** *Referencia de Equipos utilizados.*

**Tabla 3.** *Campañas de muestreo.*

**Tabla 4.** *Resultados de Parámetros Fisicoquímicos tomados en el Río Subachoque.*

**Tabla 5.** *Asignación de los puntajes de acuerdo al método BMWP/Col a los ejemplares hallados en el río Subachoque.*

**Tabla 6.** *Clasificación de la calidad del agua que se presenta en el río Subachoque mediante la aplicación de los índices BMWP/Col y ASTP.*

**Tabla 7.** *Valor de los Índices de biodiversidad.*

**Tabla 8.** *Valor de los índices de similitud (cualitativos).*

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Hidrografía del Río Subachoque.

**Figura 2.** Localización puntos de muestreo.

**Figura 3.** Metodología de muestreo

**Figura 4.** Rotulo de recolección de información.

**Figura 5.** Resultados del comportamiento de la Temperatura del Agua en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 6.** Resultados del comportamiento de la Temperatura Ambiente en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 7.** Resultados del comportamiento de la Turbiedad en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 8.** Resultado del comportamiento de la Conductividad Eléctrica en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 9.** Resultados del comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 10.** Resultados del comportamiento de los Sólidos Sedimentables en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 11.** Resultados del comportamiento de la DQO en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 12.** Resultados del comportamiento del Oxígeno Disuelto en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 13.** Resultado del comportamiento de pH en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

**Figura 14.** Resultados de la curva de acumulación de géneros en los puntos de muestreo.

**Figura 15.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 1.

**Figura 16.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 1A.

**Figura 17.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 2.

***Figura 18.*** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 3.

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1.** Ilustración de los puntos de muestreo.

**ANEXO 2.** Macroinvertebrados acuáticos recolectados.

**ANEXO 3.** Grupo Alimenticio y Hábitat de los macroinvertebrados acuáticos encontrados.

**ANEXO 4.** Modos de alimentación.

**ANEXO 5.** Clasificación e interpretación de la calidad del agua de acuerdo a los resultados del método BMWP/Col y ASTP.

**ANEXO 6.** Puntuación por familias método BMWP/Colombia.

**ANEXO 7** Ilustración de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en el Río Subachoque.

**ANEXO 8.** Formato registro de campo de parámetros fisicoquímicos.

## RESUMEN

La utilización de macroinvertebrados acuáticos en conjunto con parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua en fuentes hídricas, es ampliamente utilizada en el mundo, no obstante en Colombia ha venido implementándose de manera significativa. Esta razón motivó a la realización del presente estudio con el fin de evaluar la calidad del agua en el río Subachoque, el cual se encuentra localizado en el Nororiente del departamento de Cundinamarca. Se analizaron las diferentes variables fisicoquímicas y su relación con las variables biológicas, como la riqueza, abundancia y tolerancia, las cuales representan comportamientos puntuales y temporales a través del tiempo. Se realizaron ocho muestreos en el sitio de estudio de manera que se pudiese obtener una gran riqueza de macroinvertebrados, con ello se logró la recolección de 2411 organismos distribuidos en 22 familias y 24 géneros, presentando el punto tres la mayor cantidad. Los resultados de los índices BMWP y ASTP muestran que se presentan aguas ligeramente contaminadas en el punto 2, moderadamente contaminadas en los puntos 1<sup>a</sup> y 3, y muy contaminadas en el punto 1; por su parte los índices de biodiversidad muestran los valores más altos de riqueza, abundancia y dominancia en el punto 2, y los valores más bajos de riqueza y dominancia se presentan en el punto 1 (Nacimiento).

***PALABRAS CLAVE:*** macroinvertebrados, bioindicadores, parámetros fisicoquímicos, riqueza, abundancia, índices de biodiversidad.

## **ABSTRACT**

The use of aquatic macroinvertebrates with the physicochemical parameters to assess water quality in water sources is widely used in the world, however, in Colombia has been implemented significantly. This reason motivated the realization of this study, in order to assess the quality of the Subachoque river located in the north east of the department of Cundinamarca, analyzing the different physic-chemical variables and their relationship with the biological variables such as wealth, abundance, tolerance that represent specific and temporal behaviors over time. In total, eight samples were taken at the study site so that they could get a wealth of macroinvertebrates, these samples generated 2411 collection organisms distributed in 22 families and 24 genders, presenting point three with 1711 as many organisms. The results of the BMWP and ASTP indices show that water slightly, moderately and highly contaminated occur and in turn biodiversity indices show high values of wealth, abundance and dominance according to each point.

**KEY WORDS:** Macroinvertebrates, bioindicators, physicochemical parameters, wealth, abundance, biodiversity indices.



## INTRODUCCION

Con el incremento progresivo de la población, se ha hecho obligatoria la explotación de los recursos naturales, de manera a veces irresponsable con el fin de cubrir la demanda de producción cada día mayor; esta situación ha provocado la contaminación de los ecosistemas intervenidos por el hombre, sin embargo, ésta no es la única forma de contaminación que existe (**J. Guerra, Comunicación personal, 13 de Abril de 2016**). El origen de la contaminación puede generarse por eventos como incendios o erupciones volcánicas y/o antrópico, debido a las actividades humanas que deterioran las condiciones normales de un medio como la atmosfera, agua y suelo. (**Erazo & Cárdenas, 2013**).

El río Subachoque, objeto del presente estudio, se encuentra afectado por los dos tipos de contaminación mencionadas anteriormente, por un lado, con las intervenciones antrópicas como la siembra de cultivos agrícolas en las riberas del río (**Acosta & Montilla, 2011**), las cuales aportan cargas contaminantes orgánicas e inorgánicas y por otro lado, con la transformación de material vegetal que cae al río; la importancia ambiental de éste afluente radica en que constituye la fuente principal de abastecimiento de agua del municipio que lleva su mismo nombre y por ende debe ser protegido y conservado.

La contaminación que se presenta en los ríos es, principalmente, de tipo fisicoquímico y biológico (**Gómez, 2013**), éstas circunstancias han hecho que se desarrollen diferentes metodologías para evaluar la calidad del agua de un afluente (**Álvarez & Pérez, 2007**), una de ellas es mediante el análisis de los parámetros de calidad del agua, los cuales miden las condiciones fisicoquímicas que presenta un cuerpo de agua, de manera temporal y puntual, pero también puede ser evaluada de manera biológica mediante el uso de bioindicadores, los cuales representan la sensibilidad en las especies de macroinvertebrados y los factores que los afectan (**Herbas, Rivero & Gonzales, 2006**).

De acuerdo con la importancia de las metodologías mencionadas anteriormente, se determinaron las variables fisicoquímicas como Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, DQO y TDS, posteriormente se correlacionaron éstas con los macroinvertebrados o bioindicadores recolectados; la utilización de éstos organismos no quiere decir el reemplazo del método comúnmente basado en los parámetros fisicoquímicos sino por el contrario son un complemento para este (**Lancheros, Ortiz, Ramírez & Rico, 2012**). Con el presente estudio se quiere brindar una idea acerca del estado de calidad del agua en que se encuentra el Río Subachoque y determinar si hay factores que pueden estar afectándolo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al uso que se da al suelo por actividades agropecuarias así como también por las extensiones dedicadas a pastizales destinados al cuidado de vacunos y caprinos en el municipio de Subachoque, éste tiene una afectación en el suelo, pero más grave aún, esta problemática afecta los cuerpos de agua que se encuentran a su alrededor, tal como sucede con el río Subachoque, viéndose perturbado por estas actividades incluso desde su nacimiento a más o menos medio kilómetro de el Alto del Boquete. La utilización de diferentes agroquímicos para controlar las plagas y forzar la producción agrícola genera residuos que a su vez pueden llegar al río mediante los procesos naturales de infiltración y escorrentía, que pueden alterar así las características naturales del río y por ende el ecosistema acuático. Pero no solamente son estos residuos tóxicos los que llegan al río sino también las descargas de aguas residuales domésticas de la población y los desechos orgánicos propios del cuidado de animales afectando no solo el ecosistema sino que también la población cercana al río.

Otro de los problemas que presenta el Río Subachoque, es que aquellas áreas destinadas a la protección y conservación del medio ambiente no están siendo correctamente preservadas, tal como lo estipula la Ley 99 de 1993, la cual hace referencia a que las zonas de páramo y en especial el agua que nace allí es de especial protección, y éste es el caso de la cuenca alta del río, en la cual se presentan cultivos agrícolas de tubérculos como la papa; adicionalmente la flora característica de la zona de páramo y bosque ha ido desapareciendo paulatinamente según lo mencionado por algunos habitantes del municipio, conllevando a causar daños en el recurso hídrico y paisajístico.

¿Qué variables biológicas y fisicoquímicas se relacionan con la Riqueza y abundancia de macroinvertebrados en el área de estudio?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Se hace necesario evaluar la calidad del agua del río Subachoque mediante macroinvertebrados acuáticos y los parámetros fisicoquímicos para determinar los factores que puedan estar alterando el ecosistema acuático y su relación entre sí, y establecer así la calidad actual del recurso hídrico.

La utilización de macroinvertebrados para el presente estudio se debe a que éstos han sido ampliamente utilizados como bioindicadores de condiciones ambientales en cuanto a variables como riqueza y abundancia (**Roldán, 2009**), se han utilizado diferentes organismos como protozoos, algas, peces, macrófitas, hongos y los macroinvertebrados acuáticos (**Roldán, 2003**).

La vida surge de una relación muy estrecha entre los organismos vivientes y su medio ambiente (**Gutiérrez, 1996**). Por esta razón este proyecto está encaminado a encontrar las posibles perturbaciones en el ecosistema del río Subachoque que pueden estar afectando las comunidades de macroinvertebrados, de manera que se logren plantear acciones que faciliten la recuperación del cuerpo de agua o en su defecto su protección, además de impulsar el interés de las entidades gubernamentales por hacer cumplir lo establecido en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Subachoque.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

- Evaluar la calidad del agua del río Subachoque en diferentes trayectos mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y su correlación con algunos parámetros fisicoquímicos como Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, DQO y SDT.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar y analizar las variables fisicoquímicas tomadas In-situ en cuatro (4) puntos de muestreo en la parte alta y media del Río Subachoque con el fin de establecer su incidencia sobre el estado del ecosistema acuático.
- Identificar taxonómica y morfológicamente las comunidades de macroinvertebrados acuáticos recolectados en los muestreos, correlacionando la presencia de éstos con el tipo de hábitats en el entorno acuático.
- Determinar los índices bióticos como (BMWP/Col y ASTP), índices de biodiversidad como (Simpson, Margalef y Shannon-Weaver y Curva de Acumulación), e índices de similitud como (Jaccard y Sorencen), estableciendo los valores de riqueza, abundancia, diversidad para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos recolectados.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

El desarrollo económico del municipio de Subachoque se ha potenciado a través de los años mejorando la calidad de vida de la población Subachoqueña, pero a su vez afectando su principal arteria fluvial, la cual lleva su mismo nombre. El río Subachoque ha sufrido algunos efectos de contaminación, que son reflejados durante su recorrido, sino que también afecta otros afluentes de gran importancia como lo es el río Bogotá en el cual desemboca.

Para **Acosta & Montilla, (2011)** las principales actividades económicas y agrícolas que generan impactos sobre el recurso agua son los cultivos de papa, cereales, leguminosas, hortalizas, ganadería, floricultura y minería; estas actividades son la causa principal del aporte en materia orgánica e inorgánica de las fuentes hídricas.

### 4.1 MARCO GEOGRÁFICO

#### 4.1.1 Localización Geográfica.

“La cuenca del río Subachoque está ubicada en el departamento de Cundinamarca, Colombia a unos 35 Km al noroccidente de Bogotá, haciendo parte de la cuenca alta del río Bogotá en la sabana del mismo nombre” (**Fernández & Hernández, 2007**). Esta a su vez hace parte de la Sabana de Bogotá, su delimitación está dada de la siguiente manera: al Norte con el municipio de Zipaquirá, al Sur con los municipios de Rosal y Madrid, al oriente con el municipio de Tabio, Tenjo y finalmente al occidente con los municipios de San Francisco, Pacho y Supatá. El municipio de Subachoque está localizado en coordenadas geográficas, latitud N 4° 56' 0” y longitud W 74° 11' 0” (**Acuerdo 041 de 2001**).

Por su parte, el área de estudio se encuentra localizada a una altura de 3454 msnm en la vereda Guamal, metros abajo del cerro del Boquete el cual tiene una altura de 3500 msnm, en este punto el río inicia su drenaje y fluye a través de los municipios de Subachoque y Mosquera, encierra una distancia de 17.18 Km.

En la *figura 1* se presenta la hidrografía del Río Subachoque desde su nacimiento y el paso de éste a través de algunos municipios que componen la sabana de Bogotá con sus respectivos afluentes.





#### **4.1.2 Climatología.**

El municipio de Subachoque se caracteriza, en gran su mayoría, por poseer tierras bajas o con poco relieve, éste presenta una precipitación promedio anual de 500 a 1000 mm **Pedraza & Rebolledo (2005)**, distribuida de la siguiente manera, los períodos de lluvia se presentan en los meses de Abril y Junio y luego en los meses de Octubre y Diciembre, por su parte, el período seco se presenta para los meses de Enero y Marzo y luego entre los meses Julio y Septiembre (**Acuerdo 041 de 2001**). De acuerdo con **Pedraza & Rebolledo, (2005)**. El río Subachoque hace parte de una subcuenta del río Bogotá y comprende tierras de clima frío, presentando temperaturas de 13° y 18° C en la zona baja y para alturas superiores a 3000 msnm temperaturas alrededor de los 8°, 10° y hasta 4° C.

#### **4.1.3 Vegetación Característica.**

El nacimiento del río Subachoque se encuentra rodeado por vegetación arbustiva característica de subpáramo teniendo en cuenta su elevación superior a 3000 msnm, también se observa la presencia de extensiones agrícolas como el cultivo de papa y zanahoria principalmente y debido a intervenciones antrópicas. Por otro lado, los puntos ubicados entre los 2000 y 3000 metros (Puntos 2 y 3) son clasificados normalmente como Bosque seco Montano bajo **Pedraza & Rebolledo, (2005)**, en el cual hace presencia muy poca vegetación arbórea y muchas áreas de cultivo de subsistencia, de igual manera hace presencia la vegetación foránea principalmente eucalipto y pino en las riberas del río.

#### **4.1.4 Geomorfología.**

La litología existente en esta cuenca debido a las diferentes formaciones geológicas muestran un terreno basado en la dinámica de sedimentación y arrastre de sedimentos del río Subachoque, lo

cual ha transformado el paisaje arrastrando materiales compuestos por arsenicas de las que esta conformado los cerros que rodean el valle del río Subachoque **Pedraza & Rebolledo (2005)**.

## **4.2 MARCO CONCEPTUAL**

Una manera de clasificar los aspectos hidrológicos de una zona determinada es a partir de la energía cinética que llevan sus aguas, ya que de dicha energía y de las condiciones en que el agua se encuentre depende la existencia de muchos ecosistemas acuáticos. Las aguas corrientes más o menos rápidas o en continuo movimiento se denominan aguas lóaticas y son las que discurren por los cauces de ríos, torrentes, arroyos, etc. y por el contrario se llaman aguas lénticas a aquellas que se remansan y constituyen como por ejemplo, lagunas, de origen natural, o embalses, de origen antrópico.

### **4.2.1 Aguas Lóaticas.**

Las aguas lóaticas se caracterizan principalmente por su movimiento en forma de corrientes dado por un sistema de drenaje conformado por una serie de efluentes que componen las macro-cuencas, las microcuencas y las sub cuencas. “La forma en que las redes de drenaje se organizan en el espacio es el resultado de la interacción de distintos parámetros del medio físico (clima, relieve, geología, vegetación etc.) a la vez que ellas modelan los paisajes” (**Vidal, 1994**). Lo que quiere decir, que las corrientes lóaticas determinan en cierta medida las características del paisaje, entre éste, la vegetación, el suelo y las características fisicoquímicas del agua, dicho de otra manera:

El agua se pone en relación íntima con la vegetación y con los suelos. El agua lluvia al caer, es de reacción ligeramente ácida, puede atacar a la roca desnuda, disolver ciertos

materiales, pero el intercambio se hace principalmente a nivel del suelo, donde la arcilla y determinados materiales orgánicos actúan como eficaces cambiadores de iones y, manteniendo ciertas propiedades, dan a el agua en equilibrio una composición más o menos característica (**Margalef, 1992**).

Debido al arrastre de nutrientes del agua por su continuo movimiento, muchas comunidades de organismos como los macroinvertebrados acuáticos desarrollan un modo de vida particular y característica, dentro de las que pueden enmarcarse están la morfología, la alimentación, el hábitat, la adaptación y la tolerancia. “Los organismos aquí presentes, por lo regular, tienen adaptaciones corporales como ganchos, ventosas y cuerpos aplanados para resistir la velocidad de la corriente” (**Roldán, 2012**).

Gracias a las adaptaciones y cualidades específicas que poseen los macroinvertebrados de acuerdo con su hábitat, es que éstos pueden utilizarse como organismos bioindicadores de la calidad del agua, puesto que las alteraciones realizadas en las características de la misma afectan directamente la supervivencia de éstos organismos.

#### **4.2.2 Bioindicación de la Calidad del Agua.**

“La Bioindicación es un fenómeno íntimamente ligado al proceso de adaptación a lo largo de toda la evolución de la vida” (**Monroy, 1995**). La metodología “Bioindicación” hace referencia a la utilización de biota acuática para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista de tolerancia de las especies a la contaminación (**Liévano & Ospina, 2007**). Los indicadores biológicos están formados por macroinvertebrados acuáticos constituidos principalmente por larvas y ninfas de insectos de los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera, Coleóptera y Díptera, entre otros, (**Zúñiga, sf**), lo que quiere decir que es en los ecosistemas acuáticos donde inicia el desarrollo de

su ciclo de vida, pasando por el estado pupal y finalmente el estadio adulto, es por esto su importancia en evaluaciones ambientales.

#### **4.2.3 Condiciones que deben cumplir los organismos para ser catalogados como bioindicadores de calidad del agua.**

Un organismo se considera como Bioindicador cuando cumple las siguientes características descritas por **(Roldán, 2012)**:

- Ser abundantes con amplia distribución y que su recolección sea relativamente fácil.
- Ser sedentarios (establecimiento fijo en un lugar determinado) y por lo cual reflejan las condiciones del sitio.
- Su identificación es relativamente fácil, pues se pueden apreciar a simple vista, contrario a lo que sucede con otro grupo de organismos como las bacterias o los virus.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo.
- Brindan información acerca de efectos acumulativos.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Se puede apreciar su desarrollo en el laboratorio.
- Reaccionan de manera rápida ante los cambios ambientales.
- Varían poco genéticamente.

#### **4.2.4 Macroinvertebrados Acuáticos.**

Tradicionalmente, los animales se dividen en invertebrados y vertebrados, aunque los primeros incluyen todos los filos de animales, los últimos abarcan un solo subfilo - el Filo Chordata. En otras

palabras, la gran mayoría de los animales son invertebrados y en los ambientes dulceacuícolas son el grupo más abundante y diverso.

Los macroinvertebrados se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista, es decir, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud, por ejemplo organismos tales como protozoos, gastrotricos, rotíferos y otros similares **(Roldan, 1988)**. También definimos los macroinvertebrados como aquellos invertebrados que son retenidos por una red de nylon de aproximadamente 125  $\mu\text{m}$ , sin embargo, esta distinción es relativa y a veces arbitraria, por lo que podemos ser un poco más precisos definiendo los macroinvertebrados con base en la taxonomía. Este grupo tiene representantes en muchos filos de animales, entre ellos: Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. Sin embargo, hay que aclarar que varios miembros de estos filos son microscópicos por lo que se les considera parte de la meso fauna (micro crustáceos y micro moluscos, muchos anélidos y nemátodos, entre otros) **(Springer, 2010)**.

Estos organismos pueden encontrarse ampliamente en ecosistemas loticos y lenticos, cada orden o especie tiene definido un hábitat específico, lo cual es importante en el estudio de la calidad del agua, ya que, el lugar donde habitan y la estructura poblacional indican si hay o no afectaciones a nivel del ciclo de vida; como por ejemplo, en el transporte de energía, el cual puede analizarse de manera que si las comunidades bentónicas que hacen parte de la cadena trófica, principalmente las productoras presentes en el neuston y neuston disminuyeran, disminuirán también de manera directa no solo invertebrados sino también vertebrados. Evidentemente para pasar de estados inmaduros acuáticos a adultos terrestres se necesitan adaptaciones muy importantes y diversos ordenes de especies de insectos están formados por familias de larvas exclusivamente acuáticas **(Ladreda, Rieradevall & Prat, 2013)**.

Dentro de los principales Filos y Clases de macroinvertebrados que hacen presencia en los ambientes lóticos se encuentran: Filo Porífera, los cuales no son muy estudiados en nuestro país pero se sabe que son muy abundantes en ríos; Filo Platyhelminthes a este filo pertenece el orden Tricladida y dentro de éste las planarias, ampliamente distribuidas en nuestro medio; Filo Mollusca éstos se dividen en dos grupos: los gastrópodos y los bivalvos; Filo Annelida, a este filo pertenecen las clases Oligochaeta, de la cual la familia más conocida es Tubificidae, e Hirudinea como las sanguijuelas; Filo Arthropoda representa el grupo más representativo de macroinvertebrados, de este filo se conocen tres grandes clases, Crustacea, Insecta y Arachnoidea.

#### **4.2.5 Hábitat de los macroinvertebrados acuáticos.**

Los organismos acuáticos presentan una serie de adaptaciones que definen su hábitat, esto les permite desarrollar su ciclo de vida, según **(Roldan, 2003)** los hábitats acuáticos pueden ser variados y de acuerdo a esto se determinan las comunidades de organismos que habitarán allí, dentro de los ambientes acuáticos en los cuales pueden encontrarse biota están restos de material vegetal, rocas, sedimentos y vegetación presente bien sea a las orillas o saliente dentro del cuerpo del agua.

