

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y  
CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS  
ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA  
QUEBRADA LA HIDRÁULICA, MUNICIPIO DE SIBUNDOY, DEPARTAMENTO  
DEL PUTUMAYO**

MILLER ALY VALLEJO ORTIZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2011

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS Y  
CARACTERIZACION DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS  
ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA  
QUEBRADA LA HIDRÁULICA, MUNICIPIO DE SIBUNDOY, DEPARTAMENTO  
DEL PUTUMAYO**

MILLER ALY VALLEJO ORTIZ

Trabajo para optar el título de Biólogo

Director:

Mg. GERARDO IGNACIO NAUNDORF SANZ

Asesor:

Mg.HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2011

Nota de aceptación

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

Director -----  
M.Sc. Gerardo Naundorf Sanz

Jurado -----  
M.sc. Giselle Zambrano González

Jurado -----  
M.sc. Jose Beltrán Vidal

Fecha de sustentación: Popayán, 29 de Noviembre de 2.011

## DEDICATORIA

*“A toda mi familia, por convertirse en un pilar muy importante en la construcción de nuevos logros para mi vida...”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero empezar agradeciendo primero que todo a Dios, por permitirnos disfrutar de las maravillas que la Naturaleza nos ofrece, y poder asombrarnos cada día de todo su esplendor.

A mi madre Amparo, a mi padre Miller Eduardo, a mi hermana Mónica, a mi abuela Evangelina, a mi abuelo Edilberto, por estar a mi lado en todos los momentos de mi vida, a mi tío Tobías Vallejo, mis primos Jairo Ortiz y Mauricio Cerón, por prestarme su ayuda durante la investigación del trabajo, a todos mis tíos, mis primos por ser la familia que son y formar la persona que hoy soy.

A mis amigos, Juan Camilo, Andrés, Pablo, Diego, Daniel, Wicho, Federico, Jhonatan, Rafael, Ángela, Marcela, Karen, y todos los compañeros que compartieron momentos inolvidables en la universidad.

A un gran amigo y profesor Gerardo Naundorf, por su gran ayuda en el desarrollo de mi trabajo de grado, al profesor Hildier Zamora por sus asesorías durante la investigación, a Camilo Andrade por su asesoría, a los profesores Giselle Zambrano y Jose Beltrán por su disposición en la evaluación del trabajo.

A CorpoAmazonia por su colaboración durante el desarrollo de la investigación.

Y a todas las personas que de una u otra forma han sido parte fundamental para mi vida.

## TABLA CONTENIDO

1. Resumen.....	11
2. Introducción.....	13
3. Justificación.....	17
4. Objetivos.....	19
4.1 . General.....	19
4.2 . Específicos.....	19
5. Marco Teórico.....	20
5.1 Principales tipos de perturbaciones antrópicas en los ríos.....	20
5.2 Macroinvertebrados.....	21
5.2.1 Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.....	22
5.2.2 Método de bioindicación BMWP.....	23
5.3 Índice de diversidad de Shannon – Weaver.....	27
5.4 Variables Físicas y Químicas del agua.....	27
5.4.1 La Temperatura.....	27
5.4.2 El Oxígeno Disuelto (OD).....	28
5.4.3 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	28
5.4.4 El pH.....	29
5.4.5 El Nitrógeno.....	29
5.4.6 La Conductividad.....	30
6. Metodología.....	32
6.1 Quebrada la Hidráulica.....	32
6.2 Descripción del Área de estudio.....	32
6.3 Materiales y Métodos.....	34
6.3.1 Fase de Campo.....	34
6.3.2 Fase de Laboratorio.....	36

6.4	Análisis de Datos.....	36
6.4.1	Composición y Estructura de la Comunidad de Macroinvertebrados encontrados .....	36
6.4.2	Variables Físico – Químicas.....	37
6.4.3	Calidad Biológica.....	37
7.	Resultados.....	38
7.1	Composición y Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados.....	38
7.1.1	Composición de Macroinvertebrados Acuáticos.....	38
7.1.1.1	Numero de Géneros por Sitio.....	40
7.1.2	Estructura.....	42
7.1.2.1	Índice de Riqueza de Shannon – Weaver.....	42
7.1.3	Dinámica de la Estructura de Macroinvertebrados por sitios de muestreo (DCA).....	43
7.2	Resultados Físico – Químicos.....	45
7.3	Calidad Biológica del agua, Método BMWP/COL (Zamora, 2007).....	46
7.3.1	Variaciones del BMWP/COL durante los muestreos.....	47
8.	Análisis de los Resultados.....	48
8.1	Análisis de la Composición de los Macroinvertebrados.....	48
8.1.1	Análisis de la Estructura.....	49
8.1.2	Dinámica de la estructura de macroinvertebrados por sitios de muestreo (DCA).....	50
8.2	Análisis de correspondencia canónica (CCA).....	51
8.3	Calidad del agua.....	53
9.	Conclusiones.....	54
10.	Recomendaciones.....	56
11.	Bibliografía.....	57

## TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	24
<b>Tabla 2:</b> Clases, Valores y Características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP. ....	26
<b>Tabla 3:</b> Clasificación taxonómica de los macronvertebrados acuáticos epicontinentales encontrados en los tres puntos muestreados durante los 6 meses.....	38
<b>Tabla 4:</b> Valores de BMWP/COL.....	46



## FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 1. Zonas de muestreo de la Quebrada la Hidráulica, Municipio de Sibundoy.....	33
Figura 2. Zona 1.....	34
Figura 3. Zona 2.....	35
Figura 4. Zona 3.....	35
Figura 5. N totales de Macroinvertebrados Acuáticos.....	40
Figura 6. Porcentaje de géneros por zonas de muestre.....	41
Figura 7. Variaciones en el índice de Shannon – Weaver.....	43
Figura 8. Análisis de correspondencia sin tendencia.....	44
Figura 9. Análisis de correspondencia canónica.....	45
Figura 10. Variaciones del Índice BMWP/COL.....	47

## ANEXOS

1. Soporte Estadístico.....	66
1.1 Pruebas Parametricas.....	66
1.1.1 Tabla del índice de Shannon – Weaber, abundancia absoluta y por porcentaje.....	66
1.1.2 N Totales, índice de Shannon – Weaber y equitatividad.....	68
1.1.3 Coordenadas de Macroinvertebrados para el Análisis de Correspondencia sin tendencia DCA.....	68
1.1.4 Coordenadas de sitios por des para DCA.....	69
1.1.5 Análisis de Correspondencia Canónica CCA.....	70
2. Imágenes de Macroinvertebrados Acuáticos.....	71

## 1. RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en tres zonas de la quebrada La Hidráulica ubicada en el municipio de Sibundoy, durante un periodo de 6 meses. Se determinó la composición y estructura de la comunidad, al igual que las condiciones físico – químicas del ambiente, la calidad del agua se describió utilizando el BMWP/COL, metodología propuesta por Zamora (2007).

Se definieron tres zonas de muestreo diferenciadas por los niveles de intervención sobre la microcuenca y el uso del recurso como fuente de abastecimiento para el acueducto y disposición de las aguas residuales domésticas. En cada zona se tomaron muestras en diferentes microambientes con una red de pantalla para bentos de 1mm de ojo de nasa y realizando tres repeticiones por cada zona para un total de 18 muestreos, adicionalmente se realizaron revisiones manuales en rocas, recolección de hojarasca y revisión de partes lodosas para complementar el muestreo cualitativo. Con las familias de macroinvertebrados se determinó la calidad del agua mediante el índice BMWP/COL Zamora (2007), encontrando valores aceptables medianamente contaminados para la zona 1 mientras que las zonas 2 y 3 presentan grados de alteración.

Simultáneamente, se realizaron determinaciones de las características físico químicas del agua, las cuales arrojaron resultados poco favorables para la zona 3 por presentar grados más altos de contaminación antrópica y por lixiviados. Con el fin de complementar la información sobre calidad del agua y los potenciales efectos de la intervención antrópica.

**Palabras Claves:** índice BMWP, Macroinvertebrados, físico – química, calidad del agua.

## 2. INTRODUCCIÓN

El estudio de los ecosistemas acuáticos es de vital importancia, ya que estos sirven para el sostenimiento de la vida humana y las sociedades, aportando el líquido vital que abastece ciudades, campos e industrias. Los servicios provistos por los ecosistemas de agua dulce incluyen aspectos tales como agua para consumo humano, transporte, recreación, sostenimiento de la flora y la fauna y desarrollo de actividades económicas como la acuicultura. Estos beneficios al ser humano son lo que los ecólogos llaman servicios ecológicos, definidos como “los procesos y las condiciones a través de las cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, sostienen y colman la vida humana”. A largo plazo, los ecosistemas de agua dulce saludables tienen más probabilidad de conservar la capacidad adaptativa para mantener la producción de estos servicios ante futuras alteraciones ambientales tales como el cambio climático (Barón, 2003).

Como resultado de las actividades humanas, los ecosistemas acuáticos son sometidos a diversos procesos de alteración por el vertimiento de contaminantes, lo que exige la implantación de procesos de purificación de los desechos urbanos e industriales. Si bien los ecosistemas se han visto expuestos a contaminantes orgánicos e inorgánicos que se presentan de manera natural en el medio como consecuencia de la deposición atmosférica, la escorrentía superficial y subterránea, la disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, la descomposición biológica de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por ciertos procariontes, las actividades han aportado a la contaminación directa o indirectamente por el consumo de agua para diversas actividades como el consumo directo, las prácticas agrícolas y ganaderas y los procesos industrializados que se realizan en las cercanías de algún cuerpo de agua.

Asociados a esta contaminación generalizada aparecen los siguientes problemas medioambientales en los ecosistemas acuáticos:

- (1) Acidificación de ríos y lagos con baja o reducida alcalinidad;
  - (2) Eutrofización de las aguas y proliferación de algas tóxicas;
  - (3) Toxicidad directa de los compuestos nitrogenados para los animales acuáticos.
- Además, la contaminación por nitrógeno inorgánico podría inducir efectos perjudiciales sobre la salud humana (Camargo, 2007)

Es imprescindible tener en cuenta que los ecosistemas acuáticos tienen una alta capacidad para auto regularse y conservarse, son también muy vulnerables y es altamente probable su desaparición por falta de prácticas de conservación. Es común que la sociedad centre su atención en la riqueza y variedad de las formas de vida propias de ecosistemas terrestres y en la importancia de su conservación, lo cual suele dejar a los acuáticos en un perfil más bajo. Por fortuna, iniciativas como el acuerdo RAMSAR y las políticas nacionales derivadas de los diversos convenios mundiales han empezado a contribuir a la conservación y sostenimiento de estos cuerpos de agua en nuestro país.