“Los animales de agua dulce pueden clasificarse basándose donde se encuentran en el cuerpo de agua y su manera de moverse. Algunos viven en la superficie del agua (**neuston**) mientras que otros permanecen suspendidos en la columna de agua (**plancton**) o bien nadan activamente (**necton**). Estos grupos generalmente no habitan en aguas con corriente y pueden ser muy abundantes y diversos en lagos y lagunas. La mayoría de animales dulceacuícolas viven sobre algún tipo de sustrato ya sea en el fondo (**bentos**) o en tallos de plantas acuáticas, madera, rocas, etc.” **(Hanson, Springer & Ramírez, 2010)**.

#### 4.2.6 Alimentación.

Las características físicas del hábitat y la oferta de recursos alimenticios determinan el comportamiento ecológico en la cadena trófica, es decir la disponibilidad y transformación de nutrientes determinan la presencia de organismos con diferentes mecanismos de alimentación (**Grimaldo, 2004**). De acuerdo a sus necesidades metabólicas se pueden clasificar en:

##### 4.2.6.1 Grupos Generalistas

- **Colectores:** Toman pequeñas partículas de materia orgánica proveniente del sedimento de los procesos de descomposición, material fragmentado por otros microorganismos y restos de organismos muertos, localizados en el fondo del ecosistema. Para conseguir su alimento, los colectores utilizan diferentes métodos, un ejemplo de ello son las larvas de simúlidos, las cuales despliegan una especie de abanico mucoso que les permite atrapar las partículas que flotan en el agua.
- **Omnívoros:** Se alimentan de una amplia gama de recursos disponibles vivos o muertos, que varían desde microorganismos tales como las bacterias y los protistas, hasta materia en descomposición proveniente del deshoje de la caída la ramitas.

##### 4.2.6.2 Grupos Especialistas

- **Raspadores/Cultivadores:** Los organismos raspadores necesitan permanecer adheridos a la superficie de la roca para alimentarse, por esta razón desarrollan mecanismos especiales de adaptación, como uñas en el último tarso de sus patas; por su parte los cultivadores generalmente se alimentan de algas diatomeas y bacterias que cultivan sobre el limo que se forma sobre sustratos duros.

- **Depredadores:** Estos organismos poseen un único mecanismo para obtener su alimento, como, por ejemplo, los Odonatos se entierran en el sustrato dejando libres solo sus ojos y esperando lanzar sus órganos bucales retractiles sobre una posible presa.

#### **4.2.7 Ordenes más representativos dentro de la bioindicación.**

##### **4.2.7.1 *Trichoptera.***

Pertenece al grupo de órdenes de insectos en los cuales la totalidad de las especies dependen del medio acuático para su desarrollo. Los tricópteros son insectos holometábolos es decir con metamorfosis completa, que están relacionados con los lepidópteros y los adultos se asemejan a pequeñas polillas, sin embargo, sus piezas bucales no forman una proboscis, aunque poseen palpos bien desarrollados; sus alas están cubiertas de pelos en lugar de escamas (aunque hay excepciones), característica que le da el nombre al orden (*trichos*: pelos; *ptera* alas (**Springer, 2010**). Los tricópteros pueden identificarse también por una característica en particular, la cual se basa en la construcción de casas de diferentes materiales y formas que les sirve de refugio, esta característica permite que se pueden diferenciar las familias y géneros.

##### **4.2.7.2 *Coleóptera.***

De acuerdo con **Roldan (1995)** a este orden pertenecen los llamados cucarrones o escarabajos y es el grupo de macroinvertebrados acuáticos más complejo y abundante. Por lo general la mayoría de estos organismos son característicos de aguas limpias con altas concentraciones de oxígeno y temperaturas medias. Las larvas habitan en las zonas rocosas de los ríos y troncos, mientras que los adultos viven habitualmente en zonas de baja corriente adheridos a la vegetación acuática.



#### **4.2.7.3 *Ephemeroptera.***

Hace referencia a insectos efímeros generalmente de vida acuática que presentan cortos estadios de vida, son insectos hemimetábolos, es decir, que no presentan metamorfosis completa. Según **(Flowers & De la Rosa, 2010)**, “la contaminación u otro cambio no favorable de la calidad del agua en un río pueden causar que las efímeras y otros insectos acuáticos entren a la deriva buscando condiciones más adecuadas”.

Para muchos autores este es uno de los órdenes más importantes para evaluar la calidad del agua, para ello se utiliza un índice EPT o Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera por sus siglas, se considera tan importante ya que éstos son organismos poco tolerantes a problemas de contaminación.

#### **4.2.7.4 *Turbellaria.***

Dentro de los macroinvertebrados más representativos de esta clase se encuentra el orden de los tricládidos conocidos más comúnmente como planarias, una de las características más sobresalientes y que ayudan a su identificación es su cuerpo aplanado. Según **Montiel & Gutiérrez, (2007)** también es característico su color oscuro y la presencia de una faringe en la zona ventral media del animal el cual funciona como sistema excretor y como boca, así como también la presencia de un par de ocelos en la cabeza; su reproducción es sexual por fecundación interna ya que son organismos hermafroditas.

#### **4.2.7.5 *Hirudinea.***

Para **Oscos, (2009)** los hirudíneos hacen parte del Phylum anélida los cuales son característicos por su forma de gusanos redondeados que generalmente se encuentran divididos en tres clases Poliquetos, Oligoquetos e hirudíneos, estos últimos más conocidos comúnmente como sanguijuelas

son por lo general dulceacuícolas con algunas excepciones que pueden identificarse por poseer un par de ventosas una bucal y otra caudal las cuales facilitan su alimentación y fijación al sustrato ayudando así con su desplazamiento.

Este es un grupo importante como indicador de aguas contaminadas ya que suelen encontrarse asociados a áreas con este problema y por lo cual es común hallarlas en raíces y en lugares con bastante materia orgánica.

#### ***4.2.7.6 Díptera.***

Es un grupo extremadamente complejo, sus larvas se caracterizan por no poseer patas. Una gran mayoría son indicadores de aguas contaminadas siendo los más conocidos los pertenecientes a la familia Chironomidae, otros como los Simuliidae y los Blepharocidae, son indicadores de aguas claras y limpias. **(Roldán, 1995).**

#### ***4.2.7.7 Gastrópoda.***

Los gastrópodos, llamados comúnmente caracoles, poseen una concha enrollada en espiral y su tamaño puede variar entre 2 y 70 mm. Viven por lo regular en aguas abundantes en carbonato de calcio (aunque hay excepciones) necesario para la construcción de su concha. Por lo general están asociados a vegetación acuática y materia orgánica en descomposición. **(Roldán, 2008).**

### **4.2.8 Parámetros fisicoquímicos y ambientales que miden la calidad del agua.**

Los macroinvertebrados acuáticos están íntimamente relacionados con los parámetros fisicoquímicos del agua, es así, como la disminución del oxígeno disuelto, por ejemplo, puede resultar determinante para la vida de estos organismos. Pero no solo éste parámetro es importante,

en realidad tienen incidencia también parámetros como la temperatura, la turbiedad, la DQO, el pH, entre otros.

“En todos los trabajos de campo tienen importancia una serie de datos del medio acuático vinculados a la auto ecología de los invertebrados” (**Rueda, Hernández & tapia, sf**). La interacción que se produce en los factores ambientales como el sustrato, la profundidad, la vegetación acuática, la altitud y la velocidad de la corriente en los cuerpos de agua hace que se generen una serie de características fisicoquímicas en el medio, como lo son la temperatura del agua, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y el pH, éstos parámetros a su vez establecen los organismos acuáticos que se desarrollarán, pues hay una relación directa entre los organismos bioindicadores y los parámetros físicos y químicos pues éstos son modificados constantemente debido a las actividades metabólicas propias (**Vidal & Suarez, 1994**).

La realización de estudios de calidad del agua desde el punto de vista fisicoquímico ofrece información puntual, es decir, muestra lo que está pasando en el momento de la toma de la muestra, es por esto que los datos varían de un lapso de tiempo a otro; razón por la cual han venido empleándose otros métodos para evaluar la calidad del agua de manera que puedan relacionarse y complementarse los unos con los otros.

Las relaciones existentes entre los parámetros fisicoquímicos y la presencia de organismos indicadores de la calidad del agua como los macroinvertebrados acuáticos, pueden entenderse de la siguiente manera:

#### ***4.2.8.1 La Temperatura***

Este parámetro depende de la cantidad de radiación solar que recibe la fuente hídrica, es decir, en zonas templadas la temperatura varía con el cambio de estaciones y por el contrario en zonas

tropicales la temperatura permanece más o menos constante durante todo el año, por lo tanto los organismos tienden a adaptarse a estos cambios y se pueden clasificar de acuerdo a su tolerancia como estenotermos, aquellos que soportan cambios de temperatura muy estrechos, y euritermos, aquellos que soportan cambios mucho más amplios.

#### **4.2.8.2 La Turbiedad**

Según la Resolución 2115 de 2007, éste parámetro es considerado aceptable para aguas de consumo humano cuando se encuentra en niveles menores o iguales a 2 NTU. La turbiedad es el grado de opacidad del agua generado por el material particulado disuelto y en suspensión, puede generarse por factores externos al cuerpo de agua, como acciones antrópicas, o acciones naturales producidas dentro del cuerpo de agua. El material particulado que genera la turbiedad en el agua al depositarse en el fondo de los ríos puede destruir los hábitats de numerosas especies de macroinvertebrados que sobreviven en el bentos adheridos a diferentes sustratos, debido a que se acumula e impacta el entorno de estos organismos (Gil, 2014).

#### **4.2.8.3 Oxígeno Disuelto**

Es uno de los parámetros más importantes para medir la calidad de un cuerpo de agua ya que es esencial para la vida, adicionalmente de éste dependen los procesos biológicos de la fauna acuática (Chacón & Sanatamaría, 2007). Se ve afectado también por la temperatura, ya que si ésta aumenta hay menor solubilidad de oxígeno y viceversa, es decir, la elevación de la temperatura puede llegar a desoxigenar una fuente hídrica.

Las variaciones de la temperatura generan la desaparición de algunas especies de macroinvertebrados como puede ocurrir con los coleópteros los cuales requieren de un alto

contenido de oxígeno en el agua para su subsistencia (**Reinoso., Villa., García., Vejarano & Esquivel, 2008**)

#### **4.2.8.4 Conductividad Eléctrica**

Es una medida de la propiedad que posee el agua para conducir la corriente eléctrica, esta propiedad depende de la cantidad de iones presentes en ella (**Instituto de Higrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2006**), corresponde al comportamiento de la mayoría de disoluciones acuosas de compuestos inorgánicos (Aniones de cloruros, nitratos, sulfatos y fosfatos) los cuales son relativamente buenos conductores de corriente eléctrica, por el contrario, las disoluciones de moléculas de compuestos orgánicos (aceites, fenoles, alcoholes y azúcares) son pobres o nulos conductores de corriente eléctrica (**Fuentes & Massol-Deyá, 2002**).

La conductividad eléctrica es por lo general muy baja en aguas superficiales tropicales de montaña con un rango de entre 10 y 50 uS/cm, debido a que son aguas pobres en nutrientes y de baja productividad, es decir, la composición química de un cuerpo de agua refleja la naturaleza geoquímica del terreno que la contiene. Este parámetro en condiciones normales de alta montaña afecta directamente la presencia de macroinvertebrados en el agua pues a medida que aumenta la conductividad eléctrica disminuye la diversidad de especies (**Roldán, 2012**).

#### **4.2.8.5 Sólidos Disueltos Totales**

La determinación de este parámetro mide el total de residuos sólidos filtrables como sales y compuestos orgánicos a través de una membrana con poros de 2 micrómetros o incluso más pequeños. Los sólidos disueltos totales pueden afectar adversamente la calidad de un afluente de distintas maneras, un ejemplo de ello es un agua para consumo humano con alto contenido de sólidos disueltos (500 mg/L límite máximo permisible para los Estados Unidos) es por lo general

desagradable para el paladar y puede inducir reacciones fisiológicas desfavorables en el consumidor (**Fuentes & Massol-Deyá, 2002**). El promedio de los sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (**Livingston, 1963**). Una manera sencilla de estimar este parámetro, es a partir de la medida de la conductividad eléctrica del agua, ya que existe una relación directa entre estos dos parámetros, la conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y por su parte los sólidos disueltos totales se refieren a la concentración total de minerales (**Roldán, 2012**).

#### **4.2.8.6 pH**

Es un parámetro que indica la concentración del ion Hidronio en un cuerpo de agua; la solubilidad de algunas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas pueden afectar la estructura y función de macromoléculas tales como ácidos nucleicos además de los organelos, sistemas de pared celular y membranas, es por esto que las variaciones en el pH pueden tener efectos marcados sobre cada uno de los niveles de materia viva, desde el nivel celular, hasta el nivel de ecosistemas (**Fuentes & Massol-Deyá, 2002**).

“El pH de un cuerpo de agua puede variar a lo largo de un amplio rango de valores, dependiendo de factores intrínsecos y extrínsecos al ambiente acuático:

##### **Factores intrínsecos**

- Estratificación y mezcla del sistema acuático
- Evaporación
- La intensidad de procesos biológicos tales como fotosíntesis, respiración y actividades de descomposición de materia orgánica

### **Factores extrínsecos**

- Composición de: suelos adyacentes, depósitos superficiales y lecho rocoso
- Fuentes de contaminación: drenaje ácido de minas, precipitación ácida
- Temperatura” (**Fuentes & Massol-Deyá, 2002**).

#### **4.2.8.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

“La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo” (**Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales – IDEAM, 2007**).

Este parámetro es aplicable a todo tipo de agua y establece la presencia de sustancias químicas, de origen natural o antrópico, especialmente orgánicas que están agotando el oxígeno debido a la ausencia de éste en sus estructuras químicas (**J. Guerra, Comunicación personal, 13 de Abril de 2016**).

#### **4.2.9 Métodos ecológicos que evalúan la calidad del agua.**

La evaluación de la calidad del agua mediante organismos bioindicadores son un complemento para los métodos fisicoquímicos conocidos, por un lado, la técnica biológica proporciona información de lo acontecido en el cuerpo de agua durante un lapso de tiempo, y, por otro lado, los parámetros fisicoquímicos determinan los efectos contaminantes si son dispuestos en el momento (**Herbas, Rivero & Gonzales, 2006**). Uno de los métodos biológicos utilizados frecuentemente para la evaluación de la calidad del agua es el método Ecológico, el cual pretende atender no a la cantidad del flujo vertido, sino a sus efectos sobre el ecosistema, para lograr calcular dichos efectos,

se requiere utilizar expresiones matemáticas con variables como datos taxonómicos y de tolerancia, los cuales se aplican en general en diferentes tipos de índices, dentro de los cuales debemos mencionar los índices de diversidad e índices bióticos.

#### ***4.2.9.1 Índices de diversidad.***

Este tipo de índices utilizan tres componentes de la estructura de la comunidad para describir su respuesta frente a la calidad del ambiente: riqueza (número de especies presentes), equitatividad (uniformidad en la distribución de organismos por especie) y abundancia (número total de organismos presentes) **(Herbas, Rivero & Gonzales, 2006)**. El planteamiento de este índice, supone que los ambientes no alterados poseen alta riqueza, distribución uniforme de organismos entre especies y una moderada a alta cantidad de individuos, por el contrario si el ambiente se encuentra contaminado con desechos orgánicos habrá una disminución de riqueza, pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de organismos tolerantes y por supuesto un descenso en la equitatividad, finalmente si el ambiente se encuentra contaminado con material tóxico no degradable, disminuirá tanto la riqueza como la abundancia **(Metcalf, 1989)**.

La diversidad se puede dividir en tres grupos que son: Diversidad Alfa, Diversidad Beta y Diversidad Gama..., la primera hace referencia *“a la riqueza de especies de una comunidad determinada y que se considera homogénea, por lo tanto es a un nivel local”*; la segunda corresponde *“a la medida del grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre las comunidades que se encuentran en un área mayor”* es decir, la comparación de comunidades entre puntos; finalmente la diversidad gama concierne *“a la riqueza total de especies existentes en un área mayor”* o una relación existente entre la diversidad Alfa y un promedio de la diversidad Beta **(Villareal et al., 2004)**.



Para medir cada una de las diversidades mencionadas anteriormente existen una serie de índices con características diferentes que requieren análisis diferentes también, dentro de la diversidad Alfa se encuentran los índices de: Riqueza de Margalef, Dominancia de Simpson y Equidad de Shannon-Weaver, por su parte, dentro de los índices Beta se encuentran los índices cualitativos de similitud de Jaccard y Sorensen.

#### **4.2.9.1.1 Índice de SHANNON Y WEAVER.**

Según (Pino *et al.*, 2003) pueden utilizarse índices como Shannon-Weaver que describen cómo se comportan los organismos de una manera numérica; el índice presenta una escala de 4.5 - 2.5, cuando se presentan valores menores a 2.5 está indicando que están presentándose problemas de contaminación. Se calcula mediante la ecuación 1:

$$\text{Ecuación 1: } H' = \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{n} \right) \log n \left( \frac{n_i}{n} \right)$$

**En donde:**

H' = Índice de diversidad

n<sub>i</sub> = Número de individuos por especie.

n = Número total de individuos.

#### **4.2.9.1.2 Índice de SIMPSON.**

Para (Bouza & Covarrubias, 2005) el índice de Simpson es uno de los que más se utilizan de igual manera así lo sugiere la literatura consultada, para la aplicación de dicho índice se utiliza la **Ecuación 2** citada por (Roldan, 2003). El valor de este índice está comprendido entre 0 y 1.

$$\text{Ecuación 2: } I = \sum P_i^2$$

**En donde:**

I= índice de dominancia de Simpson.

P<sub>i</sub> = Resulta de dividir *ni* sobre *n*.

#### **4.2.9.1.3 Índice de MARGALEF.**

Para el caso de Margalef, es un índice de diversidad alfa que mide la riqueza de una determinada especie, dicho índice está dado por la ecuación 3:

$$\text{Ecuación 3: } IMg = S - 1 / \log n N$$

**En donde:**

IMg= Índice de riqueza Margalef.

S= Número de individuos por especie.

N= Número total de los individuos.

#### **4.2.9.1.4 Índices de similitud de JACCARD Y SORENSEN (I<sub>j</sub>).**

Estos índices miden la similitud que hay entre una especie y otra en un determinado lugar, es decir, la presencia o ausencia de los organismos. Dichos índices pueden ser calculados mediante las **Ecuaciones 4 y 5 respectivamente**, su valor puede oscilar entre 0 y 1, siendo 0 cuando la similitud de especies compartidas es baja y 1 cuando la similitud es mayor.

$$\text{Ecuación 4: } I_j = \frac{c}{a+b-c}$$

En donde:

C = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

a = Número de especies en el sitio A.

b = Número de especies en el sitio B.

$$\text{Ecuación 5: } I_s = \frac{2c}{a+b}$$

#### ***4.2.9.1.5 Curva de Acumulación.***

Para poder medir la biodiversidad Alfa (riqueza) se requiere de modelos que puedan generar un acercamiento a la cantidad de organismos que habitan en un ecosistema, estos modelos proporcionan una mayor confiabilidad con respecto a los datos reales. De acuerdo con **(Colwell, Xuan & Chang, 2004)** la curva de Acumulación es una gráfica que representa el número de individuos esperados luego de una serie de muestreos aleatorios. Para este modelo se tienen en cuenta las variables de presencia, ausencia y abundancia.

#### ***4.2.9.2 Índices bióticos BMWP/Col y ASTP.***

De acuerdo con **Domínguez & Fernández (2009)** una de las maneras más utilizadas para establecer la calidad de un efluente es mediante el uso de índices bióticos, ya que pueden expresarse de manera cuantitativa. Estos métodos consisten en asociar propiedades de los individuos, como lo son riqueza, tolerancia e intolerancia.

La metodología BMWP (Biological Monitoring working party) fue adaptada por primera vez en Inglaterra alrededor del año 1970, como una forma de evaluar la calidad del agua. Se asigna una serie de puntuaciones a las familias de macroinvertebrados acuáticos según el grado de tolerancia que estos presentan, desde el punto de vista de presencia o de ausencia. Teniendo en cuenta que la posición tropical que ocupa Colombia en el mundo hace que se presenten condiciones ambientales

totalmente diferentes y que los organismos varíen, por esta razón **(Roldan, 2003)** presentó una modificación del método adaptándolo a los organismos presentes en Colombia, posteriormente fue modificada de nuevo en el año 2006.

Para la aplicación de este método se requiere identificar organismos hasta el nivel de familia. Posteriormente se realiza la asignación de puntajes que van desde 0 a 10, siendo los puntajes más bajos para las familias más tolerantes y los puntajes más altos para las familias menos tolerantes a la contaminación. A partir del resultado de este índice se calcula el ASTP (Average Score Per Taxon) que no es más sino el valor medio de tolerancia y resulta de dividir el dato obtenido en el índice BMWP por el número total de familias.

“La integración de los índices ecológicos, bióticos y fisicoquímicos, de calidad del agua y contaminación, permiten determinar la calidad del agua de forma más precisa y exacta, pues se genera un acercamiento más holístico al estado de los cuerpos de agua” **(Forero, Reinoso et al. 2007)**. Esto se debe a que la calidad ecológica del agua abarca componentes físicos, químicos, biológicos y descriptivos de la zona de estudio al momento de evaluar un ecosistema acuático **(Gómez, 2013)**. En estudios de **Naranjo & González, (2007)** la mayor diferencia entre los índices biológicos de estimación de la calidad del agua y los índices fisicoquímicos, es que los primeros permiten indicar el estado del agua en un periodo prolongado de tiempo definido por la duración del ciclo vital de cada individuo, magnitud de colonias, etc., pero, por el contrario, es imposible identificar los agentes contaminantes existentes, por lo que su utilización es complementaria y no sustitutiva a los índices fisicoquímicos. **(Como se citó en Universidad Nacional, Sf)**.

## 5. ANTECEDENTES

La Bioindicación es una técnica de evaluación ambiental que sirve para detectar problemas ambientales en un determinado ecosistema, en algunos países de Estados Unidos y Europa **(Roldán, 1999)** se tienen inventarios muy completos y refinados de la fauna acuática que habita en los ríos, sin embargo, para el caso colombiano este es un término relativamente nuevo, y por lo tanto no se cuenta con información muy antigua ni gran cantidad de inventarios relacionados con el tema. Uno de los referentes en Bioindicación más conocido en el país, es el profesor Gabriel Roldán Pérez quien ha desarrollado diferentes estudios en las fuentes hídricas del departamento de Antioquia.

Según **Reyes & Fierro (2001)** realizaron un manual de monitoreo de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua para el Ecuador, debido a la contaminación que se ha venido presentando en los canales hídricos en este país; por tal motivo realizaron una descripción de la relación del agua con el ser humano y encontraron la importancia de utilizar los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua.

La implementación de la técnica de Bioindicación, como método de evaluación del estado ecológico de las aguas en Colombia mediante organismos macroinvertebrados como indicadores **(Roldán, 2003)**, se remonta al año 1999, a partir del cual se inician una serie de estudios orientados a conocer la fauna acuática de nuestro país utilizando la técnica de la Bioindicación.

**Sánchez (2005)**, llevó a cabo un estudio en el río Pamplonita departamento de Norte de Santander, utilizando el índice BMWP modificado para Colombia y llevando a cabo una adaptación para el área de estudio, se analizaron la influencia de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Obteniendo

como resultado la clasificación del agua del río pamplonita; cuenca alta aguas con algunos efectos de contaminación y aguas muy contaminadas, en la cuenca media, aguas fuertemente contaminadas y en la cuenca baja se presentan aguas contaminadas lo que llevó a concluir que a medida que las condiciones de calidad del agua disminuyen la cantidad de familias de macroinvertebrados acuáticos disminuye considerablemente.

**(Meza *et al.*, 2012)** llevaron a cabo un estudio en el río Chinchiná localizado en el departamento de Caldas, el objetivo principal fue evaluar la calidad del agua del afluente de acuerdo a la composición de macroinvertebrados y los lugares de hábitat, como son la vegetación riberena y exótica del lugar y mediante la aplicación de índices ecológicos. De acuerdo a los resultados arrojados en el estudio se determinaron que el sustrato que presenta una mayor riqueza es la vegetación riberena, además la cobertura vegetal presenta una relación directa con los parámetros fisicoquímicos ya que ayudan a amortiguar la contaminación.

**Liévano (2013)**, desarrollaron un estudio de calidad biológica de las aguas superficiales de la cuenca del río Apulo, el principal objetivo fue establecer cómo afecta la contaminación a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos utilizando para ello el método BMWP y encontraron que la cuenca ha sufrido un gran deterioro.

En la actualidad, el estudio del ecosistema acuático es utilizado con más frecuencia para llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental como el caso de **Tamariso, Rodríguez & Ospina (2013)**, quienes realizaron un estudio a lo largo del río Gaira que hace parte de la vertiente de la Sierra Nevada de Santa Marta, la finalidad del trabajo fue evaluar la densidad poblacional de macroinvertebrados acuáticos de acuerdo a las épocas lluviosas y secas del año en conjunto con la medición de parámetros fisicoquímicos. Encontrándose que el río presenta un buen sistema de depuración de la contaminación de sus aguas debido a que los valores de los parámetros

fisicoquímicos son buenos en general y en parte porque la pendiente es alta, finalmente con relación a los macroinvertebrados se halló que los Dípteros, Ephemeroptera y Tricópteros presentaron la mayor riqueza de organismos en los muestreos realizados en la época seca mientras que en el período lluvioso se presentó la menor densidad esto debido a que el aumento del caudal arrastra los organismos disminuyéndolos significativamente.

## 6. MARCO LEGAL

Está basado principalmente en el Decreto-Ley 2811 de 1974 o Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, que no es otra cosa que la Ley General Ambiental para Colombia, norma que a su vez se subdivide en leyes, decretos y resoluciones específicas para cada recurso natural renovable que existe en el país. De los cuales son de especial importancia para este proyecto los recursos de agua, fauna y suelo. Alguna de la legislación vigente para dichos recursos se presenta a continuación:

- **Decreto 2811 de 1974.** Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Por medio del cual se determina los medios por los cuales los recursos naturales deben ser protegidos para satisfacer las necesidades de quienes los usan sin comprometer el uso para generaciones futuras.
- 
- **Decreto 1541 de 1978.** En su Capítulo IV sección 2 menciona las concesiones para uso Agrícola, riego y drenaje. Para las cuales los usuarios están obligados a construir y mantener los sistemas de drenaje y desagüe adecuados para prevenir daños en el suelo.

- **Decreto 2858 de 1981:** (modifica el Decreto 1541 de 1978). Para la formulación de proyectos de riego a nivel de finca o grupos de fincas El Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, INDERENA, como las Corporaciones Regionales de Desarrollo son las entidades encargadas de otorgar los permisos para la realización de estudios de factibilidad sobre el aprovechamiento de aguas bajo los términos de la presente norma. Es deber de los usuarios solicitar dicho permiso antes de designar un terreno para riego.
  
- **Decreto 3930 de 2010:** El presente decreto en su contenido hace referencia específica a los usos del agua en el capítulo IV, para el caso del río Subachoque el agua se encuentra clasificada para uso de consumo humano y agrícola, los artículos 9°, 10° y 13° mencionan lo siguiente:
  - Artículo 9°. Usos del agua. Para los efectos del presente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua:
    1. Consumo humano y doméstico.
    2. Preservación de flora y fauna.
    3. Agrícola.
    4. Pecuario.
    5. Recreativo.
    6. Industrial.
    7. Estético.
    8. Pesca, Maricultura y Acuicultura.
    9. Navegación y Transporte Acuático.



- Artículo 10. Uso para consumo humano y doméstico. Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en actividades tales como:
  1. Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato.
  2. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.
  3. Preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.

Artículo 13. Uso agrícola. Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

- **Ley 99 de 1993:** Se hace necesaria la creación de organizaciones gubernamentales que velen por la protección del medio ambiente, por esta razón se crean las entidades de vigilancia y control ambiental en el país, como lo son, el Ministerio del Medio Ambiente, Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA.
- **Decreto 2667 de 2012: Artículo 27°: Monitoreo del recurso hídrico.** Las autoridades ambientales competentes deberán realizar Programas de Monitoreo de las fuentes hídricas en por lo menos, los siguientes parámetros de calidad: Temperatura ambiente y del agua in situ, DBO5, SST, DQO, Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales y pH.

- **Decreto 3016 de 2013:** Por el cual se reglamenta el Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales.

## 7. METODOLOGIA

### 7.1. Elección del lugar de estudio (río Subachoque).

La realización de estudios de calidad de aguas que se vienen realizando a nivel de la Sabana de Bogotá por parte de instituciones educativas y autoridades ambientales hace que se tenga mayor información acerca del recurso hídrico, sin embargo, aún quedan diferentes zonas en donde hay poca información de este tipo. Considerando lo mencionado anteriormente se eligió el río Subachoque para la elaboración del presente estudio teniendo en cuenta la importancia económica y social que éste representa para el municipio, además de que asegura el abastecimiento de agua potable de la población. (**Acuerdo 041 de 2001**).

### 7.2. Determinación puntos de muestreo.

Para la elección de los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta los criterios topográficos como la altimetría, planimetría e inclinación del terreno para tener fácil acceso a los puntos; y sociales, como lo son la actividad económica del municipio y la autorización para el ingreso a los puntos, ya que algunos coincidían con predios privados, así como también las áreas de impacto del afluente objeto de estudio. De esta manera poder observar las tendencias a lo largo del río según lo evidenciado en previo reconocimiento de la zona.

Se tuvo en cuenta otras características tales como la profundidad en cada punto, el ancho, el tipo de material encontrado y tipo de suelo, así como la vegetación presente en cada punto.

Para la realización del presente estudio se ubicaron cuatro puntos de muestreo con el fin de obtener información más representativa del comportamiento de macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos y así conocer el estado de la calidad del agua a lo largo del Río Subachoque. (**Tabla 1 y Figura 2**).

**Tabla 1**

*Localización de los puntos de muestreo.*

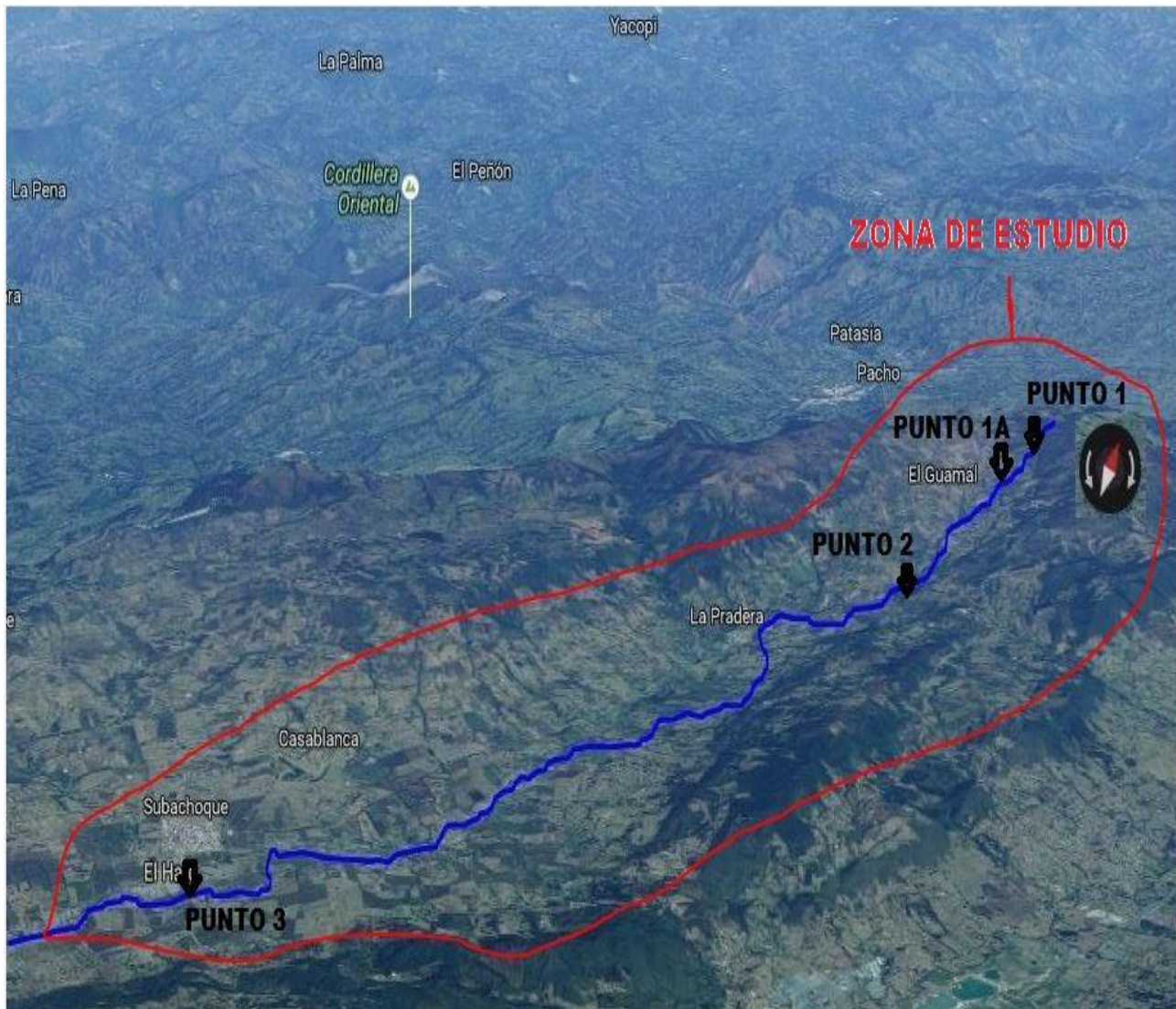
Fuente	Punto de muestreo	Coordenadas geográficas	Altura msnm	Distancia entre puntos Km
Río Subachoque	Punto1: Nacimiento del río vereda Guamal	N 5° 4' 10.8'' W 74° 06' 75.8''	3454	Punto de partida
	Punto 1A: metros abajo del nacimiento vereda Guamal	N 5° 03' .55'' W 74° 06' .43''	3381	0.43
	Punto 2: 2 kilómetros arriba del casco urbano de la vereda La Pradera	N 5° 01' 34.2'' W 74° 07' 5.71''	2993	4.68
	Punto 3: 300 metros abajo del casco urbano del municipio de Subachoque	N 4° 55' .41'' W 74° 09' .58''	2633	11.81

**Fuente:** Autores

Cabe anotar que se presentan cuatro puntos de muestreo (habiendo planteado inicialmente tres) debido a inconvenientes con el permiso para el acceso al punto 1, puesto que éste se encontró dentro de una propiedad privada, Como alternativa se decidió muestrear a 430 metros más abajo con el fin de que las condiciones ambientales fueran similares, por lo anterior, se presenta el punto 1A como reemplazo para el punto 1. Las mediciones en el punto 1A iniciaron a partir de la campaña

de muestreo N°5. Este punto se encuentra localizado a 0.43 km aproximadamente del nacimiento o punto 1, sus coordenadas: N = 5° 03' .55'' Y W 74° 06'.43'' y a una altura de 3381 dichas coordenadas fueron establecidas mediante GPS.

**Figura 2.** Localización puntos de muestreo.



**Fuente:** Tomado y modificado de Google maps 2016.

### 7.3. Medición de parámetros “In situ”.

Los datos de los parámetros fisicoquímicos se tomaron de manera *in situ* mediante equipos de electrodo específico, los parámetros medidos fueron; pH, Conductividad eléctrica, Sólidos Disueltos Totales (la mitad de la conductividad expresada en ppm), Turbiedad, Oxígeno disuelto, Temperatura del agua así como Temperatura ambiente mediante sensor incorporado a los equipos de medición y corroborados mediante termómetro de Hg de rango -20 °C – 110 °C marca IMM; los sólidos sedimentables fueron medidos mediante método estándar en campo, procediendo a su decantación en cono de Imhoff de volumen 1 litro.

Los parámetros mencionados anteriormente fueron medidos mediante los equipos que se presentan en la **Tabla 2**.

**Tabla 2**

*Referencia de Equipos utilizados.*

PARÁMETRO FISICOQUIMICO	REFERENCIA EQUIPO
pH	pHmetro marca SCHOTT handylab ph11/SET SCHOTT-Instruments - Gmbly.
Conductividad Eléctrica	Conductímetro marca YSI 30M- 100 L-N 30M - 100FT SN: 09A 130835.
Turbiedad	Turbidímetro marca MicroTPW Water Proof Scientific, inc. F.T MYERS,FL Catalog No 20000.
Oxígeno Disuelto	Oxímetro marca Digimed Oximeter DM - 4P.

**Fuente:** Autores

Posteriormente se procedió a tomar las muestras para la determinación de DQO, conservándose en frascos de vidrio ámbar de 500 ml y manteniéndolas en nevera refrigerante con hielo y geles refrigerantes a 4° C como parte de la cadena de custodia tal como lo indica el manual de prácticas de calidad del agua, **Guerra (2016)** y su posterior análisis en el laboratorio de calidad de aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas

#### **7.4 Recolección de macroinvertebrados acuáticos.**

La recolección de los macroinvertebrados acuáticos se realizó mediante el uso del método cualitativo, usando para ello redes en forma de “D” con un aro metálico de 30 cm por cada uno de sus tres lados, con un agarradero de madera de 80 cm de longitud y una malla tipo velo suizo con poro menor a 500  $\mu\text{m}$  (Figura 3c), también se empleó la recolección manual tanto en piedras como vegetación en las orillas del río y otro tipo de materiales como troncos y vegetación muerta presente en el cuerpo de agua (Figura 3a), para la recolección se utilizó pinceles y pinzas de diferentes tamaños y formas para lograr extraer la mayor cantidad de macroinvertebrados de manera que no se dañara su estructura debido a su frágil cuerpo. Los macroinvertebrados recolectados se conservaron en frascos plásticos volumen 30 milímetros con alcohol al 70 % para su posterior análisis (Figura 3d), según metodología propuesta por **Roldán (2003)**.

**Figura 3.** Metodología de muestreo: (a) Extracción de los organismos acuáticos, (b) preservación de muestras para análisis de DQO, (c) recolección de macroinvertebrados con red en forma de “D” y (d) preservación de organismos acuáticos.



**Fuente:** Autores

Cada uno de los frascos y de acuerdo al punto de muestreo fue debidamente rotulado con la mayor cantidad de datos recogidos, conteniendo información como lo muestra la **Figura 4**.

**Figura 4.** Rotulo de recolección de información.

Lugar de recolección		Hora	
Fecha	Método de recolección		
Recolectores	Color		
Punto de muestreo	Hábitat		
Área de Estudio			

**Fuente:** Autores

Los muestreos se realizaron en época seca y lluviosa del año y repartidos tal como se indica en la **Tabla 3**. Sin embargo, cabe anotar que debido al fenómeno del niño que se presentó en el país, en la temporada invernal no se presentaron precipitaciones.

**Tabla 3**

*Campañas de muestreo.*

Nº DE CAMPAÑAS	FECHA	OBSERVACIÓN
Premuestro	01 Marzo de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos
Muestreo 1	08 Marzo de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos
Muestreo 2	15 Marzo de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos
Muestreo 3	25 Abril de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos y medición de parámetros fisicoquímicos
Muestreo 4	01 Mayo de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos y medición de parámetros fisicoquímicos
Muestreo 5	10 Mayo de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos y medición de parámetros fisicoquímicos
Muestreo 6	07 Junio de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos y medición de parámetros fisicoquímicos
Muestreo 7	13 Junio de 2015	Recolección de macroinvertebrados acuáticos y medición de parámetros fisicoquímicos

**Nota:** Cabe anotar que se realizó 1 Premuestreo con la finalidad de establecer los puntos adecuados para la toma de muestras y posteriormente se establecieron 7 muestreos definitivos, es necesario anotar que solo a partir del muestreo N° 3 se realizaron la medición de parámetros fisicoquímicos por cuestión de disponibilidad de tiempo y equipos.



### **7.5 Tiempo de muestreo.**

Con la finalidad de obtener la mayor cantidad y diversidad de biota se definió un tiempo de muestreo de 3 minutos con submuestras de 1 minuto cada una, para las primeras tres campañas de muestreo, y un tiempo de 9 minutos con submuestras de 3 minutos para las últimas cinco campañas de muestreo según metodología citada por **(Vaquerano, Farfán, Escobar, Sarmento & Serrano , 2012).**

### **7.6 Determinación y clasificación de los macroinvertebrados.**

Posteriormente se determinó morfológica y taxonómicamente los macroinvertebrados acuáticos colectados llegando hasta el nivel de Género para la mayoría de familias, labor que se llevó a cabo en los laboratorios de biología y de zoonosis de la facultad de medio ambiente y recursos naturales de la Universidad Distrital mediante el uso de estereoscopio Leica Zoom 2000 y Discovery.V8 Zeiss. Las claves taxonómicas utilizadas para la identificación de los macroinvertebrados encontrados en el estudio fueron: **ROLDAN (1988), SPRINGER (2010), OSEGUERA & PACHECO (2012), GUTIERREZ (2010), DOMINGUEZ & FERNANDEZ (2009).**

Finalmente, una vez determinados los organismos, se procedió a la aplicación de los índices BMWP y ASTP como índices bióticos directos para medir la calidad del agua e índices ecológicos como Margalef, Jaccard, Sorensen, Shannon & Weaver y Simpson para posterior interpretación de los resultados.

### **7.7 Determinación de la DQO.**

La determinación de la DQO de las muestras de agua se realizaron en el laboratorio de calidad del agua de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco

José de Caldas, por metodología de DIGESTION CERRADA - MICRODIGESTION según lo indica el Standard Methods, mediante el uso de Kit HANNA Instruments código EPA HI 93754B – 25 de rango 0 – 1500 mg/L. Finalmente su concentración se determinó mediante el uso de la ecuación 6 citada por (Guerra, 2015).

### Ecuación 6

$$DQO_{\text{MUESTRA}} \text{ como mg O}_2/\text{L} = \frac{(\text{ml FAS Bk} - \text{ml FAS muestra}) * \text{NFAS} * 8000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

**FAS** = (Sulfato Ferroso Amoniacal).

**ml FAS Bk** = solución titulante gastada en el blanco.

**ml FAS muestra** = Solución titulante gastada en la muestra.

**NFAS** = Normalidad de la solución titulante para este caso fue de 0,05 N.

**8000** = 8 (Peso equivalente del Oxígeno) \* 1000 (Conversión de ml a L).

**ml de muestra** = (Agua objeto de estudio).

Los gráficos de los parámetros fisicoquímicos y distribución de clases, órdenes y curva acumulación de géneros se diseñaron utilizando el programa Microsoft Excel 2013, facilitando así la interpretación de la información.