El fenómeno histórico de subestimación de la importancia y la urgencia de revertir los daños que presentan la mayor parte de los ecosistemas acuáticos puede obedecer, al menos en parte, a nuestra falla para reconocer que la exigencia de agua limpia en las ciudades no es congruente con el uso y desecho que hacemos de ella, una vez usada, y para admitir que somos responsables de la alteración de la recarga y depuración naturales (Sánchez, 2007).

Los análisis fisicoquímicos se deben realizar periódicamente en los cuerpos de agua, ya que con los parámetros que se analicen se podrá contar con un diagnóstico puntual y preciso sobre la calidad de estos ecosistemas. El conocimiento de las diversas reacciones que se suceden en los ecosistemas y las

variaciones en función del tiempo y espacio son fundamentales para establecer la calidad del agua, tanto para el desarrollo de la biota como su potencial uso para el consumo humano. Se destaca que el análisis de diversos parámetros, permite establecer algunas relaciones de productividad y aprovechamiento de los nutrientes suspendidos y sedimentados del sistema, ya que estos últimos sustentan la productividad primaria proporcionando los elementos esenciales para el desarrollo de organismos autótrofos y heterótrofos, que resultan primordiales para el metabolismo de la biota acuática (Vargas, 2005).

Al igual que el estudio fisicoquímico es también relevante el biológico, puesto que la presencia y permanencia de las comunidades biológicas es indicativo de la calidad ambiental del ecosistema. Existe una alta relación entre los parámetros físico químicos y el componente biológico, razón por la cual es necesario en este tipo de estudios abordar los dos componentes reseñados. Teorías y modelos propuestos para los ecosistemas acuáticos, indican que la calidad ambiental depende del gradiente continuo de condiciones y de recursos desde los tramos de cabecera hasta la desembocadura, que determinan la estructura de las comunidades de macroinvertebrados del bentos fluvial (Naranjo, 2007). Se destacan entre las propuestas, el modelo del río continuo propuesto por VANNOTE *et al.* (1980) que trata de explicar el funcionamiento de un ecosistema acuático y cómo puede afectarse por las intervenciones antrópicas.

Un componente fundamental de la biota acuático son los macroinvertebrados, ya que presentan variaciones en la estructura y diversidad de la comunidad en función de los gradientes indicados. Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan estas adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, portándose como “intolerantes”, mientras que

otros, que son “tolerantes” no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepasa el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Alba-Tercedor, 1996).

El presente trabajo pretende actualizar y obtener nueva información sobre las características ambientales de la quebrada La Hidráulica, ubicada en el Valle de Sibundoy, Departamento del Putumayo, y que suministra el agua para el acueducto del municipio del mismo nombre. La información a recopilar se concreta en los análisis físicos y químicos del agua y el estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Es muy importante desarrollar estudios de carácter fisicoquímico y biológico con el fin de determinar su potencial uso y establecer su potabilidad. Se pretende caracterizar la Quebrada la Hidráulica con el fin de establecer su viabilidad como fuente del recurso para la comunidad y para proponer acciones de gestión ambiental en aras de un buen sostenimiento y conservación de este cuerpo hídrico.

El estudio de las características fisicoquímicas y la determinación de la diversidad de macroinvertebrados empleados como bioindicadores, son imprescindibles en la integralidad de un estudio hidrobiológico cuyo objetivo es el determinar el estado actual en el que se encuentra el cuerpo de agua, puesto que las condiciones físico químicas y biológicas se modifica con base en las presiones de orden antrópico sobre la microcuenca, exponiéndola a posibles fuentes de contaminación. Cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará en el sistema, por tanto, la estructura y composición de las comunidades bentónicas presentaran algún grado de alteración al igual que los parámetros físico químicos correlacionados con la modificación ambiental. Por esta razón, la determinación de los posibles agentes contaminantes será necesaria para dar un uso sostenible al recurso.

Las alteraciones ambientales que modifican los sistemas hídricos se reflejan en los cambios que suceden en las estructuras de los ensambles biológicos, las cuales cambian de complejas y diversas con organismos propios de aguas limpias, a simples y de baja diversidad con organismos propios de aguas contaminadas. Parámetros como la cantidad de oxígeno disuelto, el grado de acidez o basicidad (pH), la temperatura y la cantidad de iones disueltos



(conductividad) son variables que cambian fácilmente por la contaminación industrial y doméstica y que tienen efectos sobre los organismos (Roldan, 2008).

Como se indicó anteriormente, la quebrada La Hidráulica presenta intervención de origen antrópica, razón por la cual ha sido objeto de algunos estudios. Se destaca el trabajo realizado por la Fundación Cultural de Sibundoy para CorpoAmazonía (Zamora, 2006). Se pretende aportar información adicional para la gestión ambiental de tan importante recurso hídrico.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 GENERAL:**

- Realizar la caracterización físico-química y de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en la quebrada La Hidráulica.

### **4.2 ESPECÍFICOS:**

- Determinar las características físico-químicas de la fuente hídrica y sus variaciones en función de espacio y tiempo.
- Establecer la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y sus variaciones en función de espacio y el tiempo.
- Determinar la calidad ambiental del ecosistema con base en la aplicación del índice BMWP.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 PRINCIPALES TIPOS DE PERTURBACIONES ANTRÓPICAS EN LOS RÍOS

Las principales fuentes de perturbaciones causadas en los ecosistemas acuáticos por el hombre están relacionadas con la contaminación de origen doméstico, industrial, agrícola, minero y deforestación. Estas perturbaciones pueden resumirse de la siguiente manera (Roldan, 1999):

#### 1. Directo al lecho del río:

- Regulación del flujo y desviación
- Destrucción del hábitat: dragado, revestimiento, canalización, construcción de presas.
- Alteración de la temperatura, del pH, salinidad.
- Vertimiento de aguas servidas.
- Vertimiento de tóxicos (metales pesados, pesticidas).
- Elementos radiactivos.
- Manipulación de la cadena alimenticia (especies exóticas)

#### 2. Indirecto

##### a. En el área de captación

- Practicas forestales ( erosión, arrastre de sedimentos)
- Quemas
- Construcción de vías
- Substracción de agua y canales de desvío
- Contaminación del aire
- Prácticas agrícolas

##### b. En la zona riparia

- Insolación (efectos de la productividad primaria)
- Alteración de la temperatura del agua

- Dinámica de nutrientes
- Aportes alóctonos
- Dinámica de los sedimentos
- Morfología del cauce

Los anteriores impactos pueden medirse y cuantificarse mediante bioindicadores cuyo valor y peso indicativo debe definirse con anterioridad (Roldan, 1999).

Los ecosistemas loticos son típicamente complejos y envuelven muchos fenómenos físicos, químicos y biológicos dentro de una intrincada dinámica espacial y temporal (Allan 1995; Benarescu1995), y aunque se conocen detalles de la forma individual como las variables influyen la calidad del agua, las interacciones entre dichas variables son pobremente conocidas y no suelen ser fácilmente cuantificables (Bucksteeg, 1993 en Wolfgang, 2004).

Se han propuesto diversos métodos para la evaluación de la calidad de las aguas basadas tanto en estudio de las características físicas y químicas del agua, como en los componentes bióticos del ecosistema. Uno de los componentes más frecuentemente empleados es el grupo de organismos conocidos como los macroinvertebrados, pues ofrecen múltiples ventajas tales como: simplicidad metodológica, rapidez en la obtención de los resultados y una alta confiabilidad, lo que hace de estos métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria de la calidad del agua en las cuencas y ríos en general (Wolfgang, 2004).

## **5.2 MACROINVERTEBRADOS**

Bajo el término macroinvertebrados se agrupan los organismos que se pueden observar a simple vista; es decir, en términos generales, todos aquellos que tienen tamaños superiores a 0,5 mm de largo. Dentro de esta categoría están los poríferos, hidozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gastrópodos y bivalvos (Roldan, 2008)

Estos viven sobre el fondo de ríos y lagos, o enterrados en el fango y la arena; adheridos a troncos, vegetación sumergida y rocas; o nadando activamente dentro del agua o sobre la superficie de la misma. Los que viven en el fondo, o enterrados en él, reciben el nombre de “bentos”, los que nadan activamente dentro del agua se denominan “necton”, y los que nadan sobre la superficie del agua se llaman “neuston”. El conjunto de todos estos organismos reciben el nombre de *macroinvertebrados acuáticos* (Roldan, 1996).

### **5.2.1 Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua**

La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación del hombre en las últimas décadas. Los primeros esfuerzos por determinar el daño ecológico causado por los residuos domésticos e industriales en las corrientes de agua fueron realizados por Kolkwitz y Marsson (1908,1909), creando de esta manera las bases del sistema saprobio, altamente utilizado actualmente en Alemania y algunos países europeos. No fue hasta mediados de los años 50's cuando empezaron a utilizarse diferentes metodologías de evaluación de calidad de agua mediante el uso de indicadores biológicos. Patrick (1949,1950) propone métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes (Roldan, 1999).

Resh *et al* (1995) desarrolla en Maryland (USA) métodos rápidos de evaluación del agua usando los Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Tanto este método como el del Reino Unido valoran las condiciones del hábitat y predicen la fauna esperada en un determinado sitio. Alba – Tercedor (1996) adopta la utilización de los Macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la calidad del agua en España, utilizando para ello el índice de BMWP adaptado para la Península Ibérica. Townsend *et al* (1997) califican las perturbaciones de las corrientes en relación con las características de especies de Macroinvertebrados y la riqueza de dichas especies (Roldan, 1999).