## 8. PRESENTACION DE RESULTADOS

La calidad de un cuerpo de agua puede evaluarse mediante tres metodologías diferentes, las cuales se complementan entre sí, estas son: la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos. Dichos parámetros fueron evaluados para determinar la calidad del agua en la que se encuentra el río Subachoque, en el caso de los parámetros físicos se tuvieron en cuenta la Temperatura del Agua, la Temperatura Ambiente, la Turbiedad, la Conductividad, los Sólidos Disueltos Totales y los Sólidos Sedimentables, en cuanto a los parámetros químicos se evaluaron la Demanda Química de Oxígeno, el Oxígeno Disuelto y el pH, finalmente para determinar las características biológicas del río se colectaron y analizaron los macroinvertebrados acuáticos (Uribe, 2015).

### 8.1. Parámetros físico-químicos.

Tanto los parámetros físicos como los parámetros químicos presentan una relación estrecha entre sí, los primeros por sus características se pueden determinar a partir de los sentidos como es el caso de la turbiedad, la cual puede observarse a simple vista, a su vez éste indicador nos lleva a tener un indicio del estado del parámetro químico de oxígeno disuelto puesto que los segundos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, sin embargo éstos resultan ser más difíciles de determinar, requiriendo incluso de pruebas específicas de laboratorio (Campos, 2003).

Dado lo anterior se tomó la decisión de integrar los parámetros físicos y químicos en la **Tabla 4**, de manera que los mismos se puedan interpretar colectivamente. Los valores presentados están subdivididos por fecha de campaña de muestreo y éstas a su vez por punto de muestreo, de esta manera podemos encontrar que se realizaron 5 campañas con tres puntos cada una y la medición de 9 parámetros fisicoquímicos con sus respectivas unidades, para un total de 135 datos recopilados.

Por otra parte, para observar la tendencia de cada parámetro por separado se presentan las figuras desde la 12 hasta la 20, cada una de ellas contiene una estructura definida por las cinco campañas de muestreo y los tres puntos tomados en cada una de ellas. Los rangos varían de acuerdo con los resultados obtenidos para cada parámetro.

**Tabla 4**

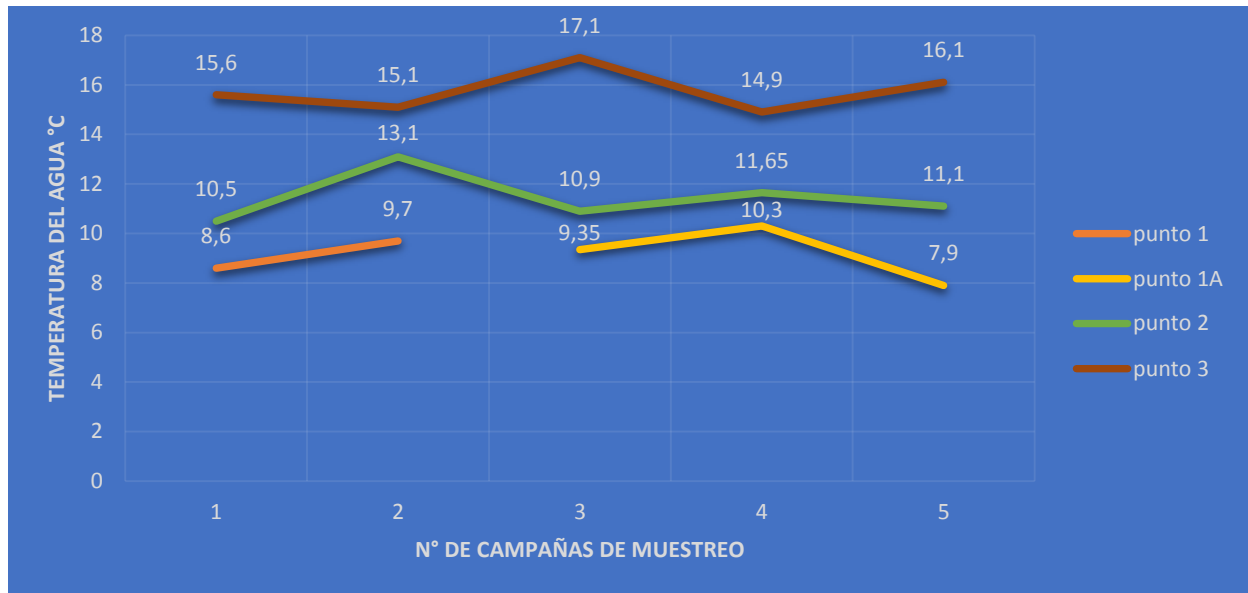
*Resultados de Parámetros Fisicoquímicos tomados en el Río Subachoque.*

CAMPAÑAS DE MUESTREO	PUNTOS DE MUESTREO	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TURBIEDAD (NTU)	CONDUCTIVIDAD (Us/cm)	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)	SOLIDOS SEDIMENTABLES (ppm)	DQO mg de (O <sub>2</sub> /L)	OXIGENO DISUELTO (ppm)	pH
3 (25 DE ABRIL)	PUNTO 1	8,6	9,3	0,64	25,8	12,9	2,01	252	8,1	5,36
	PUNTO 2	10,5	10,1	2,01	44,6	22,3	No Detectable	194	9,2	6,97
	PUNTO 3	15,6	14,8	3	93,2	46,6	No Detectable	240	7,4	7,01
4 (01 DE MAYO)	PUNTO 1	9,7	12,4	0	22,1	11,05	0,5	183	5,43	5,43
	PUNTO 2	13,1	19,3	0,78	43,1	21,55	No Detectable	211	5,7	6,38
	PUNTO 3	15,1	18,9	3,26	89,5	44,75	No Detectable	225	6,5	7,05
5 (10 DE MAYO)	PUNTO 1 <sup>a</sup>	9,35	9,5	8,6	12,8	6,4	No Detectable	94	3,5	6,21
	PUNTO 2	10,9	10,4	6,24	27,5	13,75	No Detectable	100	5,2	6,53
	PUNTO 3	17,1	21,5	6,25	82	41	No Detectable	110	6,5	6,74
6 (07 DE JUNIO)	PUNTO 1 <sup>a</sup>	10,3	12,8	3,83	16,3	8,15	No Detectable	192	4,1	5,83
	PUNTO 2	11,65	14,5	4,74	40,5	20,25	No Detectable	180	6,4	6,63
	PUNTO 3	14,9	18,5	4,5	96,5	48,25	0,5	156	7,4	6,82
7 (13 DE JUNIO)	PUNTO 1 <sup>a</sup>	7,9	8,9	4,35	16,8	8,4	No Detectable	140	4,4	6,3
	PUNTO 2	11,1	11,2	7,83	42,8	21,4	No Detectable	78	6	6,82
	PUNTO 3	16,1	20,6	4,92	104,1	52,05	No Detectable	142	6,3	6,96

**Fuente:** Autores

### 8.1.1 Temperatura del Agua.

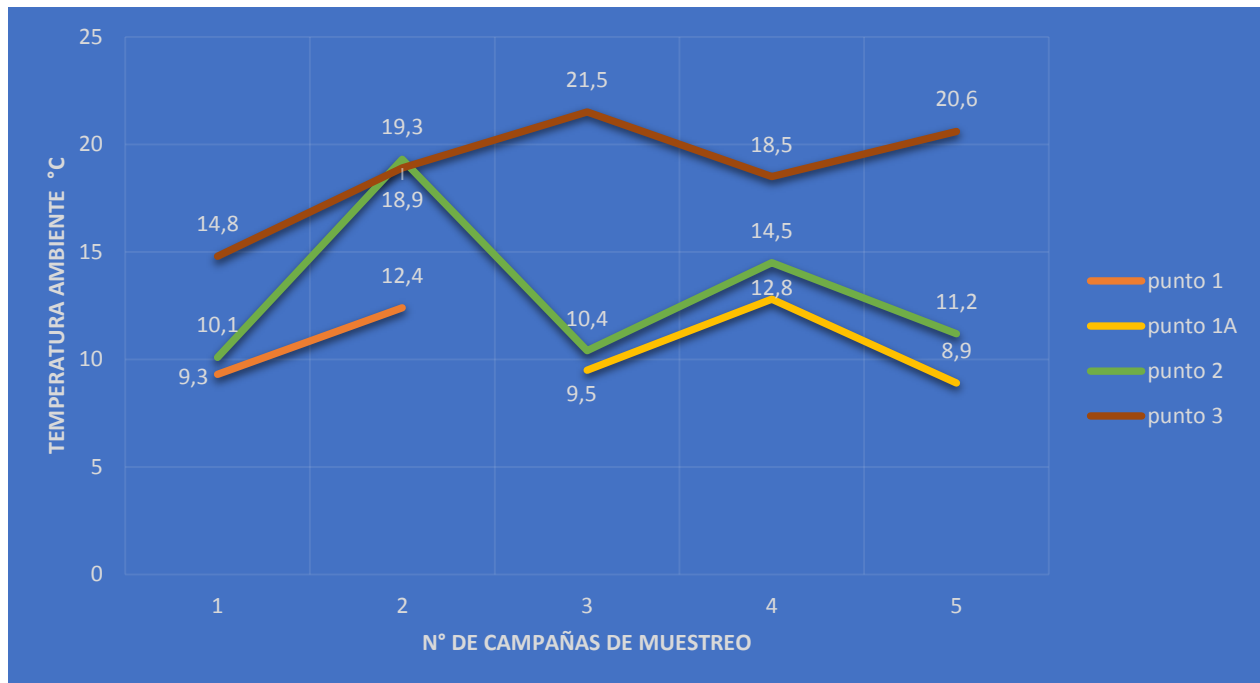
**Figura 5.** Resultados del comportamiento de la Temperatura del Agua en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.2 Temperatura Ambiente.

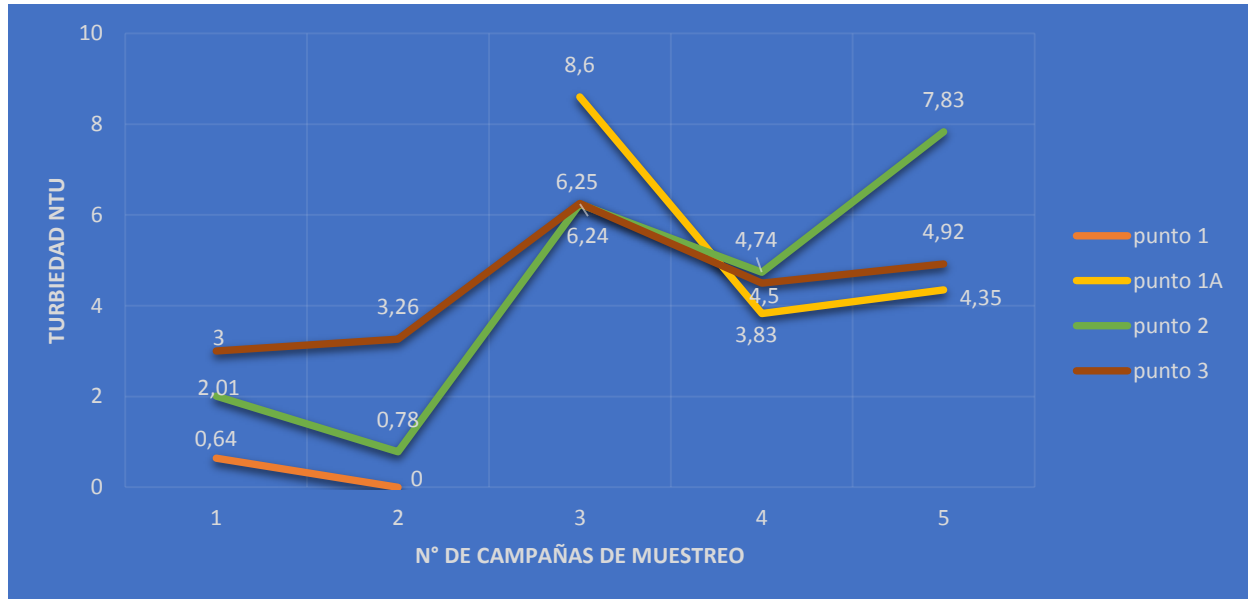
**Figura 6.** Resultados del comportamiento de la Temperatura Ambiente en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.3 Turbiedad.

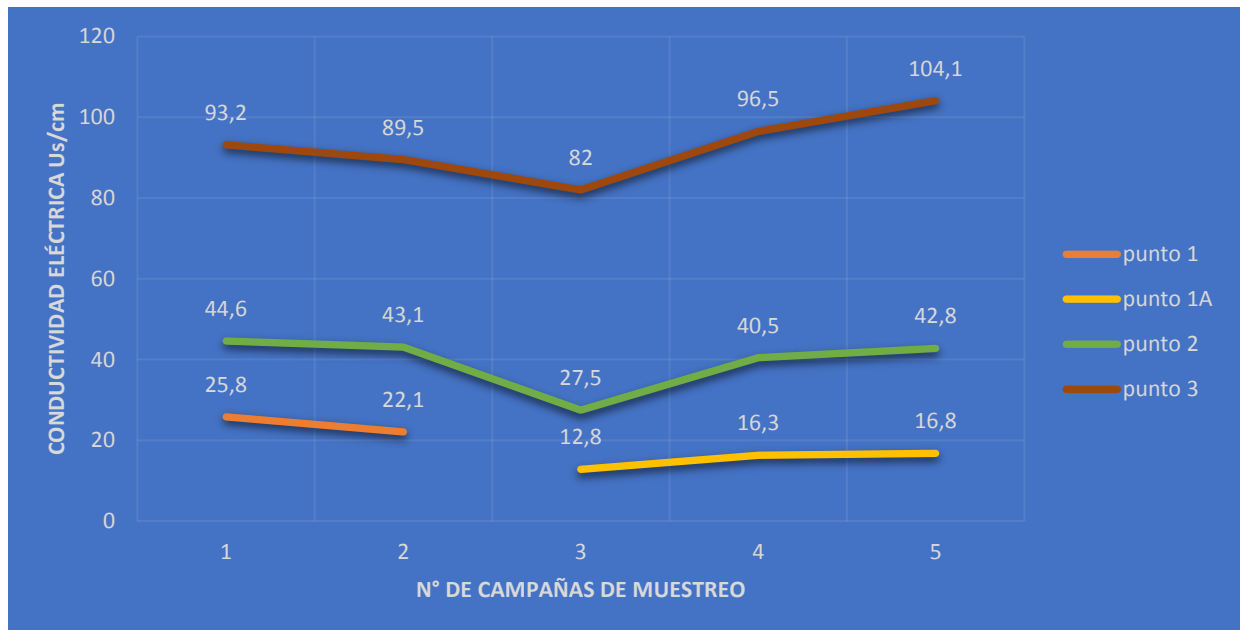
**Figura 7.** Resultados del comportamiento de la Turbiedad en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.4 Conductividad eléctrica.

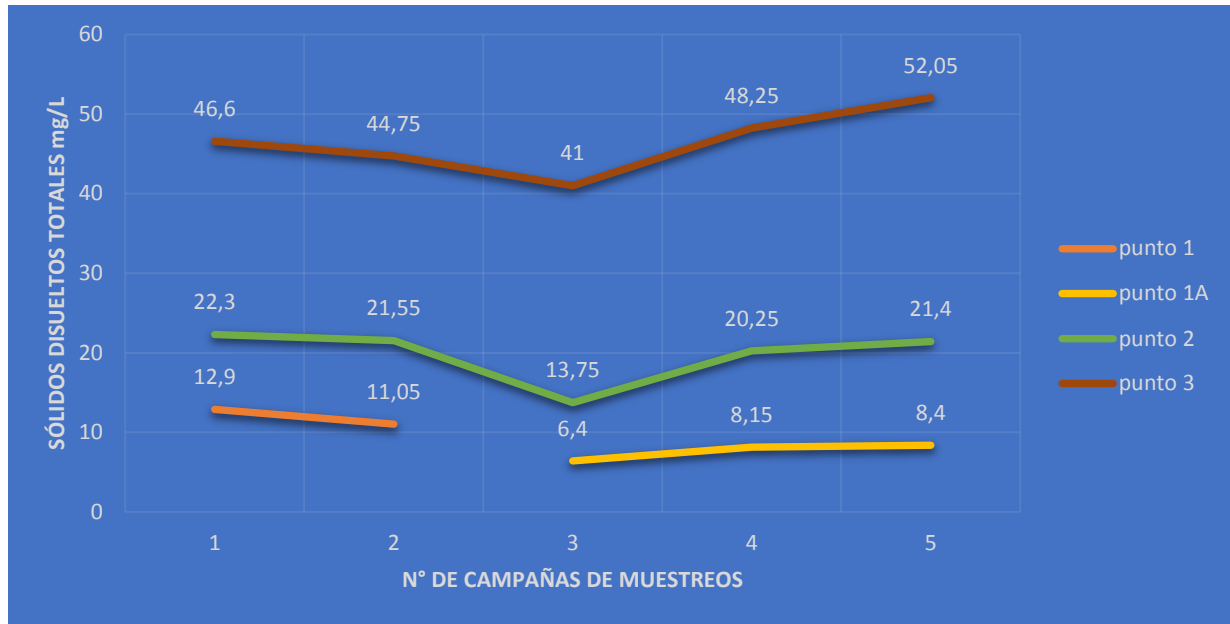
**Figura 8.** Resultado del comportamiento de la Conductividad Eléctrica en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.5 Sólidos disueltos totales.

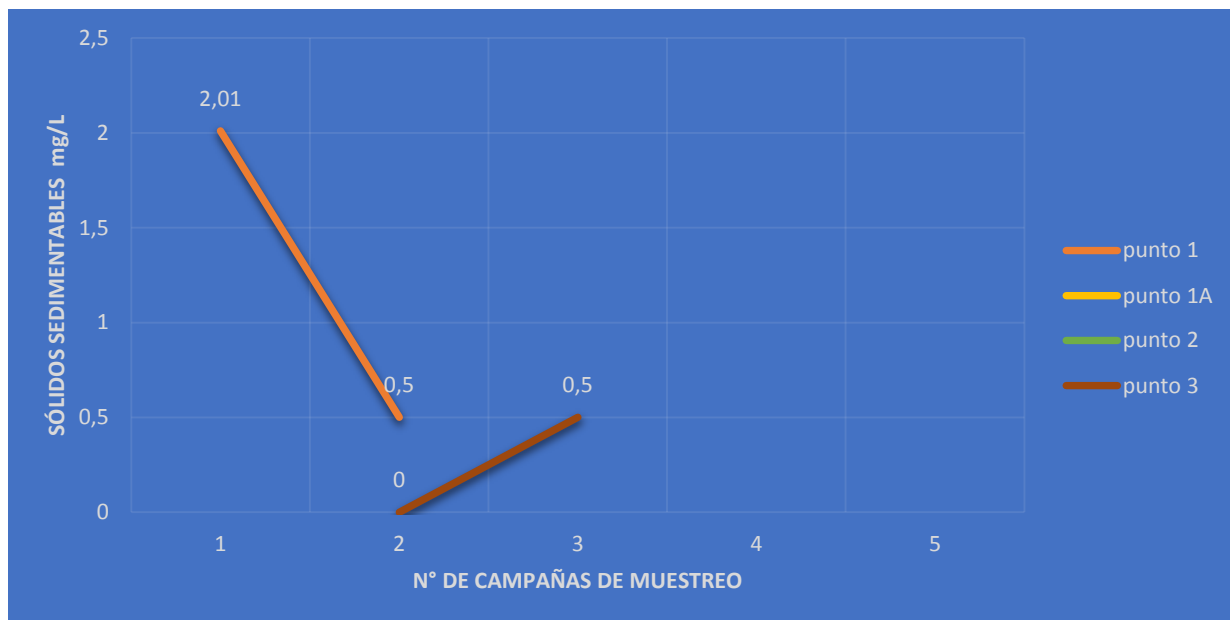
**Figura 9.** Resultados del comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.6 Sólidos sedimentables.

**Figura 10.** Resultados del comportamiento de los Sólidos Sedimentables en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.

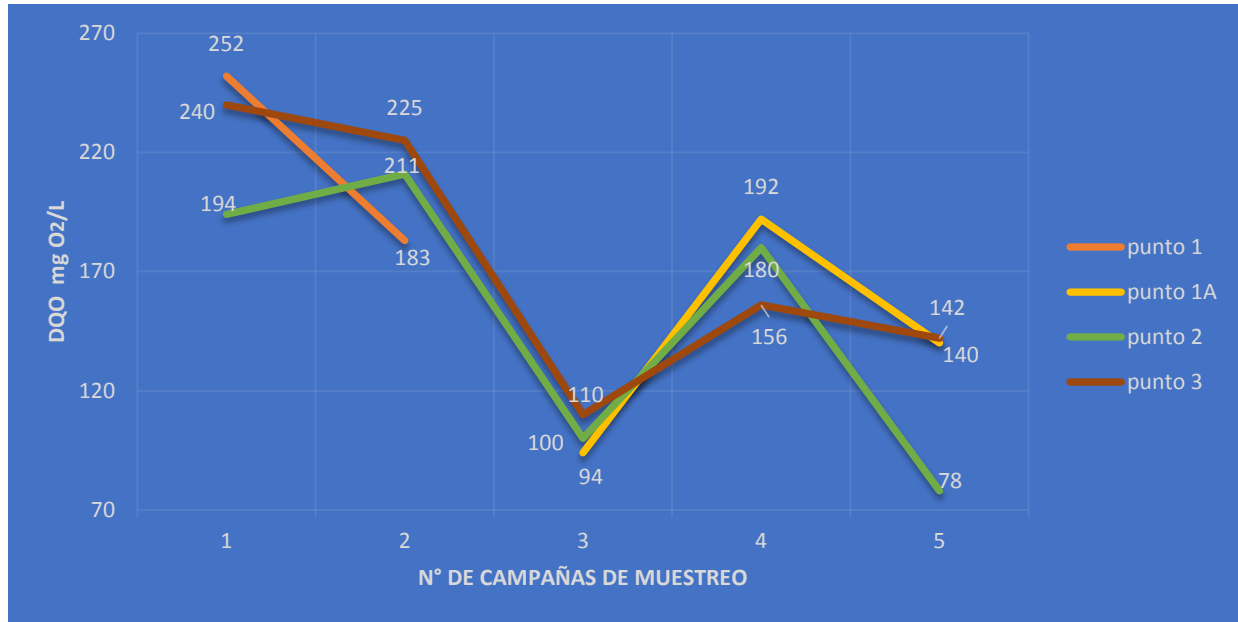


**Fuente:** Autores



### 8.1.7 Demanda química de oxígeno (DQO).

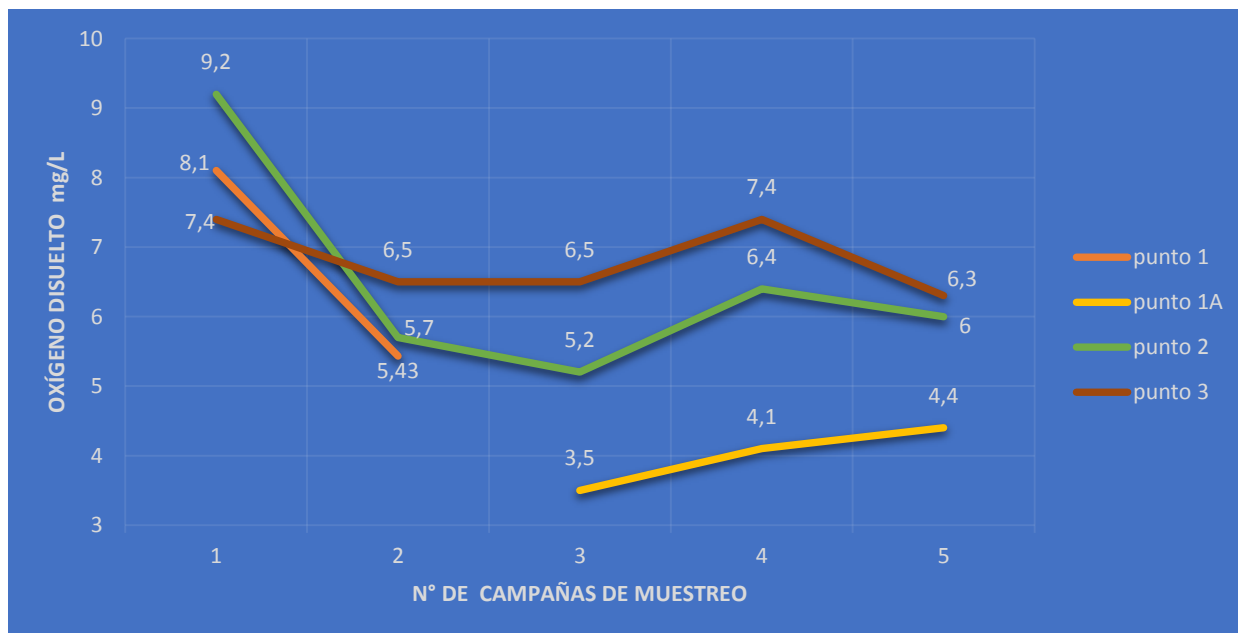
**Figura 11.** Resultados del comportamiento de la DQO en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.8 Oxígeno disuelto.

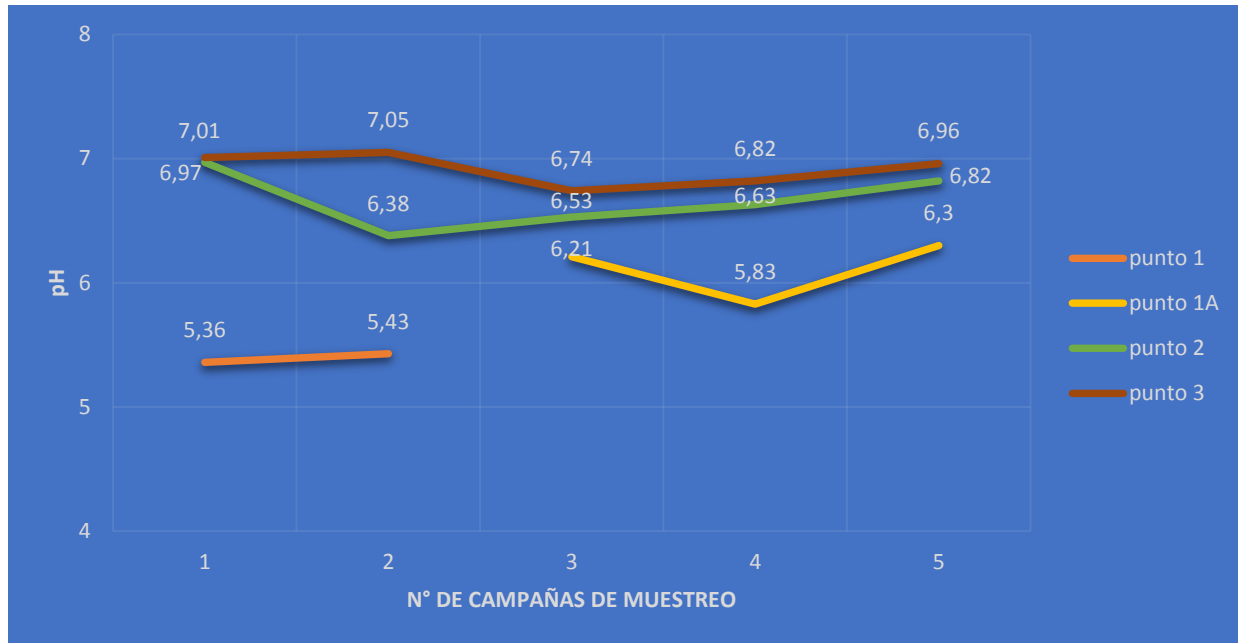
**Figura 12.** Resultados del comportamiento del Oxígeno Disuelto en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

### 8.1.9 pH.

**Figura 13.** Resultado del comportamiento de pH en los puntos de muestreo 1, 1A, 2 y 3 del Río Subachoque.



**Fuente:** Autores

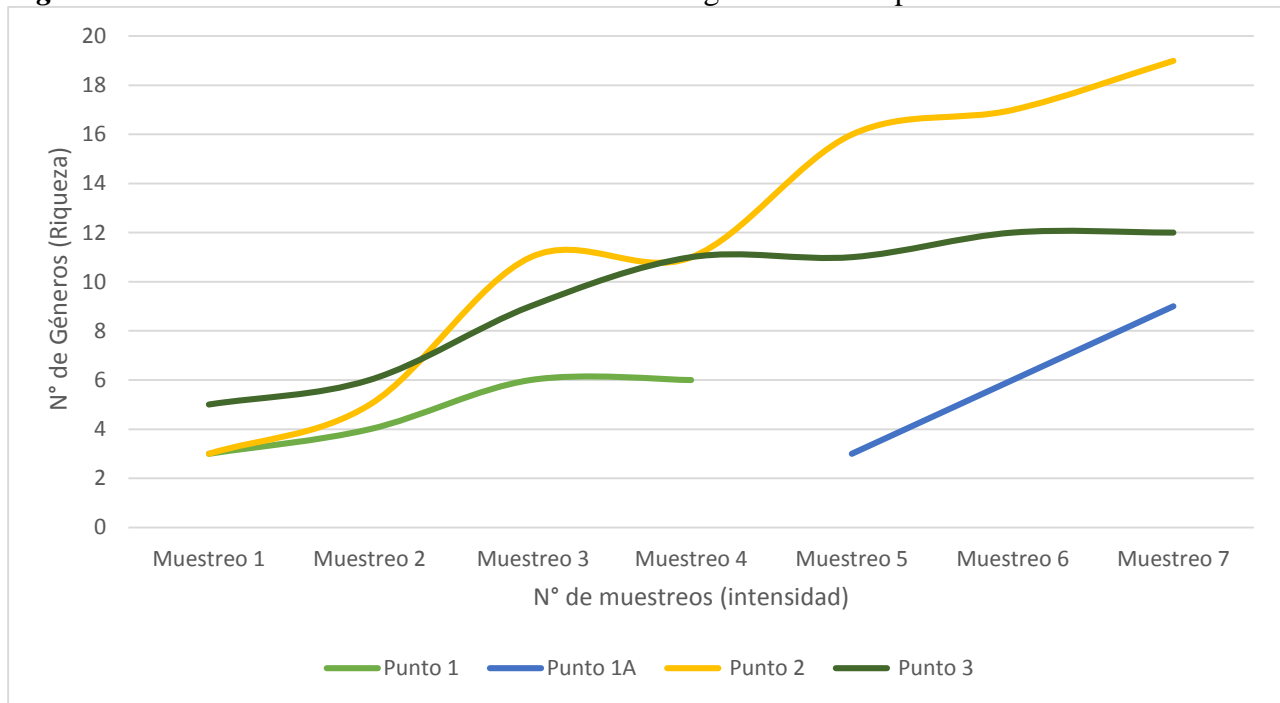
### 8.2. Macroinvertebrados Acuáticos

En los puntos de muestreo sobre el río Subachoque se recolectaron un total de 2411 individuos agrupados en 10 órdenes, 22 familias y 24 géneros. Se encontró que las familias que tuvieron la población más abundante de individuos fueron: **Simulidae** con 1039 individuos seguida por **Chironomidae** con 450 individuos (**ANEXO 2**). El mayor número de familias encontradas pertenecen al orden Coleóptera (5) y Díptera (4). Por otro lado se encontraron varias familias representadas por un solo individuo tales como **Dytiscidae**, **Helophoridae**, **Curculionidae**, **Drepanotrema**, **Physichodidae**, y los géneros **Molophilus**, **Gyrinus** respectivamente.

De los tres puntos muestreados, el punto que presentó la mayor cantidad de organismos fue el punto 3 con 1711 organismos, seguido por el punto 2 con 382 organismos y finalmente los puntos con menor cantidad de individuos fueron los puntos 1 y 1A con 72 y 245 organismos respectivamente.

### 8.2.1 Curva acumulación de Géneros

**Figura 14:** Resultados de la curva de acumulación de géneros en los puntos de muestreo.



**Fuente:** Autores

En el punto 1 de muestreo se observaron un total de 6 géneros de los cuales solo (Chironominae) se encontró en todas las campañas de muestreo mientras que los géneros restantes se encontraban con menor frecuencia pero sin encontrarse nuevos géneros en mayor cantidad lo cual hace que la curva pierda un poco la pendiente, de igual manera en el punto 3 se presentan 12 géneros y para los últimos dos muestreos se encontró la misma cantidad tendiendo la curva a ser asintótica. Por otro lado en el punto 1A y se observaron 11 géneros siendo (Girardia y Chironominae) los que

presentaron frecuencia en todos los muestreos, mientras que los demás lo hicieron con regularidad encontrándose nuevos a medida que trascurrían los muestreos, por esta razón la curva presenta una pendiente elevada; lo mismo sucede con la curva del punto 2 pero esta ya pierde un poco de pendiente ya que se encontraban nuevos organismos pero la cantidad era menor.

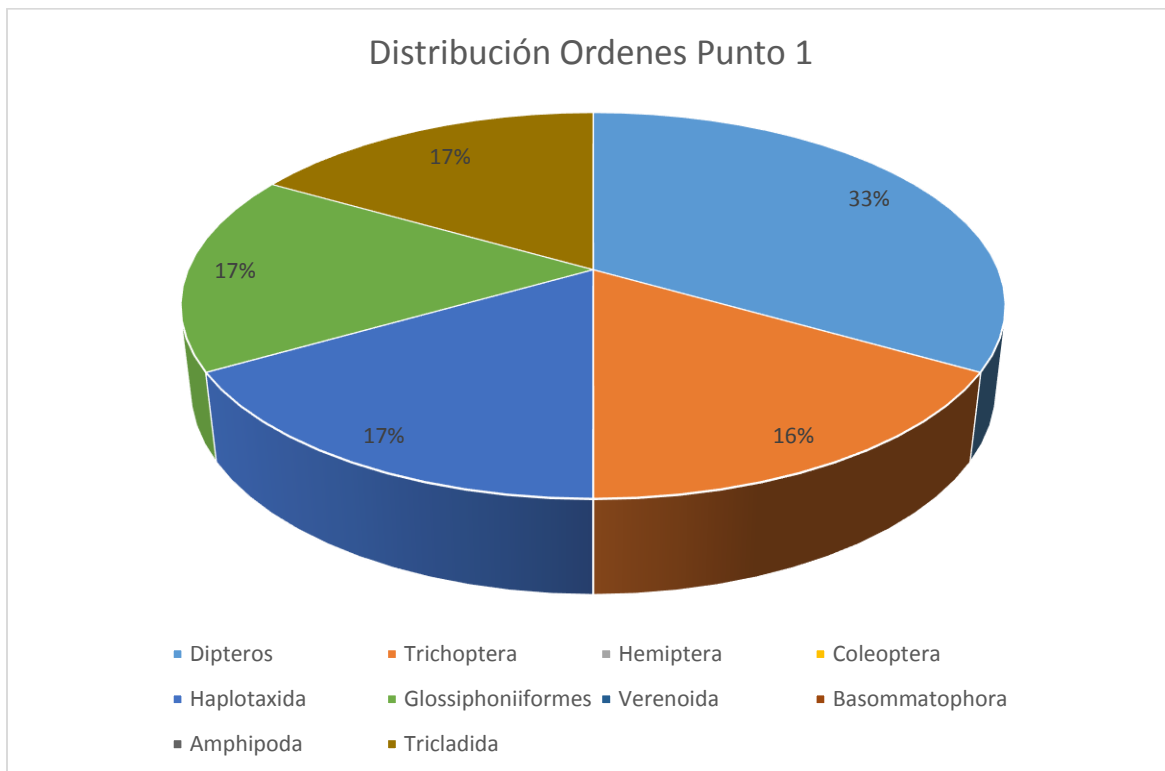
En las curvas de los puntos 1 Y 1A se presenta un corte hacia el muestreo número 4, esto se debe a los problemas de muestreo que se presentaron y los cuales se describen claramente en la metodología.

### **8.2.2 Distribución de Órdenes de macroinvertebrados acuáticos colectados por punto de estudio.**

El grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos, los cuales desarrollan alguna fase de su ciclo de vida en el agua y a su vez dentro de éste grupo se destacan algunos órdenes por su abundancia y distribución, de éstos, los encontrados en los puntos 1, 1A, 2 y 3 fueron: Hemípteros, Coleópteros, tricópteros y Dípteros (*Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17*).

**Figura 15.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 1.

En este punto se puede evidenciar que el orden con mayor distribución fue el de los Dípteros, algunos de los cuales se adaptan a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, como es el caso de la familia Chironomidae, el cual en abundancia es un indicador de que existe alguna perturbación en el ecosistema.

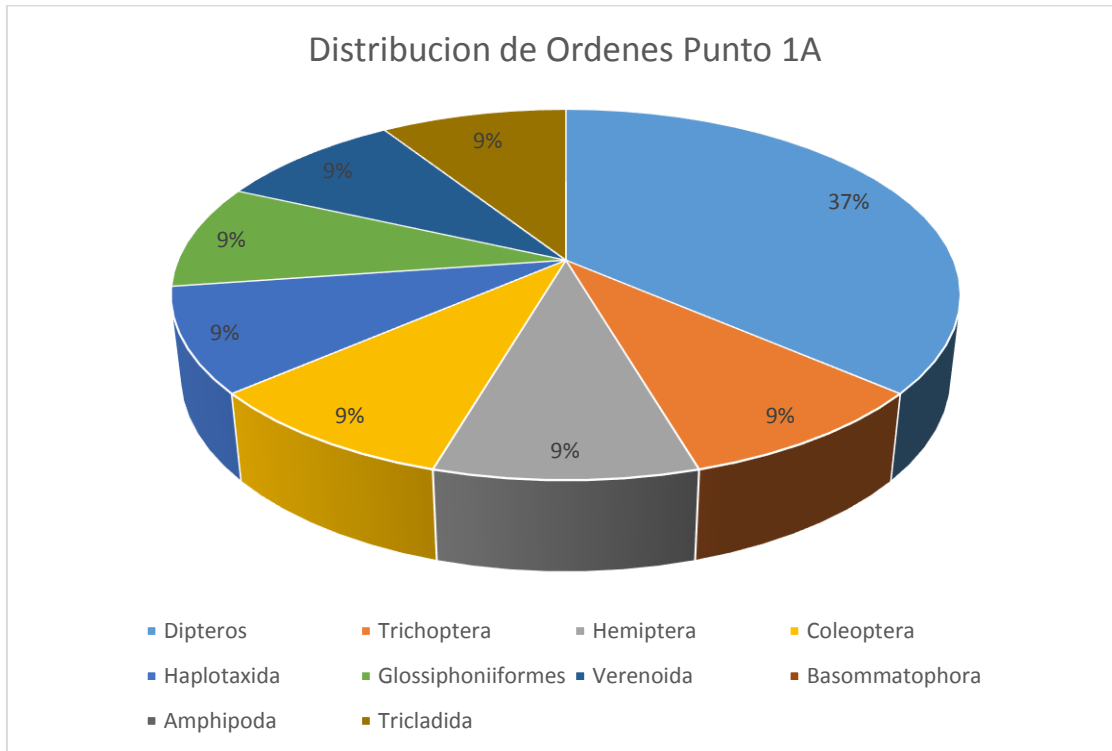


**Fuente:** Autores

**Figura 16.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 1A.

En este punto nuevamente hay una distribución alta del orden Díptera, pero adicionalmente también hay una distribución sobresaliente e igualitaria de los demás ordenes, pudiendo destacar el orden de los Hemípteros ya que en este punto se encontró gran cantidad de individuos pertenecientes a

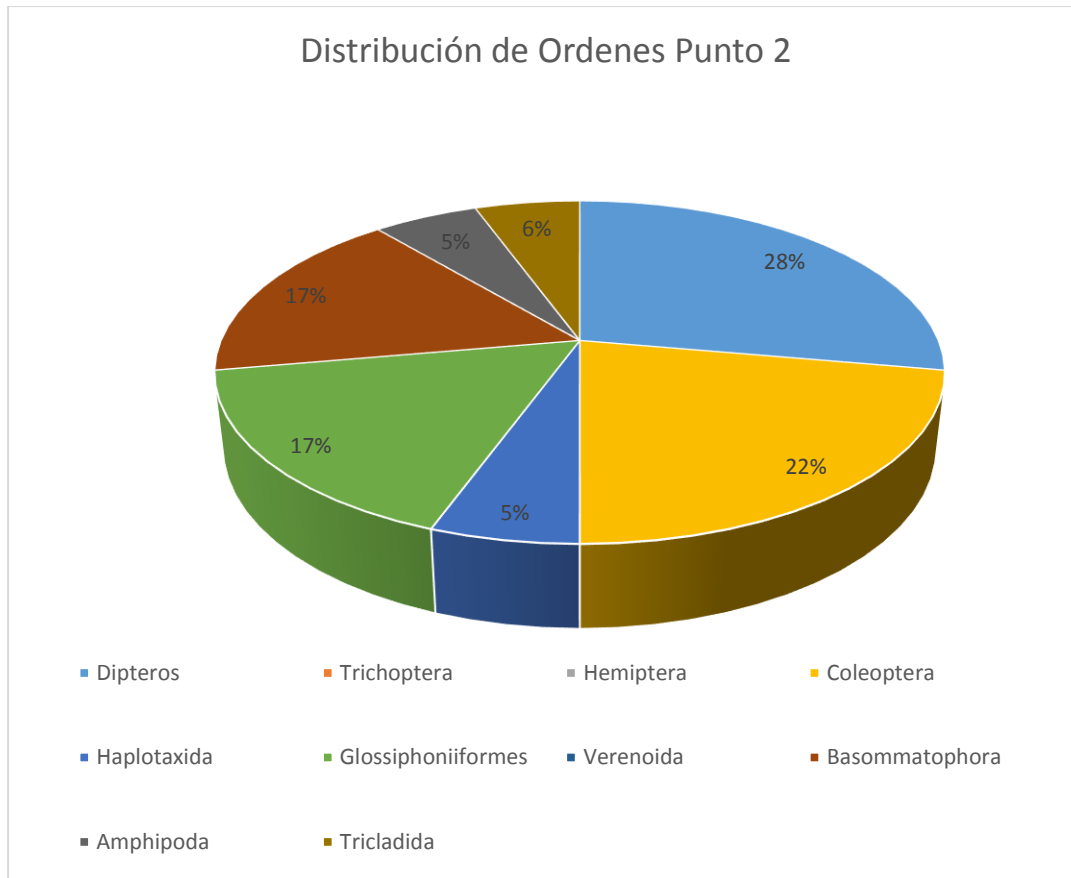
este orden, su presencia en aquí se debe a que poco resisten las corrientes rápidas y el punto 1A primaba un ambiente léntico (**ANEXO 1**).



**Fuente:** Autores

**Figura 17.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 2.

En este punto prevalece la distribución de Dípteros, sin embargo, en una proporción semejante se encuentra el orden de los Coleópteros, los cuales constituyen el mayor grupo de insectos y quizá el más evolucionado (**Ladreda et al, 2013**). La calidad de las aguas no suele ser un factor determinante en la distribución de muchas familias de este orden, lo cual indica que son tolerantes y se han adaptado a las variaciones fisicoquímicas presentadas en el punto 2 (**Tabla 4**).