La última actualización realizada del sistema se presenta en “Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos” Javier Alba Tercedor (1996). Con base en estos trabajos se realizaron investigaciones en Colombia, destacándose entre otros Zamora (1991, 1993, 1995, 1999 y 2001) Roldán (1973,1980 ,1988 2001 y 2003), Zúñiga (1985, 1994), Bohórquez (1984, 1993) y Reinoso (1998). Zamora (1999) realizó una actualización para Colombia una adaptación del sistema BMWP, el cual se ha sometido a diversas revisiones con base en los estudios que se venido desarrollando (Zamora, 2007)

### **5.2.2 Método de bioindicación BMWP**

El *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y del tiempo que se requiere invertir. El método solo necesita llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje va de 1 a 10, de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (tabla 1). Las familias más sensibles, como Perlidae y Oligoneuriidae, reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, como por ejemplo Tubificidae, reciben una puntuación de 1 (Armitage y Petts, 1992 en Roldan, 2008). La suma de los puntajes de todas las familias da el puntaje total BMWP, el cual permite determinar Clases, Valores y Características para aguas naturales (tabla 2). El puntaje promedio por taxón conocido como ASTP (Average Score Per Taxón), esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de taxa, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores ASTP van de 0 a 10; un valor bajo de ASTP asociado con un puntaje bajo de BMWP indicara condiciones graves de contaminación. Basados en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia de los diferentes grupos de Macroinvertebrados hasta el nivel de familia, se propone utilizar el método BMWP/Col como una primera aproximación para

evaluar los ecosistemas acuáticos de Colombia (Roldan, 1988, 1997, 1999, 2003). Zúñiga *et al* (1997) fueron los primeros que adoptaron este método para algunas cuencas del Valle del Cauca (Roldan, 2008)

**Tabla 1.** Puntaje de las familias de Macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP adaptado para Colombia. Tomado de Zamora (2007)

Ordenes	Familias	Puntaje
Plecoptera	Perlidae	
Ephemeroptera	Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymtarcyidae.	
Trichoptera	Odontoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae, Anomalopsychidae, Atriplectididae..	
Coleoptera	Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae.	
Odonata	Polythoridae.	10
Diptera	Blepharoceridae.	
Unionoida	Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda)	
Acari	Lymnessiidae. (Cl: Arachnoidae o Hidracarina).	
Hidroida	Hidridae. (Cl: Hydrozoa)	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae, Efemeridae.	
Tricoptera	Hydrobiosidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae.	
Coleoptera	Gyrinidae. Scirtidae.	
Odonata	Gomphidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae..	
Diptera	Simullidae.	
Gordioidae	Gordiidae, Chordodidae. (Cl: Nematomorpha)	9
Lepidoptera	Pyralidae	
Mesogastropoda	Ampullariidae. (Cl: Gastrópoda).	
Hirudiniformes	Hirudinae. (Cl: Hirudinea)	
Ephemeroptera	Baetidae, Caenidae,	
Trichoptera	Hidropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae.	
Coleoptera	Dytiscidae, Dryopidae.	

Ordenes	Familias	Puntaje
Odonata	Lestidae, Calopterygidae.	8
Hemiptera	Pleidae, Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae	
Diptera	Dixidae.	
Decápoda	Palaemonidae, Pseudothelphusidae. (Cl Crustácea)	
Basommatophora	Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda)	
Ephemeroptera	Tricorythidae, Leptohiphidae.	
Trichoptera	Polycentropodidae.	
Coleoptera	Elmidae, Staphylinidae	
Odonata	Aeshnidae.	
Hemiptera	Naucoridae, Notonectidae, Mesolveiidae, Corixidae.	7
Diptera	Psychodidae	
Basommatophora	Ancylidae, Planorbidae. (Cl: Gastrópoda)	
Mesogastropoda	Melaniidae, Hydrobiidae, (Cl: Gastrópoda)	
Archeogastrópoda	Neritidae. .. (Cl: Gastrópoda)+	
Coleoptera	Limnichidae, Lutrochidae.	
Odonata	Libellulidae,	
Hemiptera	Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastocoridae, Nepidae,	
Diptera	Dolichopodidae.	6
Megalóptera	Corydalidae, Sialidae..	
Decapoda	Atyidae. . (Cl Crustácea)	
Anhipoda	Hyalellidae. . (Cl Crustácea)	
Tricladida	Planariidae, Dugesiidae..	
Coleóptera	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculiónidae.	
Diptera	Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae.	5
Basommatophora	Thiaridae. (Cl: Gastrópoda)	



Coleoptera	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Noteridae.	
Diptera	Tipulidae, Ceratopogonidae.	4
Basommatophora	Limnaeidae, Sphaeridae.. (Cl: Gastrópoda).	
Diptera	Culícidae, Muscidae, Sciomizidae.	
Basommatophora	Physidae. (Cl: Gastrópoda).	3
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cyclicobdellidae	
Diptera	Chironomidae, Ephydridae, Syrphidae.	
Heplo-taxida	Todas las familias (Excepto tubifex)	2
Haplo-taxida	Tubificidae (Tubifex)	1

**Tabla 2.** . Clases, Valores y Características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP. Tomado de Zamora (2007)

Clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	≥121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 -120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo

Las técnicas que utilizan a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración y la cartografía de la calidad del agua (Alba – Tercedor, 1996 en Riveaux, 2003).

### 5.3 ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON - WEAVER

Este es uno de los índices más utilizados para calificar la diversidad de un ecosistema puesto que representa la abundancia proporcional de cada tipo de ecosistemas dentro de un área de interés. El índice de biodiversidad específica de Shannon, se basa en suponer que la heterogeneidad depende del número de especies presentes y de su abundancia relativa en una comunidad. Conceptualmente, es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Pla, 2001).

El índice de Shannon se calcula mediante la siguiente expresión:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

$H'$ : índice de diversidad

$p_i$ : Es la presencia relativa de la especie  $i$  (en realidad su frecuencia estadística)

Además:

$p_i = n_i/N$ : proporción de individuos en la  $i$  – enésima especie.

En la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5. Excepcionalmente puede haber ecosistemas con valores mayores (bosques tropicales, arrecifes de coral) o menores (algunas zonas desérticas). La mayor limitante de este índice es que no tiene en cuenta la distribución de las especies en el espacio. De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (*Riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*Abundancia*)

Los rangos para este índice en cuanto a diversidad son:

0 - 1.5: Poca Diversidad

1.6 – 3: Mediana Diversidad

3.1 – 5: Alta Diversidad

## **5.4 VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA**

El estudio de las características físico químicas son fundamentales para el desarrollo de trabajos que implican determinar la calidad del agua, ya que en un sistema acuático estas variables están determinadas por el medio ambiente obteniendo así valores que dentro del ecosistema se encuentren.

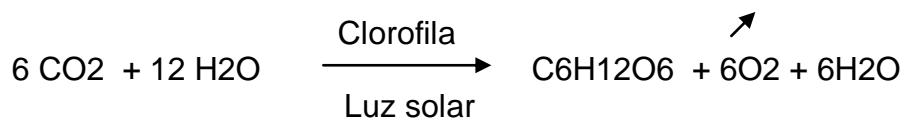
Las variables que se escogieron para dar un diagnostico de la calidad del cuerpo hídrico estudiado son las siguientes:

### **5.4.1 La Temperatura (T°)**

La radiación solar no solamente determina la calidad y cantidad de luz, sino que también afecta la temperatura del agua. Mientras que en las zonas templadas la temperatura varía ampliamente con el cambio de estaciones, en las zonas tropicales permanece más o menos constante a lo largo del año: siempre frías en las altas montañas y cálidas a nivel del mar. En otras palabras, los organismos sometidos a cambios de estaciones toleran más los cambios de temperatura y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios. Por el contrario, para los organismos tropicales al estar adaptados a temperaturas relativamente constantes, cualquier cambio puede ser fatal para su supervivencia. Aquellos organismos que toleran cambios de temperatura muy estrechos se denominan *estenotermos*; en cambio, los que soportan cambios más amplios se llaman *euritermos* (Roldan, 2000)

### 5.4.2 El Oxígeno Disuelto (OD)

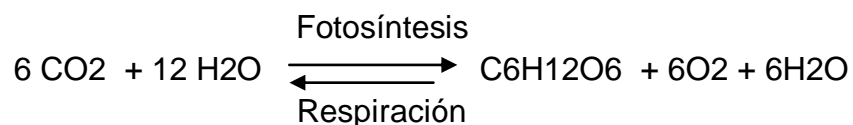
El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos. En los lagos la fotosíntesis es la fuente más importante de oxígeno y su medición se usa para determinar la productividad primaria, y en cierta medida deducir el estado de eutroficación. La reacción química de la fotosíntesis en este medio se expresa como sigue:



Como puede observarse, la reacción consiste básicamente en que el dióxido de carbono y el agua, mediante la acción de la clorofila y la luz solar, producen carbohidratos (glucosa) y el oxígeno se origina como subproducto en dicha reacción. El oxígeno se desprende en forma gaseosa y se difunde el aire, si es producido por las plantas o en el agua, si lo es por las algas (fitoplancton) y en menor proporción por las plantas acuáticas (Roldan, 2000)

### 5.4.3 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono, junto con el oxígeno, son los dos gases más importantes en el agua y, en general, para la vida en el planeta. En tanto que la reacción química de la fotosíntesis produce oxígeno, la de la respiración constituye el proceso inverso en el cual se produce dióxido de carbono:



Tanto la respiración de los seres vivos como la oxidación de la materia orgánica, requieren oxígeno para que se convierta finalmente en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. A diferencia del oxígeno, cuyo porcentaje en el aire es del 21%, el dióxido de carbono es sólo del 0.04% en promedio. Sin embargo, esta cantidad es suficiente para llevarse a cabo los procesos fotosintéticos normales tanto en la tierra como en el agua.

El origen del dióxido de carbono en el agua proviene, por tanto, de la respiración de los organismos y de la oxidación de la materia orgánica. Las lluvias también arrastran consigo el CO<sub>2</sub> atmosférico, incorporándolo en los ecosistemas acuáticos (Roldan, 2000)

#### **5.4.4 El pH**

El pH se define como  $pH = -\log_{10} (H^+)$ ; a valores próximos a 7 la condición del agua se define como neutra, si este disminuye denota condición ácida, la cual se produce por la incorporación de sales ácidas (base débil y ácido fuerte) o bajo condiciones de oxidación de materia orgánica con liberación de CO<sub>2</sub> (ej: lluvia ácida, vertimientos orgánicos). Se incrementa por encima de 7 en situaciones contrarias, es decir, por sales básicas o, a través de los procesos de fotosíntesis que remueven el CO<sub>2</sub>.

Las variaciones del *pH* conducen a cambios en el carbono presente así: en el rango de 4,5 a 8 se reduce el CO<sub>2</sub> e incrementan los bicarbonatos, en *pH* mayores a 8 descienden los bicarbonatos y aumentan los carbonatos (Ramírez, 1998)

#### **5.4.5 El Nitrógeno**

La fuente principal de nitrógeno es el aire, en el cual representa el 79 % de volumen. El nitrógeno hace parte fundamental de las proteínas, de ahí su importancia para los seres vivos. El nitrógeno atmosférico llega al agua a través de las descargas eléctricas y por la acción reductora de ciertas bacterias. Las plantas y las algas lo toman como nitratos durante la síntesis de proteínas y lo incorporan en sus tejidos. Cuando mueren los organismos, las proteínas se descomponen

primero en amonio, luego en nitritos y por último en nitratos. En cada una de estas reacciones interviene un grupo específico de bacterias.