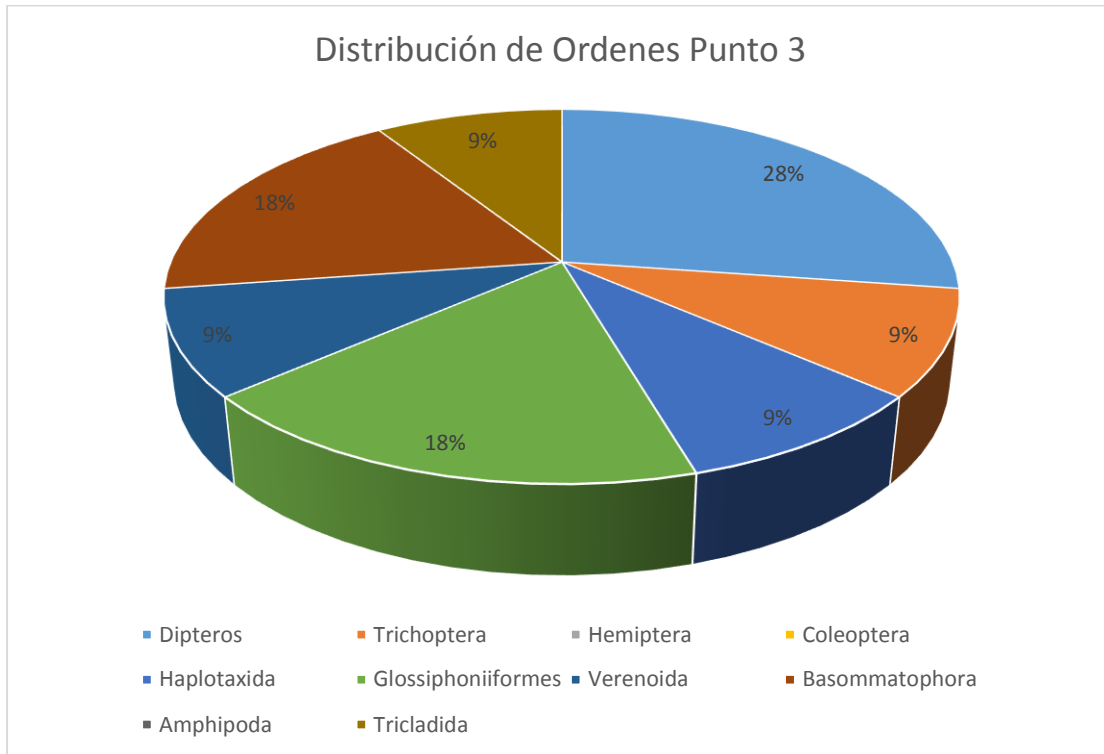


**Fuente:** Autores

**Figura 18.** Distribución de Órdenes encontrados en el punto 3.

En este punto cabe destacar la presencia de tres órdenes principalmente, Díptera y dentro de éste la familia Simuliidae; Orden Basommathopora, y dentro de éste la familia Physidae y el orden Tricladida, y dentro de éste la familia Planariidae, pues se encontró gran cantidad de individuos de dichas familia en este punto, donde los valores de los parámetros fisicoquímicos fueron los más altos con relación a los demás puntos indicando una adaptación de éstos organismos a dichas condiciones, es decir, organismos euritermos. Por ejemplo, la presencia de la familia Planariidae en gran cantidad en este punto pudo influir en la poca variabilidad y abundancia de individuos de

las familias encontradas, ya que son organismos predadores que atacan y se alimentan de otros macroinvertebrados.



**Fuente:** Autores

### 8.2.3 Aplicación y valor de los índices bióticos BMWP/Col Y ASTP.

El inventario de familias recolectadas y la aplicación de las respectivas puntuaciones y resultados de los índices antes mencionados pueden observarse en la **(Tabla 5)**, mientras que la clasificación de las aguas con respecto a los resultados obtenidos pueden observarse en la **(Tabla 6)**.



**Tabla 5**

Asignación de los puntajes de acuerdo al método BMWP/Col a los ejemplares hallados en el río Subachoque.

<i>Familia</i>	1	1 <sup>a</sup>	2	3
<i>Chironomidae</i>	2	2	2	2
<i>Simuliidae</i>		7	7	7
<i>Tipulidae</i>	3	3	3	3
<i>Ceratopogonidae</i>		5	5	
<i>Leptoceridae</i>		8		
<i>Hydroptilidae</i>	8			8
<i>Trichocorixa</i>		7		
<i>Gyrinidae</i>		5		
<i>Curculionidae</i>			4	
<i>Tubicidae-Nainidae</i>	1	1	1	1
<i>Lumbriculidae</i>				1
<i>Glossiphoniidae</i>	5	5	5	5
<i>Cylicobdellidae</i>			3	
<i>Sphaeridae</i>		8		8
<i>Physidae</i>			3	3
<i>Ancylidae</i>			7	7
<i>Planorbiidae</i>			8	
<i>Hyalellidae</i>			7	
<i>Planariidae</i>	7	7	7	7
<i>Chrysomelidae</i>			4	
<i>Dytiscidae</i>			9	
<i>Helophoridae</i>			5	
<b>Resultado BMWP</b>	26	58	80	52
<b>ASTP</b>	4,33	5,27	5	4,72

**Fuente:** Autores

Como puede observarse en la (Tabla 6), los resultados del método BMWP/Col clasifican las aguas de los puntos 1 como aguas “muy contaminadas y moderadamente contaminadas” para los puntos 1A y 3 respectivamente, mientras que la clasificación del agua para el punto 2 es “ligeramente contaminada” éstos resultados mantienen una relación directa con la cantidad de familias que se presentaron en cada punto y su relación con el puntaje asignado, por su parte los resultados del

índice ASTP muestran una clasificación muy similar, ya que en el punto 1, solo se genera un cambio en el punto 2.

**Tabla 6**

*Clasificación de la calidad del agua que se presenta en el río Subachoque mediante la aplicación de los índices BMWP/Col y ASTP.*

	<b>Punto</b>	<b>1</b>	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>B M W P</b>	<b>Color</b>				
	<b>Clase</b>	IV	III	II	III
	<b>Calidad</b>	Crítica	Dudosa	Aceptable	Dudosa
	<b>Significado</b>	Aguas muy contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas ligeramente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas
<b>A S T P</b>	<b>Color</b>				
	<b>Clase</b>	IV	III	III	III
	<b>Calidad</b>	Crítica	Dudosa	Dudosa	Dudosa
	<b>Significado</b>	Aguas muy contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas

**Fuente:** Autores

#### **8.2.4 Resultados índices de diversidad.**

La (Tablas 7) presenta los resultados de los índices de diversidad Alfa. El índice de Dominancia Simpson no presentó mayor variabilidad pues sus valores se encuentran en el rango de 0.5974 y 0.7794, siendo el punto 1 el menor valor y el punto 2 el mayor. En cuanto al índice de Riqueza de

Margalef los valores obtenidos muestran una variabilidad significativa entre los puntos 1 y 3 con los vales más bajos y los puntos 1A y 2.

Finalmente, los valores presentados para el índice de Diversidad de Shannon- Weaver se encuentran en un rango de entre 1.2592 y 1.8519, los puntos en los cuales se registraron los mayores valores fueron los puntos 1A y 2. Los índices se calcularon para cada uno de los puntos agrupando la información de todas las campañas de muestreo más no por cada uno de ellos.

Por otro lado los valores para los índices de similitud de Jaccard y Sorensen se encuentran en un rango de entre 0,26 y 0,5, presentándose los valores más altos en los puntos 1 y 3 y 2 y 3 mientras que los puntos con menor valor de correlación fueron 1 y 2 (**Tabla 8**).

**Tabla 7**

*Valor de los Índices de biodiversidad.*

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Simpson</b> (Dominancia)	<b>Margalef</b> (Riqueza)	<b>Shannon-Weaver</b> (Diversidad)
Punto 1 Nacimiento	0.5974	1.4029	1.2592
Punto 1A abajo del nacimiento	0.7219	1.8117	1.5342
Punto 2 Arriba de la pradera	0.7794	2.6911	1.8519
Punto 3 Abajo de Subachoque	0.6437	1.3432	1.4205

**Fuente:** Autores

**Tabla 8**

*Valor de los índices de similitud (cualitativos).*

<b>Similitud de puntos</b>	<b>Jaccard</b>	<b>Sorensen</b>
<i>Puntos 1 y 1A</i>	0,38	0,55
<i>Puntos 1 y 2</i>	0,26	0,41
<i>Puntos 1 y 3</i>	0,5	0,66
<i>Puntos 2 y 1A</i>	0,33	0,5
<i>Puntos 2 y 3</i>	0,47	0,64
<i>Puntos 3 y 1A</i>	0,37	0,54

**Fuente:** Autores

## 9. ANALISIS DE RESULTADOS

### 9.1 Relación entre la Temperatura del Agua y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.

Este parámetro mantiene una relación directa con el oxígeno disuelto, el cual aumenta mientras más baja sea la temperatura. El rango de temperatura que garantiza la supervivencia de la mayoría de los organismos acuáticos oscila entre 10 y 14°C (**Gálvez *et al*, 2013**) y de acuerdo con la (**Tabla 4**) la mayoría de valores se encuentra dentro de este rango, a esto se debe la presencia de Órdenes como Gastrópoda donde hay mayor temperatura y conductividad eléctrica, además de algunos dípteros que también soportan éstas condiciones como es el caso de Chironomidae, Tipulidae, Ceratopogonidae, además, estas condiciones ambientales les proporciona una fuente de alimento pues al aumentar la temperatura se activan las bacterias y se acelera la descomposición de materia orgánica aumentándola.

### 9.2 Relación entre la Temperatura Ambiente y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.

La temperatura ambiente, que presenta valores de entre 8,9 °C y 20,9 °C se encuentra en condiciones normales para ambientes de montaña donde las especies se desarrollan exitosamente de acuerdo con lo mencionado por (**Martínez, 2010**) quien afirma que valores cercanos a este rango son característicos de ríos de alta montaña. Estos valores concuerdan con lo argumentado por (**González & García 1995**), quienes mencionan que la temperatura en las partes altas de los ríos de montaña, como lo es el nacimiento que se encuentran a una altura superior a los 3000 msnm suelen mantenerse frío durante todo el año no excediendo los 12 °C, mientras que para la zona

media con altura superior a 2000 msnm la temperatura está por debajo de 18 °C y de acuerdo a los resultados generados las temperaturas se encuentran dentro de esos parámetros.

### **9.3 Relación entre la Turbiedad y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.**

La turbiedad fue un parámetro que mantuvo variaciones significativas durante todas las campañas de muestreo, esto sumado a los altos valores obtenidos en el parámetro DQO propicia condiciones con poco oxígeno y aguas turbias en las que disminuyen los organismos estenotolerantes pero aumentan los euritolerantes, tal como es el caso del género Tubifex, indicador de medios contaminados, resiste variaciones ambientales y posee una alta capacidad de adaptación (**Vergara, 2009**), este género se encontró en los ambientes de cada punto de estudio, sobreviviendo a las variaciones de los parámetros fisicoquímicos e indicando la contaminación por materia orgánica de todos los puntos. De los tres puntos de estudio, en donde hizo mayor presencia el género Tubifex fue en el 1, pero fue disminuyendo en el punto 3, donde los valores de los parámetros fisicoquímicos son más altos y más selectivos.

En cuanto a la densidad poblacional de los invertebrados acuáticos se destaca la presencia de la familia Chironomidae la cual constituye el componente principal de la fauna Limnetica de sistemas acuáticos de páramo con aguas de excelente calidad (**Vergara, 2009**) sin embargo, la presencia de esta familia por sí sola no es señal de contaminación, pero su alta densidad sí, y de acuerdo con los resultados obtenidos (**ANEXO 2**) en el cual se evidencia la alta densidad de esta familia, los puntos estudiados se encuentran contaminados por materia orgánica, además se puede determinar que en dichos puntos el agua es oligotrófica debido a los hábitos de éstos organismos, desmenuzadores de grandes cantidades de materia orgánica.

#### **9.4 Relación entre la Conductividad Eléctrica y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.**

La conductividad eléctrica es el resultado de la cantidad de iones de sales minerales presentes y disueltos en el agua los cuales son conductores de corriente eléctrica, la concentración de dichos iones determinan la presencia o no de organismos tolerantes a estas condiciones. De acuerdo con los resultados obtenidos para este parámetro, el punto de muestreo n° 3 obtuvo las concentraciones más altas de conductividad eléctrica llegando a valores de hasta 104,1 Us/cm en la campaña n° 5, así mismo los órdenes que prevalecieron en este punto fueron Verenoida y Basommathopora (**ver figura 17**) quienes se caracterizan por la formación de estructuras calcáreas en su cuerpo debido a la alta conductividad. Consecuente con lo anterior, se evidenció la desaparición y disminución representativa de órdenes como Hemiptera y Glossiphoniiformes respectivamente.

Por su parte (**Roldan, 2012**) menciona que a medida que la altitud disminuye la conductividad eléctrica aumenta, acorde con esta afirmación podemos apreciar en la **Tabla 1** y en la **figura 15** que el punto de muestreo de menor altura y mayor concentración de conductividad eléctrica en las cinco campañas de muestreo realizadas fue el punto n° 3 con una altitud de 2633 msnm.

Algunos de los factores que propician el aumento de la conductividad eléctrica en el punto n° 3 fueron la contaminación del río proveniente de los vertimientos de un cultivo de fresa cercano a este punto, baños que se realizan los habitantes del municipio, bebedero y depósito de excrementos de animales de ganadería; todas éstas circunstancias hacen que sustancias iónicas como el calcio, el fosforo, el potasio, el nitrógeno, entre otros, estén presentes en el río y a su vez que le permite a las familias de macroinvertebrados antes mencionadas desarrollar sus estructuras calcáreas como una manera de protección.

La clasificación admisible de conductividad eléctrica para aguas naturales se encuentra en un rango de 20 hasta 120 Us/cm según **Terneus, Hernández & Racines (2012)**. Comparado esto con los datos obtenidos (**Tabla 4**) podemos afirmar que el río Subachoque cumple con esta clasificación en un 80% si tenemos en cuenta que de las 15 mediciones realizadas solamente 12 se encuentran dentro de este rango. Como dato adicional podemos mencionar que las 3 mediciones que no cumplieron, corresponden al punto de muestreo 1A (**Tabla 1**) donde las condiciones ambientales eran totalmente diferentes al punto de muestreo 1.

### **9.5 Relación entre la Conductividad Eléctrica y los Sólidos Disueltos Totales medidos en el río Subachoque.**

La conductividad eléctrica y los Sólidos Disueltos Totales mantienen una relación directamente proporcional entre sí, según la definición de (**Sánchez et al, 2007**) , los Sólidos Disueltos Totales son sales minerales disueltas en el agua las cuales son capaces de conducir la corriente eléctrica a través de ella, por lo tanto, si el valor de sales disueltas en el agua aumenta, por consiguiente aumentaran los valores de conductividad, esta relación se puede evidenciar en los resultados obtenidos (**Figuras 15 y 16**) donde los valores de sólidos disueltos totales duplican los valores de la conductividad eléctrica en todos los puntos.

Entre tanto, las condiciones climatológicas presentadas durante las mediciones fueron características de época de verano a pesar de haberse realizado en los meses comprendidos entre abril y junio de 2015 los cuales en condiciones normales hacen parte de periodos de lluvia, sin embargo para este año tuvieron un comportamiento especial debido al fenómeno del niño aumentando las temperaturas y reduciendo el caudal del río y a su vez propiciando las condiciones adecuadas para el aumento de los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica. Estos aumentos se generan ya que cuando se presentan lluvias el caudal aumenta y esto hace que la

concentración de la conductividad eléctrica y sólidos sedimentables disminuya en su concentración debido a la dilución de las sales y así puede evidenciarse en los resultados más bajos que se presentaron ya que se presentaron algunas lloviznas y esto concuerda con lo dicho por **(Roldan; 1992)**

### **9.6 Relación entre la Demanda Química de Oxígeno, el Oxígeno Disuelto y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.**

De acuerdo con lo establecido por **(Sánchez, Herzig, Peters, Márquez & Zambrano, 2007)** la calidad del agua se clasifica según la concentración de DQO en:

- Aceptable cuando su valor se encuentra en un rango  $20 \leq 40$  mg/L con capacidad de autodepuración.
- Contaminada cuando su valor se encuentra en un rango  $>40 \leq 200$  mg/L.

Basados en lo anterior podemos clasificar las aguas del río Subachoque, a partir del parámetro de DQO, como contaminadas para todos los puntos de muestreo ya que los valores de DQO oscilan entre 78 mg/L hasta 252 mg/L, es decir, que el río se encuentra contaminado. Este comportamiento se debe a la presencia de sustancias de origen orgánico, como restos de material vegetal (hojas, troncos y ramas) e inorgánico como residuos de sustancias químicas utilizadas en cultivos de papa y fresa a menos de 6 m de distancia del cuerpo de agua además del tránsito de ganado por la zona, según lo observado. Adicionalmente la fuente hídrica es utilizada como bebedero, descarga de aguas residuales y materia fecal animal directamente al río como se evidenció en el punto 1A y 3.

Por otro lado, mediante los resultados obtenidos para la DQO se puede determinar que la cantidad de oxígeno disuelto se encuentra en valores bajos con respecto a este parámetro, valores que van desde 3,5 hasta 9,2 ppm, además el oxígeno disuelto en la mayoría de los puntos muestreados se



encuentra por debajo del rango óptimo de calidad del agua que garantiza la supervivencia de los organismos acuáticos entre 7-8 mg/L, (**Roldan, 2012**), esto se debe a que en el municipio de Subachoque se presentó, debido al fenómeno del niño, un bajo caudal, turbulencia no considerable y poca profundidad que no permitieron la oxigenación de agua, ya que para (**Toro et al, 2002**) la concentración de oxígeno disuelto de los ríos dependerá de la temperatura, la altitud y la descomposición de la materia orgánica generada por la producción primaria.

Las condiciones desfavorables de oxígeno disuelto en la mayoría de los puntos, hace que organismos acuáticos, como la familia Chironomidae, se encuentren con mayor frecuencia en éste tipo de hábitats, y de acuerdo con **Roldán (1988)** su presencia es características en aguas lenticas y loticas, en donde predominan los sustratos fangosos y arenosos con abundante materia orgánica en descomposición, haciéndolos típicos de aguas mesotróficas en donde hay un nivel intermedio de nutrientes, que gracias a que poseen hemoglobina se adaptan a estas condiciones de poco oxígeno.

En el caso de los puntos 2 y 3 debido a que cambian las condiciones topográficas y el caudal aumenta, debido a los aportes de agua que recibe de las diferentes quebradas durante el recorrido, se favorece la turbulencia y esto a su vez permite la presencia de organismos acuáticos que requieren mejores condiciones de oxígeno disuelto, como es el caso de la familia Simuliidae, la cual se encontró especialmente donde hubo turbulencia, adheridos a las rocas. Esto hace que sean bioindicadores característicos de aguas limpias corroborando así lo mencionado por (**Alfaro & Hernández, 1985**) quienes señalaron que entre las familias de invertebrados enteramente confinadas a la corriente de los ríos se encuentra la familia Simuliidae, pues dependen de los requerimientos nutricionales y respiratorios que esta condición les proporciona.

Las condiciones ambientales que se presentaron en el punto 1A como las bajas temperaturas y oxígeno disuelto fuera de su rango óptimo de crecimiento para las especies (**Tabla 4**), están relacionadas con la aparición de macroinvertebrados eurihídricos como es el caso de la familia Corixidae, la cual tiene un amplio rango de tolerancia capaz de sobrevivir en aguas dulces y salobres (**Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos, 2015**), su importancia ecológica en la cadena trófica se basa en sus hábitos alimenticios, algunos herbívoros, detritívoros, carnívoros y otros sirven de alimentos para peces (**Melo, 2015**). La mayor abundancia de estos organismos se presentó en época de lluvia donde los factores ambientales cambian, el oxígeno disuelto debió aumentar sus valores, sin embargo, esto no ocurrió y por el contrario sus valores fueron bajos como se menciona anteriormente, esto se debe a diferentes razones: no se evidenciaron lluvias durante las campañas de muestreo, la influencia negativa de los cultivos cercanos al punto 1A, la poca corriente del agua (**ANEXO 1**) y la altura a la que se encontraba este punto ya que de acuerdo con lo mencionado por (**Lancheros et al. 2012**) de la cita de (**Jiménez, 2001**) medida que la altura aumente el O<sub>2</sub> disuelto disminuirá.

De acuerdo con **González & García (1995)**, cuando se presentan concentraciones de oxígeno bajas en las cabeceras de los ríos de montaña no necesariamente se dan por contaminación de carácter Antropogénico si no que se da también porque no hay un gran caudal, la velocidad del agua es baja, la cobertura vegetal que se da sobre la fuente hídrica y la gran cantidad de residuos que estos aportan sobre el mismo, y por supuesto esto hace que agua no pueda oxigenarse de manera adecuada por lo tanto la concentración de materia orgánica aumente y por supuesto el oxígeno disminuya y finalmente la DQO aumente. Esta afirmación concuerda en gran medida con las condiciones presentes en el punto 1 Y 1<sup>a</sup>. (**ANEXO 1 y 2**).

### **9.7 Relación entre el pH y la presencia de bioindicadores acuáticos encontrados en el río Subachoque.**

Según lo mencionado por (**Roldan & Ramírez, 2008**), para aguas naturales neo tropicales el valor del pH oscila entre 6 y 9 unidades aunque hacen mención de que los valores pueden variar de acuerdo al lugar, todos los puntos muestreados satisfacen dicha afirmación, adicionalmente el pH de algunos puntos (1 y 1A) está influenciado por la composición del suelo, ya que se encuentran en zona de páramo con alturas superiores a los 3000 msnm donde los suelos son, por lo general, de acuerdo con (**Guhl, 1982**) de origen volcánico y se caracterizan por ser húmedos y ácidos, con pH entre 3.9 y 5.4 (**como se citó en Díaz, Navarrete & Suárez, 2005**). Durante el proceso de humificación o putrefacción de materia orgánica para convertirse en humus, intervienen las bacterias y los hongos en cuyo trabajo van elaborando sustancias ácidas (**Cunalata & Inga, 2012**), por ello, los suelos de estas zonas son de tendencia ácida.