En un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos, que es su forma oxidada. La presencia de nitritos y de amonio, es un indicio de reciente contaminación orgánica o de que existen procesos reductivos predominantes.

La contaminación orgánica y la agricultura son las fuentes principales de nitrógeno en el agua. Un exceso de nitrógeno desencadena un proceso de eutroficación, el cual se manifiesta por un crecimiento masivo de algas y plantas acuáticas. Bajo estas condiciones, el ecosistema sufre cambios drásticos en los ciclos día-noche, y se provoca una fuerte reducción en la diversidad de especies. Una vez activados estos procesos, su corrección se torna difícil (Roldan, 2000)

#### **5.4.6 La Conductividad**

La *conductividad* eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y, por ende, se relaciona con la salinidad. La conductividad se define como el recíproco de la resistencia medida entre dos electrodos de 1.0 cm<sup>2</sup> y distanciados entre sí por 1.0 cm. Los valores de conductividad se expresan en microsiemens por cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o micromohos /cm.

La conductividad en las aguas superficiales tropicales de montaña por lo regular es muy baja (aguas oligotróficas): entre 10 y 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Igualmente, las aguas de los ríos de la selva pluvial tropical contienen conductividades muy bajas (menos de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Las lagunas costeras influenciadas por corrientes marinas y aguas subterráneas presentan conductividades superiores a los 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Prácticamente los mismos iones que existen en la tierra también se encuentran en el agua; por ello, la composición química de un cuerpo de agua refleja la naturaleza geoquímica del terreno que la contiene.

Bajo condiciones naturales, en ecosistemas acuáticos de alta montaña, a medida que aumenta la conductividad disminuye la diversidad de especies. Un aumento de sales en el agua provocado por actividades humanas produce el mismo efecto (Roldan, 2000)

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 QUEBRADA LA HIDRAULICA

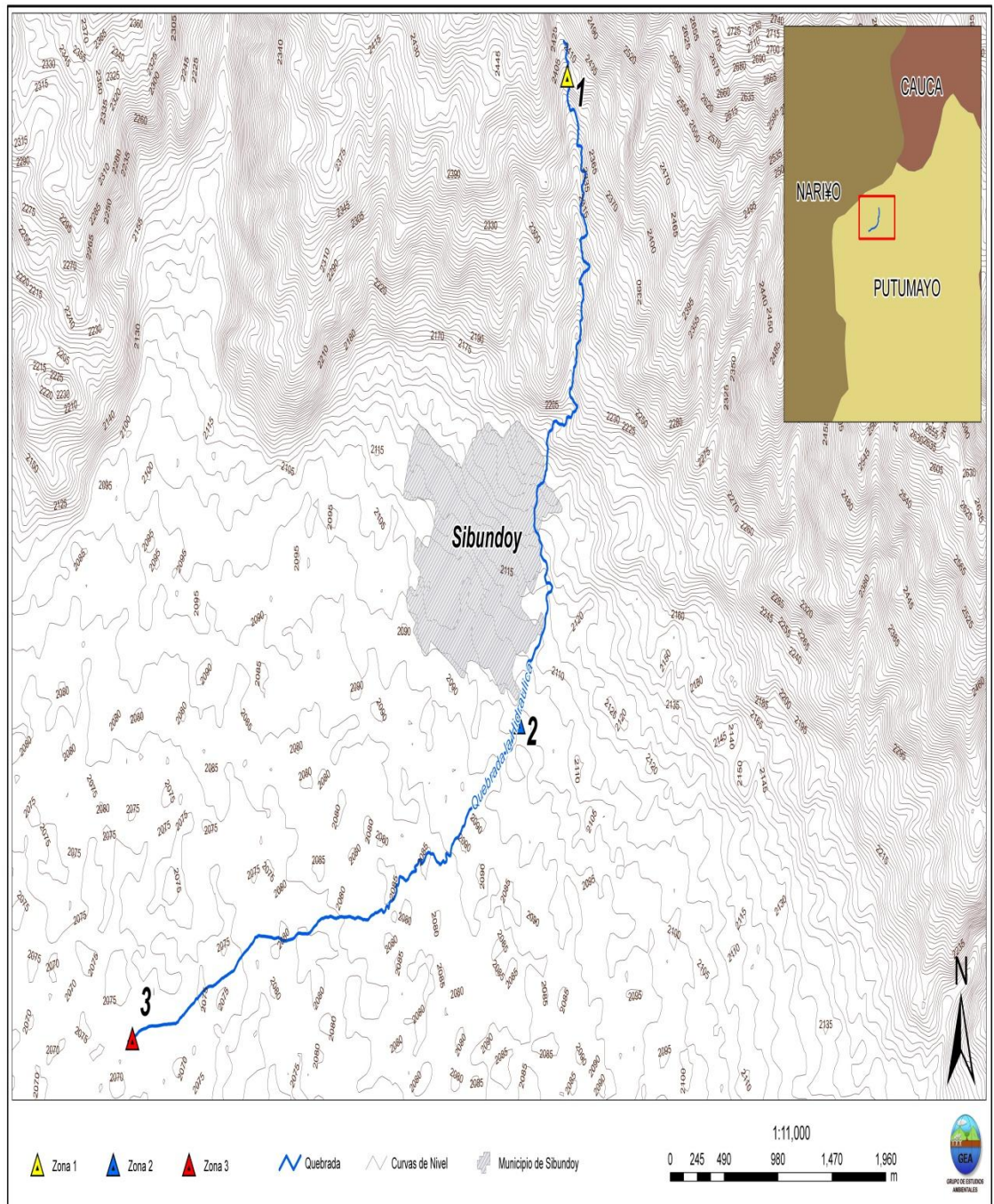
La quebrada La Hidráulica está ubicada en la parte alta del municipio de Sibundoy ocupando un área total de 21,31 km<sup>2</sup>. Con un caudal hídrico arrojado durante el estudio correspondiente a 2,565 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, además es importante tener en cuenta es abastecedora del acueducto municipal del municipio de Sibundoy.

En la actualidad esta microcuenca posee alta potencialidad para la implementación comercial de cultivos propios de clima frío y la ganadería tecnificada soportada en prácticas de manejo estabulado, mejoramiento de praderas y la siembra de pasto de corte.

### 6.2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El tramo de estudio en la quebrada la Hidráulica presenta una altura promedio de 2199 m.s.n.m. en el municipio de Sibundoy, bordeando la cabecera municipal en sentido W-E, con una temperatura promedio de 14.61 °C. **La figura 1** muestra las zonas de muestreo, el recorrido de la fuente hídrica por la parte de la cabecera municipal y las curvas de nivel presentes en la zona.





**FIGURA 1:** Zonas de muestreo de la Quebrada la Hidráulica, Municipio de Sibundoy. **FUENTE GEA.**

## 6.3 MATERIALES Y METODOS

### 6.3.1 Fase De Campo

La propuesta de investigación se realizó en 6 meses de trabajo de campo, realizando el pre-muestreo con el fin de conocer el lugar de trabajo e identificar las zonas de muestreo. Para la realización del proyecto se tuvieron en cuenta tres zonas de muestreo, a saber:

- **(Z.1)** La primera zona está ubicada en la parte alta de la microcuenca a una altura de 2402 m.s.n.m. aproximadamente y localizado geográficamente en N: 01° 13,353' y WO: 76° 54,656'. Se observa baja intervención de la microcuenca y aquí se localiza la bocatoma del acueducto municipal de Sibundoy. La temperatura ambiental promedio fue 15,3°C para los meses de muestreo.



FIGURA 2: Zona 1 de muestreo, ubicada en la parte alta de la cabecera municipal y punto de referencia

- **(Z.2)** La segunda zona está ubicada en las afueras del casco urbano a una altura de 2113 m.s.n.m. y localizada en N: 01° 11,730' y WO: 76° 54,873'. En esta zona se reciben las descargar de aguas residuales. La temperatura ambiental promedio para los meses de muestreo fue de 22.6 °C.



FIGURA 3: Zona 2, ubicada a pocos metros donde termina la cabecera municipal

- **(Z.3)** La última zona está ubicada en cercanías a la desembocadura de la quebrada al río Putumayo. Además de las descargas de aguas residuales, se observan áreas de intervención por actividades agropecuarias. Se encuentra a 2083 m.s.n.m y se localiza en N:  $01^{\circ} 10,93'$  y WO:  $76^{\circ} 56,77'$ . La temperatura ambiental para los meses de muestreo promedio los  $20,8^{\circ}\text{C}$



FIGURA 4: ZONA 3 A pocos metros de la desembocadura de la quebrada

En la recolección de los macroinvertebrados se definieron tres puntos en las zonas de muestreo y se utilizó una red de pantalla para bentos de  $1\text{ m}^2$  la cual es utilizada para muestras cualitativas (BMWP/COL), realizando 3 repeticiones por

cada estación. Adicionalmente, se adelantó colecta manual en rocas, hojarasca y partes lodosas.

Los macroinvertebrados colectados durante los 6 meses se preservaron en recipientes plásticos con alcohol al 70% con su respectiva rotulación para cada zona muestreada.

Para la caracterización físico química hídrica se empleó una sonda multiparamétrica YSI Professional Plus para registrar datos de pH, Temperatura, OD y Conductividad. Los parámetros de CO<sub>2</sub>, Calcio, Nitratos, Hierro, Dureza Carbonacea, Dureza Total, Acidez, Alcalinidad, Cloruros y Amonio, Fosfatos, Nitritos y turbiedad se determinaron mediante métodos AquaMerck y Aquaquant empleando el espectrofotómetro SQ 118.

### **6.3.2 Fase de Laboratorio**

Los macroinvertebrados colectados fueron separados y para realizar el conteo en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos Continentales de la Universidad del Cauca, y su posterior identificación teniendo en cuenta las claves y guías específicas de: Roldan (1998), Domínguez y Fernández (2009), Epler (1996), Wiggins (1998), McCafferty (1981), Merrit (1978), Ross (1959), entre otras. La identificación se realizó hasta el nivel taxonómico de género.

## **6.4 ANÁLISIS DE DATOS**

### **6.4.1 Composición y Estructura de la Comunidad de Macroinvertebrados encontrados**

Para definir la composición de la comunidad para cada zona de muestreo se grafico con el programa EXCEL, teniendo en cuenta el número de géneros por cada orden encontrado, con el mismo programa se realizó la gráfica de los géneros por sitio para determinar las variaciones durante el tiempo que duro la investigación.

Con la utilización del programa estadístico PAST v 2.1 se definió la estructura de la comunidad con la aplicación de los índices de diversidad alfa, índice de Shannon – Weaver ( $H'$ ) al igual que la Riqueza ( $S$ ) teniendo en cuenta la dinámica de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a las zonas de muestreo y el tiempo de la fase de campo, estos valores representados en términos de media, desviación estándar y frecuencias relativas. Igualmente, se realizó un análisis de Correspondencia sin Tendencia (DCA) con el fin de representar de manera geométrica en reducidas dimensiones a las poblaciones de macroinvertebrados en función de las frecuencias relativas de las zonas de muestreo por los meses que duro la investigación.

#### **6.4.2 Variables Físico – Químicas**

Se correlacionaron con los sitios de muestreo durante los 6 meses de la investigación a partir de un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), para poder entender la relación que existe entre las zonas de muestreo a partir de las variables físico – químicas presentes en el cuerpo hídrico. El análisis de multivarianzas se desarrollo implementando el programa PASR v 2.1.

#### **6.4.3 Calidad Biológica**

Se utilizó el método BMWP/COL propuesto por Zamora (2007) para realizar el análisis cualitativo nominal. Este índice se aplicó para cada muestreo durante los 6 meses y se promedian los valores teniendo un valor total de calidad.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. COMPOSICION Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS

#### 7.1.1 Composición de Macroinvertebrados Acuáticos

Se encontraron un total de **1435 organismos** durante los 6 meses, distribuidos en **11 órdenes**, **27 familias** y **35 géneros** para las tres zonas seleccionadas. La **tabla 3** indica los organismos colectados, y el total de estos por cada punto en todo el muestreo.

Las condiciones ambientales permitieron realizar buenas colectas viéndose reflejados en el número de géneros colectados (**figura 5**), mientras que si estas condiciones no eran optimas, como época lluviosa, impedían realizar unos muestreos con un buen número de individuos.

En términos generales, la familia con mayor número de géneros registrados fue para Baetidae con 4 géneros. A nivel de géneros (**figura 6**), se encuentra que para la primera zona el género con mayor abundancia es *Smicridea* con un 29%, mientras que para la segunda zona *Baetodes* con 21% y *Quironominae* en la tercera zona, con un 87%.

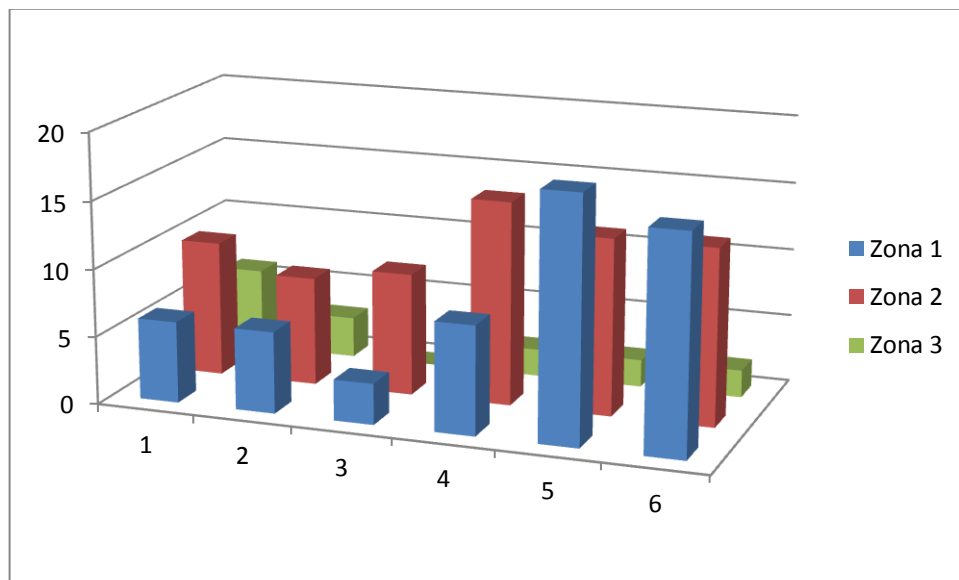
**TABLA 3:** Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales, encontrados en los tres puntos muestreados durante los 6 meses.

ORDEN	FAMILIA	GENERO	Z. 1	Z. 2	Z. 3
Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>		5	3
Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	1	21	1

	ChironominaeS. F. Chironominae		12	13	660
	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	1	2	
		<i>Molophilus</i>		13	
		<i>Tipula</i>		1	
	Tabanidae	<i>Chrysops</i>	2		
	Ceratopogonidae	<i>Alluaudomyia</i>		1	
		<i>Probezzia</i>		1	
	Muscidae	<i>Limnophora</i>	3	4	
	Blepharoceridae	<i>Limnolicola</i>	6		
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Camelobaetidius</i>		54	
		<i>Baetis</i>	2	32	5
		<i>Dactylobaetis</i>		19	
		<i>Baetodes</i>	10	73	
	Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>	20	2	
		<i>Tricorythodes</i>	1	15	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	4		
	Leptohiphyidae	<i>Haplohyphes</i>	2		
Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i>	4	35	
		<i>Cylloepus</i>	11	1	
		<i>Macrelmis</i>	2	14	
	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	32	1	
	Hidrophilidae	<i>Tropisternus</i>	5	2	
	Scirtidae	<i>Elodes</i>	17		
Tichoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	25	4	1
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	1	1	
	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	96	12	
		<i>Leptonema</i>	1		

	Glossosomatida e	<i>Mortoniella</i>	18	1	
	Leptoceridae	<i>Grumichella</i>	27		
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	28	1	
Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>		2	
Hemiptera	Hebridae	<i>Hebrus</i>			1
Tricladida	Planaridae	<i>Dugesia</i>		8	1
Lombriculida	Lombriculidae			7	
Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i>		1	86
		<b>TOTAL</b>	<b>N:1435</b>		

#### 7.1.1.1 Numero de Géneros por sitio



**FIGURA 5:** N totales de los macroinvertebrados encontrados durante los 6 meses de muestreo, en los tres puntos escogidos para la investigación.





## 7.1.2 Estructura

### 7.1.2.1 *Índice de Riqueza Shannon-Weaver*

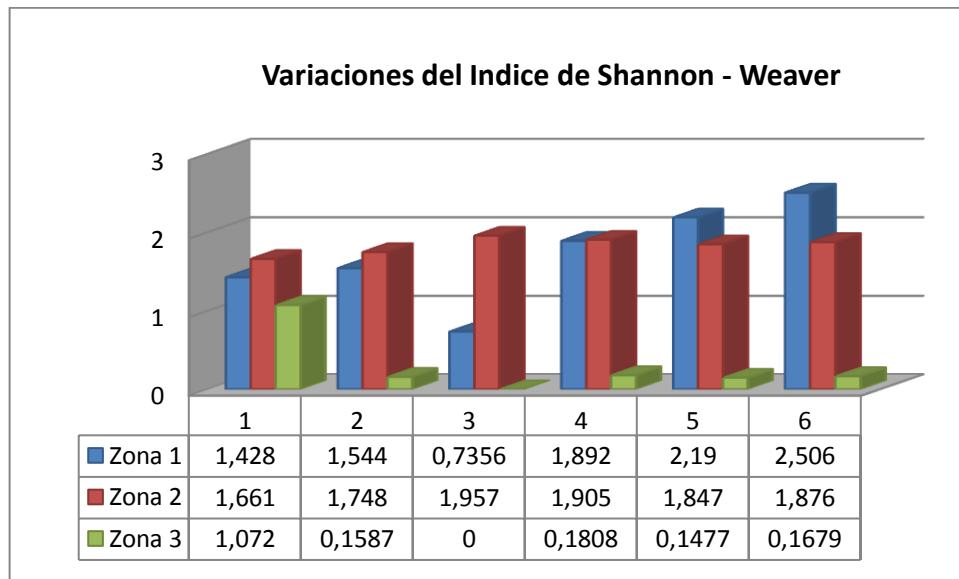
Se presentan los valores de estadística descriptiva del índice de diversidad alfa Shannon – Weaver (H) con sus variaciones durante el periodo de muestreo (**figura 7**); además es importante presentar en esta parte el índice de Equidad (J) ya que es un índice muy utilizado para trabajos ecológicos y por la relación que tiene con el índice de Shannon - Weaver, el índice de Equidad está determinado por el índice de diversidad (H) dividido por el logaritmo ( $\text{Log}_2$ ) de el número total de especies o taxas (S) las cuales también se presentan a continuación así:

$$J = \frac{H}{\text{Log}_2 S}$$

Es una medida de diversidad estandarizada cuyos valores van entre 0 y 1, donde 0 significa dominancia alta y diversidad baja y 1 indica diversidad máxima (Roldan, 2008)

Se calcularon los Índices de diversidad alfa **Shannon (H)** y **Equidad (J)** por sitio y mes de muestreo obteniendo los valores más altos para Shannon la **zona 1** para los muestreos **5** y **6** con valores de **2.19** y **2.506** respectivamente, los mínimos valores para este índice se presentaron en la **zona 3** en los muestreos **4, 5 y 6** con **0.1808, 0.1477** y **0.1679** respectivamente. Para la **zona 2** se mantuvieron valores intermedios que están entre **1,661** y **1,957**.

Para el índice de **Equidad (J)** se obtuvieron los valores más altos en la **zona 1** en los muestreos **4** y **6** con valores de **0.9097** y **0.9039** respectivamente, el valor más bajo se obtuvo en la **zona 3** en el **muestreo 2** teniendo un valor de **0.1445**, para la **zona 2** se presentaron valores que iban de **0,7202** y **0,8906**.