Por otro lado, las condiciones de pH para los organismos acuáticos son óptimas en cada uno de los puntos de muestreo ya que para **Alfaro & Hernández (1985)** el rango de pH que permite la supervivencia de los macroinvertebrados acuáticos está entre 4,5 y 8,5. Adicionalmente y de acuerdo con el **Decreto 1594 de 1984** los puntos muestreados del río Subachoque cumplen con los valores establecidos para uso agrícola que se establece entre 4.5 – 8.5, mientras que para el uso de consumo humano no, donde el valor admisible es 6.5 – 9.0 (**Tabla 4**).

### **9.8. Comportamiento de la curva de acumulación de géneros.**

Las curvas de acumulación generan una serie de información que sirve para determinar la calidad del agua como también la calidad de los muestreos, esto en gran medida porque de acuerdo con

(Villareal *et al*, 2004) cuando una curva tiende a ser asintótica está indicando que la cantidad de muestreos establecidos es eficiente o de lo contrario deficiente cuando presenta pendientes, al presentarse estos dos comportamientos se está indicando que la cantidad de familias o géneros recolectados en los muestreos se acerca o no a la totalidad de individuos que conforman la comunidad que habita en el punto objeto de estudio. De acuerdo con esto podemos mencionar que para el presente estudio en general la intensidad de muestreo no es totalmente satisfactoria pues al mostrarse todavía pendientes como en el punto 1A y 2 se evidencia que todavía pueden encontrarse nuevos géneros si se aumentara las campañas de muestreo, a diferencia del comportamiento de las curvas de los puntos 1 y 3 que muestran que aunque se aumentara la intensidad, la riqueza se mantendría.

Partiendo de lo mencionado anteriormente se puede señalar que el análisis que se realiza a la calidad del agua desde el punto de vista biológico es un acercamiento, puesto que si se obtuviera el total de individuos que habitan el ecosistema los valores de riqueza y puntuaciones en los índices Bióticos y de biodiversidad variarían y por ende la calidad del agua podría variar o mantenerse. Es preciso aclarar que la intensidad en las campañas de muestreo no se pudo aumentar debido al tiempo de desarrollo del proyecto, disponibilidad de equipos y costos adicionales, además de no conocer cuántos muestreos más podrían requerirse.

### **9.9 Comportamiento de los índices de diversidad e índices bióticos.**

De acuerdo con los resultados obtenidos para el índice de diversidad de Shannon-Weaver se clasifican como “ligeramente contaminadas” las aguas de los puntos muestreados en el río Subachoque, con valores obtenidos de 1 a 3 (Alba & Sánchez, 1988). Por otro lado el punto que presentó el valor más alto de diversidad fue el número 2 con un valor de 1.8519, esto está relacionado con la diversidad de organismos encontrados ya que fue este punto el que más géneros

aporte en el caso de coleópteros a diferencia de los puntos 1, 1 A y 3. Las condiciones de hábitat del punto 2 tuvieron incidencia en la mejor diversidad de organismos ya que este ambiente presentaba gran cantidad de material vegetal como hojarasca y troncos, además de que su lecho era de carácter arenoso y que de acuerdo con (**Universidad Nacional, sf**), es el lugar preferido para los coleópteros por la cantidad de material en descomposición. El índice de Shannon-Weaver nos está indicando contaminación por sustancias orgánicas en cuyos ambientes prima el descenso de diversidad, aumento en la abundancia de especies tolerantes y descenso de la equitatividad. Para **Pino et al, (2003)** los valores del índice de Shannon-Weaver que estén por debajo de 2.4 y 2.5 indican que el ecosistema está sometido a tensiones tales como; (vertidos, dragados, canalizaciones, etc.) y de acuerdo con el autor cuanto menor sea el valor del índice indicara mayor contaminación.

Para el caso del índice de Sorensen los valores son un poco mayores en todas las relaciones de los puntos pues se encuentran por encima de 0.5, lo que quiere decir que la similitud entre organismos en las comunidades evaluadas tienden a ser las mismas sin importar la cantidad de individuos por género. Esto lo que implica es que el índice fluctuara más hacia 1 cuando el número de géneros compartidos sea mayor, y por esta razón el valor más alto se presenta en los puntos 1 y 3 y 2 y 3 mientras pasa todo lo contrario en los demás puntos.

De acuerdo con el índice de diversidad de Jaccard, el cual mide la similitud de especies y hábitats entre puntos, ésta no fue muy alta, ya que sus valores no se acercan a 1, máximo valor, tan solo los puntos 1 y 3 y 2 y 3 se acercan, con valores de 0.5 y 0.47 respectivamente, lo que indica que dichos puntos comparten algunos géneros específicos como *Hydroptila* el cual sólo se observó en estos dos lugares, mientras que para el otro caso hay similitud con respecto a *Physa* y *Uncancylus*, esto

concuera con lo mencionado por **Villareal et al (2004)** quien señala que cuando el valor del índice de Jaccard se acerca a 1 los dos puntos en comparación presentan las mismas especies.

Para **Orellana (2009)** el índice de riqueza es una herramienta importante para evaluar la biodiversidad de una zona. El índice de riqueza de Margalef tiene un puntaje de 0 hasta 10 para evaluar la riqueza en biodiversidad de un ecosistema acuático, donde:

- Valores  $< 2$  indican que hay baja diversidad.
- valores  $> 5$  son indicativos de buena biodiversidad

Mencionado esto, se puede deducir que los puntos 1, 1A y 3, con valores inferiores a 2, tienen baja riqueza, es decir, organismos estenotolerantes al ambiente presentado, mientras que el punto 2 presenta un valor mayor a 2, sin embargo, no deja de ser negativo, la razón por la cual éste índice aumenta en éste punto es porque fue allí donde se presentó mayor diversidad de especies (organismos diferentes a los demás puntos) más no cantidad de individuos, esta distribución se da por los factores ambientales del cuerpo de agua, en el punto 2 se generaba mayor movimiento del espejo de agua además de presentar material rocoso y vegetal variado mientras que los puntos 1, 1A eran un poco más lenticos y el punto 3 presentaba un mayor caudal pero aguas más contaminadas, por lo que allí se encontraban especies euritolerantes adaptadas a ese tipo de factores ambientales (**Tabla 4**).

Cuando el valor del índice de Simpson se acerca a “1” hay una mayor dominancia, mientras que si el valor se acerca a cero menor será, de acuerdo con los valores obtenidos no se reporta la dominancia absoluta de ninguna especie, sin embargo, los puntos 1A y 2 registraron los valores más altos con respecto a los demás puntos, presentando dominancia del género Chironominae en ambos puntos y en el punto 3 la dominancia se da por el género Simuliidae. El índice de Simpson

demuestra que entre mayor sea la dominancia por algunos taxones el ecosistema evaluado en cada punto será menos diverso y claramente al correlacionar éste índice con los índices de riqueza y de diversidad así lo demuestra porque los resultados son similares aunque su análisis sea diferente.

De acuerdo con lo establecido por (Alvarez, 2006) y (Arango, Alvarez, Arango, Torres & Monsalve, 2008) el valor medio de la Bioindicación (ASTP) oscila entre 0 a 10, por lo anterior, las aguas del Río Subachoque se encuentran clasificadas como aguas “muy contaminadas” para el punto 1 pues los resultados obtenidos para éste índice están en un rango de 3 – 4.5 y para los puntos 1A , 2 y 3 las aguas son “moderadamente contaminadas”, sin embargo, con relación al índice BMWP la clasificación de las aguas del punto 2 es “ligeramente contaminadas” y para el punto 3 las aguas son “moderadamente contaminadas” con lo cual difieren ambos índices (**Tabla 6**), teniendo en cuenta lo anterior, en el estudio se encontraron macroinvertebrados Clase I, indicadores de aguas claras muy sensibles a los cambios, como Orden Trichoptera familia Leptoceridae (únicamente en el punto 1A) y Orden Coleóptera; Clase II, indicadores de aguas medianamente contaminadas tolerantes a la contaminación de tipo orgánica, como Orden Díptera familia Chironomidae, Orden Hemiptera y Género Physa; Clase III, indicadores de medios contaminados resisten variaciones ambientales y tienen alta capacidad de adaptación, como Género Tubifex.

## CONCLUSIONES

- 1) La clasificación de aguas muy contaminadas y moderadamente contaminadas en el Río Subachoque, indican que se está presentando un fenómeno de alteración en el cuerpo de agua, esto contribuye de manera importante con la poca diversidad de organismos presentes en el río Subachoque, no encontrando así individuos sensibles a la contaminación que los hace característicos de aguas limpias y encontrándose más aquellos que si la toleran.
- 2) Adicionalmente, los aportes de materia orgánica en el río, bien sea de manera natural o de carácter Antropogénico, están íntimamente ligados con la aparición de macroinvertebrados bioindicadores de aguas contaminadas y 7 de 22 familias encontradas así lo determinan pues es su principal sustrato alimenticio.
- 3) Los factores ambientales como la temperatura son muy importantes a la hora de analizar los parámetros fisicoquímicos, ya que si se presentan aumentos significativos superiores al rango de 0 a 25 °C el oxígeno disuelto puede disminuir puesto que no puede solubilizarse de manera adecuada, pero además la presión atmosférica y velocidad del viento influirá sobre dicho parámetro que es indispensable para la vida acuática. Por otro lado la presencia de lluvias incide directamente en las concentraciones de sales minerales en el agua ya que puede diluirlas disminuyendo la conductividad eléctrica y aumentar los sólidos sedimentables y la turbiedad.



- 4) Los macroinvertebrados encontrados en el Río Subachoque presentan una relación directa con las condiciones fisicoquímicas medidas, pues estos organismos se adaptan a las condiciones del cuerpo de agua definiendo así sus hábitats de acuerdo a las condiciones que se presentan, como es el caso de las familias Sharperidae y Physidae las cuales se encontraron en lugares con conductividad eléctrica y pH altos. Por otro lado, la asociación de macroinvertebrados acuáticos en raíces de plantas localizadas a orillas del río Subachoque en donde debido al bajo caudal o corriente se depositan sedimentos convirtiéndose así en un hábitat para organismos característicos de contaminación por materia orgánica como es el caso de Lumbriculidae, Chironomidae y Physidae.
- 5) La degradación de materia orgánica eleva los nutrientes en el agua y esto hace que los organismos acuáticos disminuyan considerablemente, sobre todo aquellos que no toleran la contaminación por este tipo de sustancias, una evidencia de esto es la aparición de algas verdes filamentosas y olores putrefactos como se observó en el punto 3.
- 6) Los índices Bióticos y Ecológicos resultan ser una herramienta importante para evaluar la calidad del agua, y más con índices como ASTP que es mucho más preciso para este tipo de evaluaciones, ya que genera la ponderación del valor medio de tolerancia a la contaminación, teniendo en cuenta la presencia y ausencia de especies la cual es una relación directa y coincide con lo mencionado por diferentes autores.
- 7) Las variaciones en los índices ecológicos esta denotada por la presencia de organismos exclusivos en los puntos de muestreo y la densidad poblacional de estos para cada familia

o género presentado, por otro lado los valores están ajustados al período seco y no al lluvioso ya que para la época de la toma de las muestras nos encontrábamos en período lluvioso pero debido a el fenómeno del niño no se presentaron lluvias, con lo cual podría observarse mejor el comportamiento con el aumento de caudal y velocidad en el afluente el cual es un factor determinante para las comunidades de macroinvertebrados.

- 8) De acuerdo con los valores del índice de diversidad de Shannon – Weaver la calidad del agua que se presenta en general y de manera integrada para el río Subachoque es de Aguas ligeramente contaminadas lo que sugiere actividades de carácter Antropogénico alrededor y dentro del cuerpo hídrico, por su parte, los índices de Jaccard y Sorensen muestran la similitud de entre hábitat y especies en los puntos 1 y 3.
- 9) El valor del índice de Simpson permite interpretar la calidad del agua de una fuente hídrica de acuerdo con la dominancia que se presente es decir si dominan los organismos característicos de aguas limpias o contaminadas.

## RECOMENDACIONES

En futuros estudios tendientes a evaluar la calidad del agua de un cuerpo hídrico desde el punto de vista de la Bioindicación, es muy importante complementarlos con parámetros fisicoquímicos y estos deben ser medidos para todas las campañas de muestreo que se programen y poder así realizar un análisis más integral.

Realizar análisis complementarios como DBO<sub>5</sub>, dureza total, nitratos, nitritos, alcalinidad y fósforo, de manera que pueda evaluarse mejor la incidencia de estos parámetros en los ecosistemas acuáticos.

Los puntos que se definan en el estudio deben ser siempre los mismos de manera que pueda realizarse un análisis más detallado, ya que cada punto puede ser similar pero con condiciones diferentes desde el punto de vista ecológico y fisicoquímico.

Elegir varios puntos de muestreo de manera que pueda integrarse mejor la información. Los puntos que se elijan deben contener buen caudal además la película de agua no debe ser muy superficial ya que esto influye en la riqueza de organismos que se puedan encontrar. También es importante realizar muestreos en las épocas lluviosas y secas del año para poder diferenciar variación de las comunidades de organismos acuáticos y parámetros fisicoquímicos.

## BIBLIOGRAFIA

**Acosta de Armas, M. & Montilla Peña, J.** (2011). Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo y sedimento y análisis de impactos en la subcuenta del río Balsillas afluente del río Bogotá. Universidad de la Salle. Proyecto de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá.

**Acuerdo (041 de 2001).** *Por el cual se ajusta el esquema de ordenamiento territorial del municipio de Subachoque adoptado mediante el acuerdo no. 015 de 2.000, modificado por el acuerdo no. 029 de 2000 y modificado y compilado por el acuerdo no. 041 de 2001*, 2001, 17, Diciembre. Recuperado de: [http://www.subachoque-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/66316334343639353865613639323965/Proyecto\\_de\\_Acuerdo\\_EOT\\_CONCEJO.pdf](http://www.subachoque-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/66316334343639353865613639323965/Proyecto_de_Acuerdo_EOT_CONCEJO.pdf)

**Alba, T., J & Sánchez, O., A.** (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el Hellawell. (1978). *Limnetica* 4, 51 – 56. Recuperado de: <http://www.cienciaviva.pt/rede/oceanos/1desafio/Alba-Tercedor1988.pdf>

**Alfaro-Morales. M & Hernández, Junca. M.** (1985). Contribución al estado ecológico de los macroinvertebrados bentónicos de los ríos Blanco y Negro. La Unión Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia. Proyecto de grado. Bogotá.

**Álvarez Carrión, M. & Pérez Rivera, L.** (2007). Evaluación de la calidad del agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Grado académico de Licenciatura. Honduras.

**Arango, M., Alvarez, L., Arango, G., Torres, O., & Monsalve, A.** (2008). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, 9. 121-141.

Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372008000100010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372008000100010)

**Bouza, C.N., & Covarrubias, D.** (2005). Estimación del índice de diversidad de Simpson en m sitios de muestreo. *Revista investigación operacional*, Vol (26), 187-197. Recuperado: <http://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/26205/IO-26205-9.pdf>

**Campos, Irene.** (2003). Saneamiento Ambiental. Editorial Universidad Estatal a Distancia San José, Costa Rica. Pág 48.

**Colwell, K, R. Xuan, Mao, C. & Chang, J.** (2004). Interpolando, Extrapolando y comparando las curvas de acumulación de especies basados en su incidencia. *Ecology* 85 (10), 2717 – 2727. Recuperado de: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstSUUsersGuide/References/ColwellMaoAndChang2004Sp.pdf>

**Cunalata Rugel, C, G & Inga Cóndor, C, P.** (2012). Cuantificación de carbono total almacenado en suelos de paramos en las comunidades de Shobal – Chimborazo, San Juan de Chimborazo. (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2012>.

**Chacón, E., Santamaría, J.** (2007). Caracterización y Diagnostico de Puntos Críticos en la Agrocadena de la Tilapia en la Región Huetar Norte. Ministerios de Agricultura, Ganadería y pesca. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00081.pdf>.

**Díaz, M., Navarrete, J., Suárez, T.** (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería* 22, 64 – 75. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n22/n22a8.pdf>.

**Domínguez, E. & Fernández, H.** (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. Tucuman, Argentina. Fun, Miguel Lillo, Pág. 636.

**Erazo, M., Cárdenas, R., & Ojea, N.** (2013). *Ecología impacto de la problemática ambiental y el ambiente*. Colombia. 2013.

**Fernández, J., & Hernández, M.** (2007). Catálogo de la flora vascular de la cuenca alta del río Subachoque. *Caldasia*, 29 (1), 73 – 104. Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39215>.

**Flowers, R. W., & De la Rosa, C.** (2010). Ephemeroptera. *Biológica tropical* 58(4), 63 – 93. Recuperado de [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442010000800004](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800004)

**Forero, A., Reinoso, G., & Gutiérrez, C.** (2007). Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima – Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia* 35(2), 371 – 387. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v35n2/v35n2a12.pdf>.

**Fuentes & Massol-Deyá,** (2002). Manual de laboratorios ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico.

**Gálvez, J., Beltrán, J., Hernández, A., Esteban, C., Albarracín, A., Palacios, C., Chipateuca, R., Hernández, S., Rojas, L., Peña & Garzón, F.** (2013). *Determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca) mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, aplicando el método BMWP*. Colombia. Semillero de investigación: Biocagua. Recuperado de [file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/112-336-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/112-336-1-PB%20(2).pdf)

**Gil, J, A.** (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. (Trabajo de Investigación). Universidad de Manizales.

**Gómez Duque, A.** (2013). Evaluación de la calidad ecológica del agua usando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del río Felidia, valle del Cauca-Colombia. Pasantía institucional. Universidad autónoma de Occidente. Colombia.

**González, M. & García, D.** (1995). *Restauración de ríos y riberas*. Fundación Cende Del Valle de Salazar. España. Universidad Politécnica de Madrid. 319 p.

**Grimaldo, W.Y.** (2004). Aspectos tróficos y ecológicos de los macroinvertebrados acuáticos. *Ecological Explorers*, 1 (1), 1-7. Recuperado de: <http://pima.webpin.com/imagesnew2/0/0/0/1/0/5/6/3/7/9/Capitulo%20Macroinvertebrados%201.pdf>

**Guerra, J.** (2016). *Manual de prácticas de calidad del agua*. Bogotá, Colombia: Manual.

**Gutiérrez, A.** (1996). *Ecología salvemos el planeta tierra*. México. Editorial Limusa, S.A. Pág., 181.

**Gutiérrez Fonseca, P. E.** (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden coleóptera en el Salvador. En: Springer, M & J. M Sarmento Chicas (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 64 pág. Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv/9091/>

**Hanson, P., Springer, M., & Ramírez, A.** (Diciembre 2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Biológica Tropical*, 58 (4), 3 – 37. Recuperado de [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442010000800001](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001).

**Herbas Antezana, C., Rivero Ostoic, F & Gonzales Ramos, A.** (2006). Indicadores biológicos de calidad del agua. Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad mayor de san simón.

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.** (2006). Conductividad Eléctrica por el método electrométrico en aguas (Versión 02). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>.

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.** (2007). Demanda Química de Oxígeno por reflujo cerrado y volumetría (Versión 05). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>.

**Ladreda, R., Rieradevall, M., & Prat, N.** (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos. *Revista didáctica de 11 Retrieved*, 12/20 from (ISSN: 1988 - 5911). Recuperada de [http://www.ehu.es/ikastorratza/11\\_alea/macro.pdf](http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf)

**Lancheros, V., Ortiz, E., Ramírez, H., & Rico, D.** (2012). Evaluación de la calidad del agua basada en los parámetros fisicoquímicos y su correlación con la abundancia y riqueza en macroinvertebrados acuáticos en el Humedal de Torca. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.

**Liévano, A. & Ospina, R.** (2007). *Guía ilustrada de los macroinvertebrados del río Bahamón*. 1ª, ed. Bogotá D, C., Colombia. Universidad el Bosque e Instituto Alexander von Humboldt. 130 p.

**Lievano, L., A.** (2013). Calidad Biológica de las Aguas del Río Apulo. *Journal Technology*.12 (2), 60-71. Recuperado de:



[http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista\\_tecnologia/volumen12\\_numero2/6Articulo\\_Rev-Tec-Num-2.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen12_numero2/6Articulo_Rev-Tec-Num-2.pdf)

**Margalef, R.** (1992). *Ecología*. Barcelona, España. Editorial planeta S.A.

**Martínez, N.** (2010). Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de contaminación del balneario Hurtado, río Guatapuri, Valledupar-Cesar. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga. Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7074/2/133290.pdf>

**Melo, M.C.** (2013). Biodiversidad de Artrópodos argentinos Vol. 3. Chapter Corixidae Recuperado el 1 de junio de 2016 de [https://www.researchgate.net/publication/273667319\\_Biodiversidad\\_de\\_Artrópodos\\_Argentinos\\_vol\\_3\\_Capitulo\\_Corixidae](https://www.researchgate.net/publication/273667319_Biodiversidad_de_Artrópodos_Argentinos_vol_3_Capitulo_Corixidae).

**Metcalf, L. J.** (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities. *Environmental Pollution* 60 (1-2), 101 – 139. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0269749189902236>

**Meza, S, A., Rubio, M, J., & Díaz, L.** (2012). Calidad del agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenta alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2), 433 – 456. Recuperado de <http://www.icn.unal.edu.co/>

**Monroy, G. G.,** (1995). Bioindicación: Algunas consideraciones y reflexiones generales. En, Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales Escritura de memorias de profesores universitarios (pp. 169-181): Colombia, Bogotá. Guadalupe Ltda.