**FIGURA 7:** Variaciones del índice de Shannon – Weaver, en cada punto.

### **7.1.3 Dinámica de la Estructura de Macroinvertebrados por Sitios de Muestreo (DCA)**

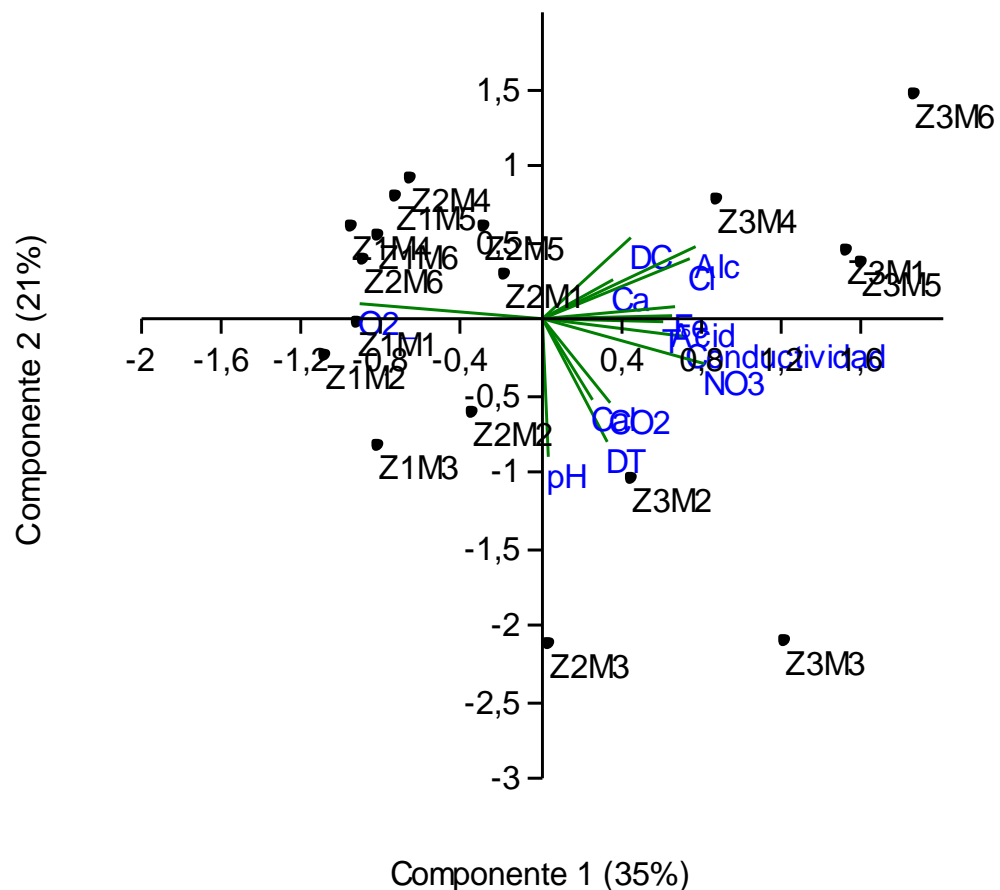
Este análisis se usa principalmente para estudiar la distribución de unos determinados “caracteres” (en sentido general, cualquier tipo de propiedad) entre “poblaciones” (también en sentido general, cualquier conjunto de individuos que pertenezcan a una categoría y que se puedan dividir en poblaciones). En este caso se analizaron los sitios y el muestreo realizado, con las poblaciones de macroinvertebrados encontrados, estas variables cualitativas se analizaron por medio de frecuencias. Ver tabla 1.1.3 en Anexos

Una de las propiedades más características de este tipo de análisis es su capacidad para representar de manera geométrica, en reducidas dimensiones, a las poblaciones en función de la distribución de frecuencias relativas de los caracteres y simultáneamente, representar también los caracteres en función de de sus frecuencias relativas entre poblaciones (Gonzales,2006)



## 7.2 RESULTADOS FISICO – QUIMICOS

Con el análisis de correspondencia canónica, analizamos las variables dependientes (físico – química) respecto a las variables independientes (zonas de muestreo). Con este análisis de multivarianzas se indica que la tercera zona (**Z3**) de muestreo presento mayores diferencias, y separándose de las zonas 1 y 2 (**Z1**, **Z2**) en el espacio geométrico que muestra la (**figura 11**). Mostrando características fisicoquímicas propias para cada zona. Ver tabla 1.1.5 en Anexos.



**FIGURA 9: Análisis de Correspondencia Canónica (CCA).** Correlación entre las variables físico – químicas y los sitios de muestreo, durante toda la fase de campo. Las líneas verdes indican las variables físicas – químicas, las cuales aparecen codificadas de color azul, y las zonas y los muestreos aparecen codificados así. **Z: Zona, M: Muestreo**

### 7.3 CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA, METODO BMWP/COL

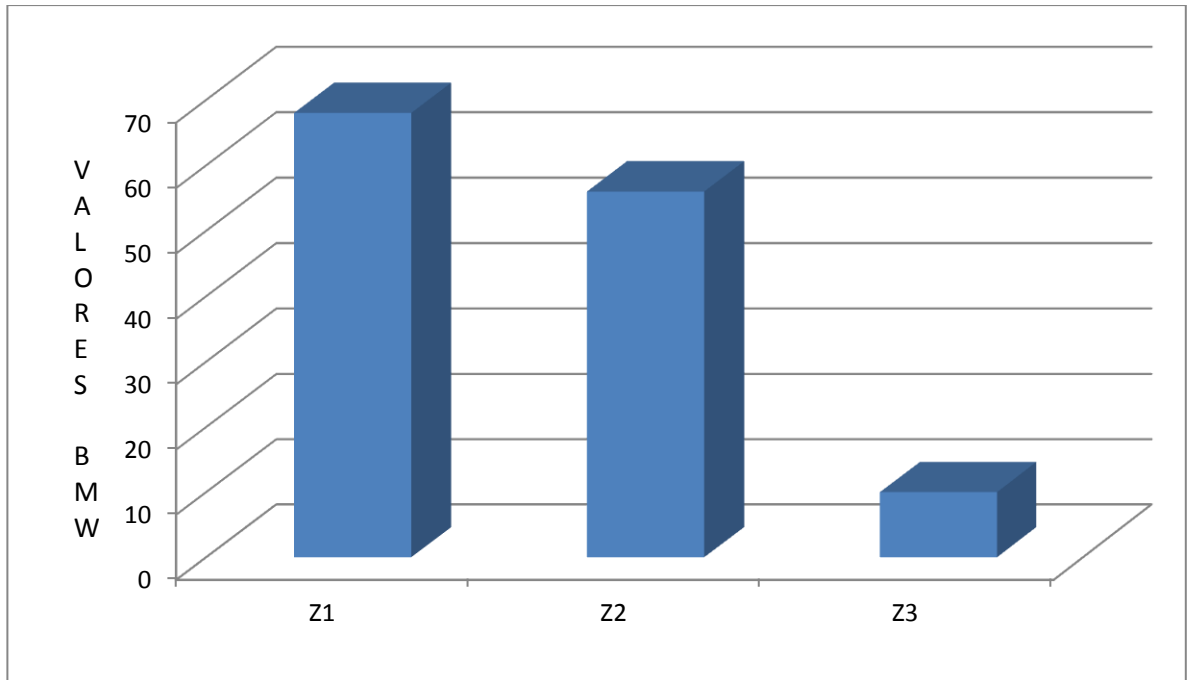
La **tabla 4** indica los resultados del **BMWP/COL** basados en la metodología propuesta por Zamora (2007).

**TABLA 4:** Valores de **BMWP/COL (Zamora 2007)**, las barras de colores indican el color cartográfico representado en la calidad, **BMWP** por muestreo y el Promedio (**X**) por cada zona.

ZONA	MUESTREO	BMWP/MES	X BMWP/MES	CALIDAD	CALIDAD DEL AGUA	CARACTERÍSTICA
1	1	45	68	ACEPTABLE	Aguas Medianamente Contaminadas	
	2	48				
	3	28				
	4	58				
	5	115				
	6	112				
2	1	59	56	DUDOSA	Aguas Contaminadas	
	2	35				
	3	37				
	4	73				
	5	61				
	6	71				
3	1	28	10	MUY CRÍTICA	Aguas Fuertemente Contaminadas	
	2	13				
	3	0				
	4	4				
	5	4				
	6	9				

### 7.3.1 Variación del Bmwp/Col durante los muestreos

Teniendo en cuenta la **tabla 4** se hizo una grafica con los valores promedios de BMWP por cada zona de muestreo (**figura 10**), observándose una disminución del valor en las 2 últimas zonas (**Z1, Z2**), y una baja significativa en la zona tres (**Z3**), mostrando un valor critico para esta zona.



**FIGURA 10:** Variaciones del índice **BMWP/COL** (Zamora 2007), con los valores promedio por cada zona de muestreo.

## 8. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### 8.1 ANALISIS DE LA COMPOSICION DE LOS MACROINVERTEBRADOS

Se encuentra que el orden que presenta la mayor composición de géneros es **Diptera** en las tres zonas de muestreo, ya que estos se encuentran en ampliamente distribuidos, se encuentran en ríos, arroyos, quebradas, lagos a todas las profundidades, depósito de agua en las brácteas de muchas plantas y en orificios de troncos viejos y aun en las costas marinas. Existen representantes de aguas muy limpias como la familia Simuliidae que según el BMWP/COL (Zamora, 2007) tiene un valor de 9 o contaminadas como Tipulidae y Chironomidae con valores de 4 y 3 (Roldan 1996). Si se tiene en cuenta el BMWP/COL (Zamora, 2007) las familias de Diptera presentan puntuaciones que van de 10 hasta 2 notándose la amplia distribución de este orden tiene en ecosistemas acuáticos con alta o baja oxigenación.

A **Diptera** le sigue el orden **Trichoptera** que según Roldan (1996) son insectos que se caracterizan por hacer casas o refugios que se construyen en un estado larval, los cuales sirven a menudo para su identificación. Los Tricópteros son insectos holometábolos cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat (lóticos y lénticos), pero en los lóticos fríos es donde parece presentarse la mayor diversidad, la mayoría de los Tricópteros viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal; algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. En general, son buenos indicadores de aguas oligotróficas. Por último los órdenes con mayor cantidad de familias son Ephemeroptera y Coleoptera siendo representativos de aguas bien oxigenadas y en algunos casos solo pocas especies de estos órdenes parecen resistir cierto grado de contaminación (Roldan, 1996).



Los análisis estadísticos indican diferencias significativas entre las zonas de muestreo, siendo la tercera la que presenta las mayores variaciones y afectaciones, concordantes con las condiciones físico químicas obtenidas.

### **8.1.1 Análisis de la estructura**

Teniendo en cuenta el resultado de los índices de diversidad alfa Shannon – Weaver se presentan valores significativos en la zona 1 en los muestreos 5 y 6 (**2.19 y 2.506** respectivamente) presentando los valores más altos. De acuerdo con lo propuesto por Zamora (2007) se tiene un ambiente de mediana diversidad que en términos de riqueza de especies podemos decir que hay una mediana cantidad de especies presentes en el área de estudio, y también una mediana cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies en términos de abundancia. Se tuvieron también valores mínimos en los muestreos 4, 5 y 6 de la zona 3 así: **0.1808, 0.1477 y 0.1679** respectivamente que según los rangos presentan poca diversidad, esto puede ser porque es una quebrada relativamente joven en la cual las condiciones que presentan, aun no permiten la alta diversidad de fauna bentónica. Siguiendo con los índices alfa se obtuvo también el índice de **Equidad (J)** ya que este lo determina el índice de Shannon. Los valores más representativos para este índice se obtuvieron en los muestreos **4 y 6** de la **zona 1** con valores de **0.9097 y 0.9039** respectivamente, presentando una gran diversidad para esta zona, el valor más bajo se obtuvo en la **zona 3** en el **muestreo 2** teniendo un valor de **0.1445** lo que indica que para este muestreo en esta zona la dominancia de quironomíneos fue alta pero la diversidad muy baja.

Se notan diferencias significativas en las tres zonas de muestreo, por encontrar individuos de macroinvertebrados que son muy representativos en condiciones diferentes tanto ambientales como biológicas.

La **figura 7** muestra variaciones en la **zona 3** de forma significativa, ya que este presenta el menor valor de Shannon y Equidad que las zonas **1 y 2**, estas dos zonas tienden a ser semejantes en condiciones medioambientales y al encontrar

macroinvertebrados comunes en estas 2 zonas como es el caso de **Smicridea** el cual fue común para ambas zonas

### **8.1.2 Dinámica de la estructura de Macroinvertebrados por sitios de muestreo (DCA)**

Se represento de manera geométrica y en reducidas dimensiones la distribución de las poblaciones por medio de un DCA en función de las frecuencias relativas de las zonas de muestreo durante el periodo de investigación dentro de un gradiente ambiental. La figura 10 representa el sitio de distribución más optimo para los grupos de macroinvertebrados encontrados, se observan los tres puntos muestreados los cuales se encierran en círculos para diferenciarlos dentro de la gráfica, además se muestra que a mayor distancia los macroinvertebrados son más semejantes en la estructura de la comunidad por encontrarse variabilidades temporales, debido a que las condiciones ambientales (tiempo seco, lluvias y transición).

Los análisis indican que las zonas de muestreo fueron completamente diferentes en cuanto a condiciones físicas, químicas y biológicas. A manera de ejemplo, el género *Smicridia* abundó en la zona 1, disminuyendo hacia la zona 2 y desapareció por completo en la zona 3, donde solo abundaron géneros con la capacidad de soportar condiciones con grados más altos de contaminación, como es el caso de *Chironominae* y *Tubifex*.

## **8.2 ANALISIS DE CORRESPONDENCIA CANONICA CCA**

Condiciones antrópicas y medioambientales originan que se registren diferentes valores fisicoquímicos para la quebrada, evidenciándose esto en las tres zonas de estudio y representadas en este análisis.

En el análisis de correspondencia canónica, se observa que la zona de muestreo 3 presenta las mayores diferencias en los parámetros analizados, correspondientes con la intervención de tipo antrópico observada en la zona. Las zonas de muestreo 1 y 2 presentan valores similares en los parámetros analizados, indicando condiciones ambientales que permiten el desarrollo de una fauna bentónica indicadora de buena calidad. La zona 3 presenta grados más altos de contaminación mostrando variaciones significativas en los registros físico – químicos, por efectos residuos y asentamientos humanos (Zamora 1998, Villareal 2007, Feriz y Ortega 2009 y Gutiérrez 2010) también encuentran cambios similares en las variables físico – químicas, estos cambios en los registros permite la identificar las diferencias entre las zonas 1 y 2.

El oxígeno constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración definen el tipo de especies que ocurren de acuerdo con sus tolerancias y rangos de adaptación, y por ende establecen toda la estructura y funcionamiento biótico de esos sistemas (Ramírez 1998). Teniendo en cuenta que el Oxígeno Disuelto debería estar en un rango de 9 a 11 mg/l en estado natural de acuerdo a la altura y temperatura del agua, haciendo referencia a esto se registraron valores de 10.25 mg/l y 9.08 mg/l para las zonas 1 y 2 respectivamente, lo que permite establecer las buenas condiciones acuáticas que presentan estas zonas, mientras que para la zona 3 se registro un valor de 4.76 mg/l muy por debajo de los valores normales de oxígeno.

Teniendo en cuenta la tabla de calidad del agua con respecto al porcentaje de Saturación de Oxígeno propuesta por Lynch y Poole (1979) se tiene que para las zona 1 y 2 la calidad del agua es buena lo que representa una buena disolución

del oxígeno, mientras que en la zona 3 la calidad es dudosa lo que indica que la disolución del oxígeno disminuye viéndose afectado por el aumento de las concentraciones de materia orgánica en descomposición de manera endógena y exógena.

Haciendo referencia al decreto 1594 de 1984 del uso del agua y residuos líquidos en el Capítulo IV (De los criterios de la calidad para destinación), artículo 45, donde se presentan los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarias se tiene que los valores normales para el Hierro (Fe) son de 0.1 (ppm), los valores que se registraron en la zona 1 se ajustan a los establecidos por el decreto, lo que ayuda al buen desarrollo de fauna bentónica y flora presente en esta zona, en la zona 2 se registro un valor promedio de 0.2 (ppm) empezándose entonces a registrar índices de contaminación a causa de tensor antrópico (casco urbano), mientras que para la zona 3 se sobrepasan los límites exigidos por el decreto, donde se registro un valor promedio de 0.8 (ppm), evidenciándose altos grados de contaminación, haciendo que macroinvertebrados que se encontraban en la zona 1 y 2 desaparezcan en la zona 3 y empezando a encontrar organismos que ocurren de acuerdo a su tolerancia de rangos de adaptación.

Se indica también que el pH es influyente para que exista una separación entre 2 puntos muestreados (S2M3 y S3M3) ya que son estos los que presentan los valores más altos de pH, por lo que se encuentran en la parte baja derecha del plano.

Es muy importante tener en cuenta que las características de las zonas 1, 2, y 3 fueron variables, dependiendo de las condiciones ambientales a las que se encontraban, puesto que estos inciden si es época lluviosa o época seca. La zona 3 tiene características muy favorables para el desarrollo de la microfauna que soporta grados de contaminación.

### **8.3 CALIDAD DEL AGUA**

El índice BMWP, calculado con base en la totalidad de los organismos colectados, indica que existen diferencias en la calidad del agua. Los datos indican que la zona 1 de muestreo presenta características de aguas aceptables: No obstante, cabe resaltar que a pesar de haber colectado organismos indicadores de buena calidad del agua, su diversidad fue mediana, reflejado en el número de individuos colectados.

La zona 2 y particularmente la zona 3 presentan características de aguas dudosas y muy crítica evidenciándose una contaminación más profunda lo que ocasiona que los individuos que se colectaron ya presenten características de tolerancia a estos contaminantes. Los aportes por contaminación orgánica e inorgánica generan modificaciones en el ecosistema desde los aspectos físico – químicos los cuales repercuten en la composición y distribución de las comunidades (Oscoz et al. 2006 en Gutiérrez (2010). Lo que genera que los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presenten adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentren organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas comportándose como “intolerantes”, mientras que otros que son “tolerantes” no se ven afectados (Alba – Tercedor, 1996).

En efecto, trabajos realizados por Zamora (1998), Feriz y Ortega (2009) en el municipio de Popayán, Villareal (2007) en el municipio de Sibundoy, Gutiérrez (2010) en el municipio de Totoró, concluyen que los vertimientos de aguas residuales generados por asentamientos humanos influyen en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales.

## 9. CONCLUSIONES

- Se encontró un total de 1435 individuos durante todo el periodo de muestreo, distribuidos en 11 órdenes, 27 familias y 35 géneros. La familia con mayor número de géneros fue Baetidae
- La composición de macroinvertebrados en términos de abundancia, encontramos que se presentó una dominancia del orden Diptera para las tres zonas de muestreo ya que se presentó una mayor riqueza de géneros para este orden. Le sigue el orden Trichoptera y por último Ephemeroptera y Coleoptera presentando porcentajes representativos entre los 35 géneros que se colectaron durante la fase de campo.
- El índice de Shannon – Weaver arrojó resultados que indican mediana diversidad. Por encontrar valores que están entre 1.6 y 3 los cuales indican este tipo de diversidad para las zonas 1 y 2.
- La zona 3 presenta condiciones que indican alteración del ecosistema por intervenciones antrópicas y se diferencian estadísticamente de las zonas 1 y 2, se presentan mejores condiciones ambientales.
- El valor de BMWP/COL obtenido de las familias de macroinvertebrados acuáticos colectados permitieron determinar que la calidad del agua de la quebrada se encuentra en un estado aceptable de calidad medianamente contaminadas para la zona 1, mientras que para las zonas 2 y 3 se presentan condiciones de alteración.

- Los datos arrojados en el presente estudio permiten afirmar que es fundamental la implementación de un plan de manejo ambiental para quebrada, con el fin de recuperar condiciones medio ambientales que propicien el uso y manejo sostenible de este cuerpo de agua.