**Montiel, F. & Gutiérrez, M.** (2007). Ecología acuática: Turbelarios (pp. 4 – 20): Argentina. Recuperado de

**Oceguera, A. & Pacheco, B.** (2012). Registros de sanguijuelas de Costa Rica y clave para la identificación de las especies con descripción de *Cylicobdella Costaricae. Mexicana de Biodiversidad* 83, 946 – 957. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532012000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532012000400004)

**Orellana, J.** (2009). Determinación de Índices de diversidad Florística Arbórea en las parcelas permanentes de muestreo del valle de Sacta. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simon. Cochabamba, Bolivia. Recuperado de <http://www.posgradosfor.umss.edu.bo/boletin/umss/05%20PASANTIAS/6%20pasantia.pdf>

**Oscoz, J.** (2009). Guía de campo: Macroinvertebrados de la cuenca Ebro. Navarra, España. Departamento de y Ecología, Universidad de Navarra. Recuperado de <http://www.unav.edu/departamento/unzyec/recientes1>

**Pedraza, Y. & Rebolledo, M.** (2005). Modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca del río Subachoque parte Noroccidental de la sabana de Bogotá. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

**Pino, C.W. Mena, G. D. Mosquera, M. Caicedo, K. Palacios, J. Castro, Anilio & Guerrero, J.** (2003). Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la bendición, Municipio de Quibdó (Chocó, Colombia). *Acta Biologica*, 8(2), 23-30. Recuperado de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/26668>

**REINOSO-FLOREZ, G., VILLA-NAVARRO, F.A., ESQUIVEL, H. E., GARCIAMELO, J.E. y VEJARANO-DELGADO, M.A.** (2008). Biodiversidad Faunística y Florística de la

cuenca mayor del río Saldaña (subcuenca Anamichú) - Biodiversidad Regional Fase IV.  
Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

**Reyes, C & Fierro, k.** (2001) Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Ecociencia, Quito. Recuperado de:  
<http://www.ecociencia.org/archivos/ManualLosmacroinvertebradosacuaticos-100806.pdf>

**Roldán, G.** (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía*. Bogotá D.C., Colombia. Universidad de Antioquía. Editorial Presencia Ltda.

**Roldán, G.** (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín, Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.

**Roldán, G.** (1995). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales Escritura de memorias de profesores universitarios (pp. 203-208), Colombia, Bogotá. Guadalupe Ltda.

**Roldán, G.** Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Colombiana Cienc. Vol. 23 (88), 1999. Páginas 375 - 387. Recuperado de:  
[http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_23/88/375-387.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf)

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

**Roldán, G., & Ramírez, J.** (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.

**Roldán, Pérez., G.** Desarrollo de la Limnología en Colombia, cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidad Biológica*. Volumen 31, 2009. Páginas 227 - 237. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-35842009000200009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842009000200009).

**Roldán- Pérez, G.** (2012) Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá, Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 148 pág.

**Rueda, J., Hernández, R. & Tapia, G.** (s.f). Biodiversidad, caracterización de los invertebrados y calidad biológica de las aguas del río Jucál a su paso por la provincia de Albacete. Facultad de CC Biológicas de valencia España. Recuperado de [http://biblioteca2.uclm.es/biblioteca/CECLM/ARTREVISTAS/Sabuco/sab01\\_ruedabiodiversidad.pdf](http://biblioteca2.uclm.es/biblioteca/CECLM/ARTREVISTAS/Sabuco/sab01_ruedabiodiversidad.pdf).

**Sánchez, O. Herzig, M. Peters, E. Márquez, R. & Zambrano, L.** (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México D.F. Impresora y encuadernadora Progreso, S.A. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=uWlrkIx-r3oC&pg=PA124&dq=Escala+de+clasificaci%C3%B3n+de+la+Calidad+del+Agua+seg%C3%BAAn+la+DQO.&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Escala%20de%20clasificaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Agua%20seg%C3%BAAn%20la%20DQO.&f=false](https://books.google.com.co/books?id=uWlrkIx-r3oC&pg=PA124&dq=Escala+de+clasificaci%C3%B3n+de+la+Calidad+del+Agua+seg%C3%BAAn+la+DQO.&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Escala%20de%20clasificaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Agua%20seg%C3%BAAn%20la%20DQO.&f=false)

**Sánchez, H., M.** (2005). El índice Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander. *Bistual* 3(2), 54 – 67. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/903/90330207/>.

**Springer, M.** (2010). Trichoptera. *Biología tropical*. 58(14), 151-198. Recuperado de:  
[http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista\\_64.pdf](http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_64.pdf)

**Tamariso, T. C., Rodríguez, B., J. & Ospina, T., R.** (2013). Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la sierra nevada de Santa Marta, Colombia. *Caldasia* 35(1), 149 – 163. Recuperado de <http://www.unal.edu.co>

**Terneus, E., Hernández, K. & Racines, M.** (2012). Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza – Ecuador. 16, 31 – 45 recuperado de [http://revistaciencias.univalle.edu.co/volumenes/vol\\_16/ETerneus.pdf](http://revistaciencias.univalle.edu.co/volumenes/vol_16/ETerneus.pdf)

**Toro, M., Robles, S., Aviles, J., Nuño, C., Vivas, S., Bonada, N., Prat. Tercedor, A, J., Casas, J., Guerrero, C., Jáimez, P., Moreno, J., Moya, G., Ramón, G., Suarez, M., Vidal, M., Alvarez, M., & Pardo, I.** (2002). Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnetica* 21(3-4), 63 – 75. Recuperado de [http://www.limnetica.net/Limnetica/limne21b/L21b63\\_Caracteristicas\\_fisicoquimicas\\_ríos\\_proyecto\\_GUADALMED.pdf](http://www.limnetica.net/Limnetica/limne21b/L21b63_Caracteristicas_fisicoquimicas_ríos_proyecto_GUADALMED.pdf)

**Universidad Nacional. (Sf).** Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. Colombia sede Medellín. 53-54.

**Uribe, E.** (2015). Manual para la formulación de planes de Saneamiento ambiental en poblaciones menores a 30.000 habitantes. Bogotá, Colombia: Recopilación.

**Vaquerano, E., Farfán, J., & Escobar, J.** (Marzo 2012). Tiempo de muestreo para determinar calidad ambiental del agua del río Copinula utilizando el índice biológico de familias de macroinvertebrados modificados para El Salvador. Universidad de El Salvador. San Salvador.

**Vergara, D.** (2009). Entomofauna Lítica Bioindicadora de la Calidad del Agua. (Tesis de grado).

Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Recuperado de:  
[http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/1/43615961.2009\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/1/43615961.2009_1.pdf)

**Vidal, M., Gutiérrez, A., Suarez, M., Gómez, R. & Ramírez, L.** (1994). *Ecología de agua continentales, Practicas de Limnología (1)*. España. Universidad de Murcia. 217 pág.

**Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, G., Fagua, F., Gast, H., Mendoza, M., Ospina & Umaña, A.** (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 236 pág.

**Zúñiga, M., Del C.** (sf). Bioindicadores de calidad del agua y caudal ambiental. Imf (cap. 7)  
Escuela de recursos naturales y del ambiente EIDENAR.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1.** Ilustración de los puntos de muestreo.

### **Punto 1:** Nacimiento del río Subachoque



**Nota:** Se encuentra ubicado en el nacimiento del Río Subachoque alrededor del punto, a no más de 10 metros, se encuentran algunos cultivos de papa de gran magnitud, el acceso al punto es complejo ya que se encuentra dentro del bosque. Como se puede observar en la imagen, el punto está cubierto por abundante vegetación de la zona que no permite la entrada directa de luz solar, además de que las temperaturas allí son bajas. No se evidencian asentamientos humanos cercanos al punto. El fondo presenta descomposición de materia orgánica proveniente de las hojas y ramas que caen de los árboles, el color del agua es amarillenta.



**Punto 1A:** Metros abajo del nacimiento del río Subachoque.



**Nota:** Este punto se encuentra más influenciado por asentamiento humanos, donde hay presencia de ganado y nuevamente cultivos de papa, el punto se encuentra al aire libre permitiendo la entrada de luz solar, en agua es léntica y posee un bajo caudal con sedimentos lodosos en el fondo. Adicionalmente se evidencia la descomposición de excretas de ganado.

**Punto 2:** metros abajo del nacimiento, cerca al casco urbano de la vereda la pradera correspondiente al mismo municipio.



**Nota:** Alrededor de este punto se observa la adecuación de terrenos dedicados al pastizaje, el acceso al punto es un poco complicado ya que se encuentra cubierto por árboles, hay un mayor caudal pero también zonas de estancamiento del agua y el paso intermedio de luz solar. Hacen presencia las rocas de gran tamaño las cuales favorecen la oxigenación del agua. Finalmente hace presencia materia orgánica en descomposición como troncos y hojas que fluyen de acuerdo a la corriente del río.

**Punto 3:** Metros abajo del casco urbano del Municipio de Subachoque.



**Nota:** De todos los puntos muestreados, este punto es el que presenta mayor influencia humana, ya que el río es atravesado por un puente vehicular hecho en cemento, que facilita el acceso a las riberas del río de la población, los cuales ingresan con fines recreativos provocando situaciones ambientales como la presencia de residuos sólidos dejados por ellos mismos. Por otro lado se encuentran un terreno amplio dedicado al cultivo de fresa a no más de 6 metros de distancia. En ocasiones el punto es utilizado como bebedero de ganado y depósito de excretas del mismo, a pesar de que el caudal aumenta se evidencia descomposición de materia orgánica.

**ANEXO 2:** Macroinvertebrados acuáticos recolectados.

Puntos de muestreo de macroinvertebrados.										
Phylum	Clase	Orden	Familia	Genero	1	1A	2	3	Subtotal	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironominae Sp</i>	42	104	143	161	450	
			simuliidae	<i>simulium sp</i>	0	1	74	964	1039	
			Tipulidae	<i>Tipula sp</i>	2	1	1	2	6	
				<i>Molophilus sp</i>	0	0	1	0	1	
		Ceratopogonidae	<i>Monohelea sp</i>	0	1	6	0	7		
		Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Neotrichia Sp</i>						0
				<i>Hydroptila sp</i>	1	0	0	7	8	
			Leptoceridae	<i>Triplectides Sp</i>	0	37	0	0	37	
		Hemiptera	Corixidae	<i>Trichocorixa Sp</i>	0	63	0	0	63	
		Coleoptera	Gyrinidae	<i>Gyrinus cf</i>	0	1	0	0	1	
			Crysolimnidae	?	0	0	1	0	1	
			Dytiscidae	?	0	0	1	0	1	
			Helophoridae	?	0	0	1	0	1	
			Curculionidae	?	0	0	1	0	1	
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Naididae	<i>Tubifex sp</i>	5	4	3	1	13	
	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	<i>Hellobdella sp</i>	16	1	67	2	86	
			Aihynohobdellae	<i>Cylicobdella cf</i>	0	0	2	0	2	
			Lumbriculidae	?	0	0	9	7	16	
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae	<i>Pisidium cf</i>	0	16	0	118	134	
	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa sp</i>	0	0	12	186	198	
			Ancylidae	<i>Uncancylus cf</i>	0	0	26	84	110	
			Planorbidae	<i>Drepanotrema cf</i>	0	0	1	0	1	
	Crustacea	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp</i>	0	0	6	0	6	
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	planariidae	<i>Girardia Sp</i>	6	16	28	179	229	
					72	245	383	1711		
								Total	2411	

**Fuente:** Autores

**ANEXO 3:** Grupo Alimenticio y Hábitat de los macroinvertebrados acuáticos encontrados.





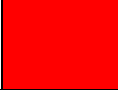
Familias	Grupo alimenticio	Hábitat
<b>Chironomidae</b>	Predador, raspador, filtrador y colector	<b>Piedras, vegetación y sedimentos</b>
<b>Simuliidae</b>	Filtrador	<b>Piedras</b>
<b>Tipulidae</b>	Trazador y colector	<b>Sedimentos y arena</b>
<b>Ceratopogonidae</b>	Predador	<b>Sedimentos</b>
<b>Hydroptilidae</b>	Raspador	<b>Rocas y vegetación</b>
<b>Leptoceridae</b>	-	<b>Vegetación</b>
<b>Corixidae</b>	Predador	<b>Vegetación y troncos</b>
<b>Gyrinidae</b>	Predador	<b>Vegetación</b>
<b>Dytiscidae</b>	Trazador y predador	<b>Vegetación</b>
<b>Helophoridae</b>	-	-
<b>Curculionidae</b>	Fitófagos, Detritívoros	<b>Vegetación</b>
<b>Nainidae</b>	Colector	<b>Sedimentos</b>
<b>Glossiphoniidae</b>	Detritívoro	<b>Troncos y residuos vegetales</b>
<b>Aihynohobdellae</b>	Detritívoro	<b>Troncos y residuos vegetales</b>
<b>Lumbriculidae</b>	Colector y detritívoro	<b>Sedimentos y residuos vegetales</b>
<b>Sphaeridae</b>	Filtrador	<b>Arena, sedimentos y rocas</b>
<b>Physidae</b>	Predador	<b>Rocas y vegetación</b>
<b>Ancylidae</b>	Colector y raspador	<b>Rocas y vegetación</b>
<b>Planorbiidae</b>	Filtrador	-
<b>Hyaellidae</b>	Raspador y colector	<b>Vegetación</b>
<b>Planariidae</b>	Predador	<b>Rocas y hojarasca</b>
<b>Crysomelidae</b>	Detritívoro	<b>Vegetación</b>
<b>Psychodidae</b>	Colector y detritívoro	-

**ANEXO 4:** Modos de alimentación.

<b>Habito alimenticio</b>	<b>Tipo de alimento</b>	<b>Mecanismo de Alimentación</b>
Trazadores	Detritus de hojas y palos, plantas acuáticas.	Mastican detritus y macrófitas.
Filtradores	Materia orgánica particulada fina (MOPF)	Filtran la MOPF suspendida en o acarreada por el agua
Colectores	Materia orgánica particulada fina (MOPF)	Recogen o colectan la MOPF del sustrato
Raspadores	Algas y biopelículas adheridas a las piedras	Ramoneo/raspado de superficies minerales y orgánicas
Predadores	Tejidos de animales vivos	Ingestión, pinchado y succión

**Fuente:** (Liévano & Ospina)

**ANEXO 5:** clasificación e interpretación de la calidad del agua de acuerdo a los resultados del método BMWP/Col y ASTP.

<i>Clase</i>	<i>Calidad</i>	<i>BMWP/Col.</i>	<i>ASTP</i>	<i>Significado</i>	<i>Color</i>
<i>I</i>	Buena	> 150, 101_120	> 9 -10 > 8 - 9	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas	
<i>II</i>	Aceptable	61-100	> 6,5 - 8	Aguas ligeramente contaminadas: se evidencia efectos de contaminación.	
<i>III</i>	Dudosa	36_60	> 4,5 - 6,5	Aguas moderadamente contaminadas	
<i>IV</i>	Critica	16_35	> 3 – 4,5	Aguas muy contaminadas	
<i>V</i>	Muy Critica	< 15	> 1 - 3	Aguas fuertemente contaminadas: situación crítica	

**Fuente:** (Modificado de Roldán 2003, en Álvarez 2006)

**ANEXO 6:** Puntuación por familias método BMWP/Colombia.

<b>FAMILIA</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae. Gripopterygidae, Polymitarcydae.	10
Ephemeridae, Euthyplociidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Coryphoridae, Gomphidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Platystictidae, Xiphocentronidae, Dytiscidae.	9
Hebridae, Helicopsychidae, Leptoceridae, Palaemonidae, Saldidae. Atyidae, Calamoceratidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Limnephilidae, Lymnaeidae, Naucoridae, Planorbiidae (cuando es dominante Biompalaria), Sialidae, Sphaeridae, Pseudothelpusidae, Guerridae.	8
Baetidae, Caloplerygidae, Coenagrionidae, Dixidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Ancyliidae, Dicteriadidae, Lestidae. Hydrobiidae, Pyralidae, Simuliidae, Veliidae, Trichocorixa.	7
Aeshnidae, Corydalidae, Elmidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Staphylinidae. Ampullariidae, Caenidae, Dryopidae, Dugesiiidae (Planariidae), Hyriidae, Mycetopodidae. Pleidae,	6
Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae, Notonectidae, Glossiphoniidae, Gyrinidae, Libellulidae, Ceratopogonidae, Corixidae, Helophoridae.	5
Chrysomelidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae. Belostomatidae, Curculionidae, Ephyridae, Hydridae, Muscidae, Scirtidae, Sciomyzidae.	4
Cyclobdellae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae, Stratiomyidae, Chaoboridae.	3
Culicidae, Chironomidae (cuando es dominante es 1), Syrphidae, Psychodidae.	2
Tubificidae, Lumbriculidae.	1

**Fuente:** (Modificado de Roldan 2003, en Álvarez 2006)

**ANEXO 7.** Ilustración de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en el Río Subachoque.



Chironomidae: Chironominae Chironominae sin túbulos anales Chironomidae: Pupa



Simuliidae: Simulium

Tipulidae: Tipula

Tipula: Pupa



Ceratopogonidae: Monohelea

Hydroptilidae: Hydroptila

Casa de Hydroptila





Leptoceridae: Triplectides



Casa de Leptoceridae



Corixidae: Trichocorixa



Trichocorixa: Cara Ventral



Trichocorixa: Cara Dorsal



Crysomelidae: Vista ventral



Crysomelidae: Vista dorsal



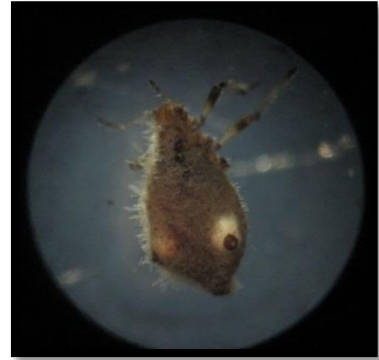
No se identifico



Dytiscidae



Staphylinidae



No identificado



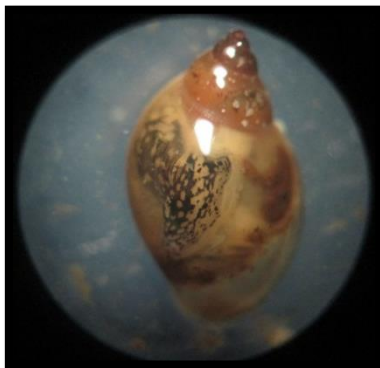
Curculionidae



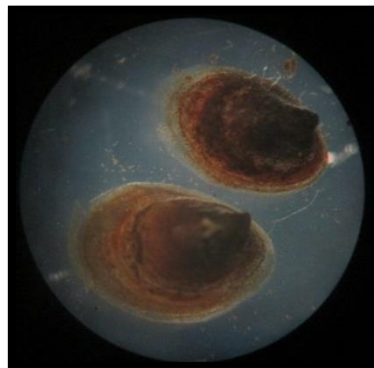
Aihynohobdellae: Cylicobdella



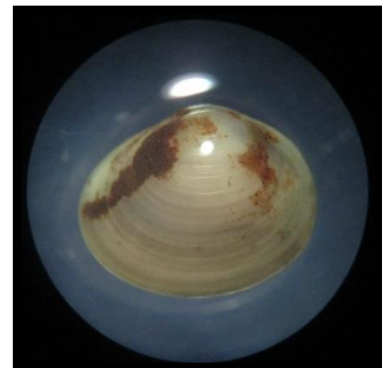
Glossiphoniidae: Hellobdella:



Physidae: Physa



Ancyliidae: Uncancylus



Sphaeridae: Pysidium



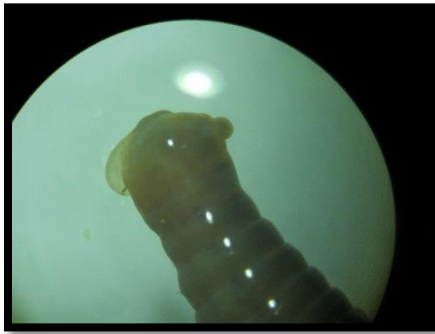
Hyalellidae: Hyalella



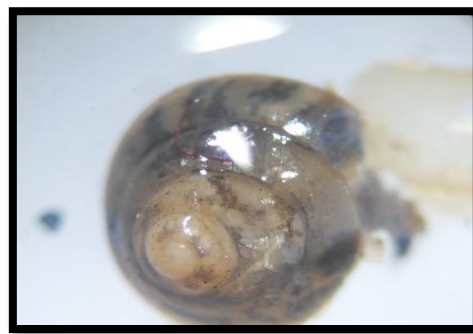
Planariidae: Girardia



Nainidae: Tubifex



Lumbriculidae



Planorbiidae: Drepanotrema

**FOTOS TOMADAS POR: MARIA DEL PILAR DAZA RODRIGUEZ**

**ANEXO 8.** Formato registro de campo de parámetros fisicoquímicos.

<b>Área de estudio:</b>		<b>Cuenca:</b>		<b>Punto:</b>
<b>Ubicación:</b>		<b>Norte:</b>		<b>Este:</b>
<b>Fecha:</b>		<b>Hora:</b>		<b>Tipo de muestra:</b>
<b>Institución:</b>			<b>Muestreado por:</b>	
<b>Muestra para:</b>			<b>Caudal (L/seg):</b>	
<b>Temperatura del agua (C°):</b>			<b>PH:</b>	
<b>Temperatura ambiente (C°):</b>			<b>Oxígeno disuelto (mg/l):</b>	
<b>Conductividad eléctrica (ms/cm):</b>			<b>Sólidos disueltos totales (ppm):</b>	
<b>Turbiedad (NTU):</b>			<b>Sólidos sedimentables (ppm):</b>	
<b>Color:</b>		<b>Olor:</b>		<b>Aspecto:</b>
<b>Descripción de la fuente:</b>				
<b>Descripción de la muestra:</b>				
<b>Condiciones climáticas:</b>				