## 10.RECOMENDACIONES

- Mantener los análisis físico químicos y biológicas de la quebrada, con el fin de verificar la calidad del agua, ya que es la fuente que abastece a del vital líquido a los moradores del municipio de Sibundoy y se observan fuertes intervenciones a la misma tanto en el casco urbano como en las áreas aledañas.
- Es muy importante para este tipo de trabajos, tener muy en cuenta la función de las cadenas tróficas dentro de los ambientes a analizar, ya que es esta la que determina la existencia de poblaciones de bentos determinadas.
- En este trabajo se encontró un individuo de la familia Hydrophilidae el cual presenta características que al revisar con bibliografía no se presentaron por lo que se dificultó la identificación del genero. Por lo tanto se recomienda seguir con el estudio de esta familia y comparar con otros registros.
- Debido a la importancia que representa la Quebrada la Hidráulica para el municipio y para la comunidad, es muy importante realizar trabajos comunitarios que contribuyan con la educación ambiental en aras de la preservación y uso razonable de la fuente hídrica.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Alba – Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SLAGA) Vol. II: 203-213.
- Allan, J.D. 1995. Stream ecology structure and fuction of running waters, chapman y Hall. Londres.
- Barón, N., Leroy, P., Angermeier, N., Dahm, H. Gleick, G. Hairston, Jr., Robert, B. Jackson, C. Brian D. Richter, A. Alan, S. Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables. 2-16pp. [En línea] Estados Unidos [Fecha de consulta: Marzo nueve de 2010] disponible en:[http://www.esa.org/science\\_resources/issues/FileSpanish/issue10.pdf](http://www.esa.org/science_resources/issues/FileSpanish/issue10.pdf)
- Benarescu, P. 1995. Zoogeography of freshwaters. Bd.1-3. Aula Wiesbaden.
- Bohorquez, A. 1984. Inventario de las Morfofamilias de las Clases Gasterópoda y Clitelata, como bioindicadores limnológicos de la Laguna de la Herrera p. 22. Memorias XIX Congreso Nacional. Y III Grancolombiano de Ciencias Biológicas. 1994. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 70 pags.
- Bohorquez, A., Ardila, J., Franco, L. 1993. Contribución al estudio Limnológico por bioindicación con Macroinvertebrados bentónicos en aguas continentales de Colombia; Fase I Río Bogotá.

- Buckstegg, K. 1993. Vorstellungen der wasserwirtschaft zur fließgewässerqualität. Pags. 12-38 en: Bayerisches landesamt für wasserforschung (ed). Aus wirkungen von abwassereinleitungen auf die gewässerökologie, Oldengurg, Munich.
- Camargo, J., Alonso, A. 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. 16 (2): 98-110. [En línea] España [Fecha de consulta: Marzo nueve de 2010] disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/486.pdf>
- Domínguez, E., Fernández, R. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lilio, Tucuman, Argentina. 654p.
- Feriz, D y Y. Ortega. 2009. Determinación de la calidad del agua de la quebrada la cantera, empleando comunidades de macroinvertebrados y parámetros físico – químicos como indicadores. Trabajo de grado, Universidad del Cauca. Depto. De Biología, Popayán (Datos no publ)
- Glenn, B. 1998. Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera).
- Gutiérrez, J. 2010. Evaluación de la calidad biológica y Físico - Química del agua y su capacidad de autodepuración en un tramo del Rio Cofre, con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Trabajo de grado, Universidad del Cauca, Depto. De Biología, Popayán (Datos no publ)
- Herbert H. 1959. Introduction to Aquatic Insecta

- John, H. 1996. Identification manual for the water beetles of Florida (Coleoptera: Dryopidae, Dytiscidae, Elmidae, Gyrinidae, Haliplidae, Hydraenidae, Hydrophilidae, Noteridae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Scirtidae)
- Jonson, K., Wiederholm, T., Rosenberg, D. 1992. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. Págs. 40-158 en: D. M. Rosenberg & V. H. Resh (eds). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, Nueva York.
- Kolkwitz, R., Marsson, W. 1908. Ecology of plant Saprobia. Ver dt.Ges. 26: 505-519
- Kolkwitz, R., Marsson, W. 1909. Okologie der tierischen saprobien. Baitage zur lehre von der biologische Gewasserbeuterlung internationale reveu der gesamten Hydrobiologie 2: 126-152.
- Lynch, J.M. y Poole J.N. (ed). 1979. Microbial Ecology: A conceptual approach. Blackwell Sci. Publ. Oxford.
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución Numero 2115 (22 Jun. 2007); por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano [En línea], Disponible en:<http://www.acuavalle.gov.co/docs/Resolucion21152007ReglamentoCalidadAgua.pdf>

- Naranjo, L. Juan C., González, D., Trapero, A., Suárez, Y. 2007. Situación Actual del Estudio de los Macro- Invertebrados Fluviátiles de Cuba. *Bioriente* 1 (1): 1- 5. [En línea] Cuba [Fecha de consulta: Marzo diez de 2010] disponible en: [http://www.bioriente.com/content/v1n1\\_1.pdf](http://www.bioriente.com/content/v1n1_1.pdf)
- Oscoz J. Campos, F. 2006. Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad del agua. *Limnetica*, 25(3): 683-692.
- Pla, L. 2001. Intervalos de confianza bootstrap del índice de biodiversidad de Shannon. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2001, 18: 222-234. [En línea] Venezuela [Fecha de consulta: Marzo once de 2010] disponible en: [http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio\\_septiembre2001/ra3015.pdf](http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2001/ra3015.pdf)
- Ramírez, A., Viña, G., 1998. *Limnología colombiana*, Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. 293p.
- Reinoso, G. 1998. Estudio de la fauna béntica del río Combeima, Ibagué. Colombia. *Memorias XXXIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas*. Universidad del Tolima – Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Ibagué.
- Resh, V., Richard, N., Barbour, M. 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian journal of ecology*. 20: 108-121
- Richard, W. 1978. *An introduction to the aqualitic insects of North America*.

- Riveaux, S. 2003. Evaluación de la Calidad del Agua Utilizando los Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores, Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9 (2). [En línea] Colombia [Fecha de consulta: Octubre once de 2009] disponible en: <http://www.chapingo.mx/noticias/img/revistas/articulos/doc/159c5d4a5c98530a3d1676a16962b65f.pdf>
- Roldan, G., Builes, J., Trujillo, C., Suarez, A. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna bentica del río Medellín. Act. Biol. 2(5): 54-64
- Roldan, G. 1980. Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes, con especial referencia a su fauna de Ephemeropteros. Act. Biol. 9 (34): 103-117.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Dpto de Antioquia. 217 pag Bogotá, Fondo FEN. Colombia – Colciencias – Universidad de Antioquia.
- Roldan, G. 1996. Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN - Colombia. Editorial Presencia Ltda. 217 pp. Bogotá, Colombia
- Roldan, G. 1999. Los Macroinvertebrados y su valor como Indicadores de la calidad del agua, Rev. Acad. Colomb. Cienc, XXIII, (88). [En línea] Colombia [Fecha de consulta: Octubre doce de 2009] disponible en: [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. 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Rev. Acad. Col. Cien. Exac. Fis. y Nat.; Colección Jorge Álvarez Lleras, n° 9 , 152 p.

- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col, 170 p. Primera edición. Medellín. Colombia :Editorial Universidad de Antioquia
- Roldan, G. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical, Editorial Universidad de Antioquia, 2ª .Págs. 324 – 340 – 342
- Sánchez, O. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. 11-32pp [En línea] México [Fecha de consulta: Marzo diez de 2010] disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/533/ecosistemasa.pdf>
- Townsend, C.R., Scarsbrook, M.R, 1997. Quantifying disturbance in streams: alternative measures of disturbance in relation to macroinvertebrates species traits and species richness. *Am. Benthol. Soc.* 16 (3): 531-544.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell & C.E. Cushing, 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137.
- Vargas, M., Arriaga, E., Castelán, H., Rodríguez, J., Estudillo, M. 2005. Caracterización de Algunos Parámetros Fisicoquímicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. Vol. 15 no. 2. [En línea] México [Fecha de consulta: Marzo diez de 2010] disponible en:<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/416/41615206.pdf>
- Villareal, L. 2007. Efectos de los vertimientos de aguas residuales domésticas en la calidad biológica y físico – química de la quebrada lava pies, municipio de Sibundoy – Putumayo. Trabajo de grado, Universidad del Cauca. 98p.

- Patrick, R. 1949. A proposed biological measure of stream conditions, based on a survey of the Conestoga basin, Lancaster County, Pennsylvania. Proc. Acad. Nat. Scvi. Philad. 101: 277-341.
- Patrick, R. 1950. Biological measure of stream conditions. Sewage ind. Wastes. 22: 926-939.
- Patrick, W., 1981. Aquatic Entomology – The fishermen’s and ecologists’ illustrated guide to insects and their relatives.
- Wolfgang, R., Gutierrez, J., Ospina, R. 2004. Bioindicación de la Calidad del Agua con Macroinvertebrados Acuáticos en la Sabana de Bogotá, utilizando Redes Neuronales Artificiales, Caldasia 26 (1): 151-160. [En línea] Colombia [Fecha de consulta: Octubre doce de 2009] disponible en:[http://www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasias/26\(1\)/11F.pdf](http://www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasias/26(1)/11F.pdf)
- Zamora, H. 1991. Macroinvertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales del Dpto. del Cauca. Fase I. Universidad del Cauca – Colciencias, Depto de Biología, Popayán.
- Zamora, H. 1993. Macroinvertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales del Dpto. del Cauca. Fase II. Universidad del Cauca – Colciencias, Depto de Biología, Popayán.
- Zamora, H. 1995. Relaciones de Similitud entre comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas de ecosistemas lóticos ubicados entre la Costa Pacifica Caucana y el Piedemonte Amazonico. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. 9 (1-2): 7-21.

- Zamora, H. 1998. Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río molino por efectos de la actividad antrópica y la contaminación doméstica. *Unicauca ciencia* 3: 11-30.
- Zamora, H. 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Rev. Unicauca-Ciencia*. 4: 47-60.
- Zamora, H., Sarria, H. 2001. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. *Rev. Unicauca-Ciencia*. 6: 21-41.
- Zamora, H., Naundorf, G., Andrade, C., Ayerbe, F. 2006. Plan de manejo ambiental de los humedales de la parte plana del Valle de Sibundoy. [En línea] Colombia [Fecha de consulta: Marzo doce de 2010] disponible en: [http://www.corpoamazonia.gov.co/Planes/download/humedal\\_sibundoy.pdf](http://www.corpoamazonia.gov.co/Planes/download/humedal_sibundoy.pdf)
- Zamora, H. 2007. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 19. 73-81. ISSN 0120 – 4173.
- Zúñiga, C. 1985. Estudio de la Ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de la calidad. *Rev. AINSA*. 8(2): 91-105



- Zúñiga, C., Rojas, A., Caicedo, G. 1994. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. Memorias segundo Seminario Nacional de limnología. Asociación Colombiana de Limnología. Pags 125-135. Medellín.

## **ANEXOS**

### **1. SOPORTE ESTADISTICO**

#### **1.1 PRUEBAS PARAMETRICAS**

De la siguiente matriz se tomaron los datos para realizar el análisis estadístico correspondiente.

TABLA 1.1.1: Para el índice de Shannon – Weaver se utiliza la formula que se menciona en el marco teorico. En cuanto a la abundancia absoluta, se hace una sumatoria entre los tres puntos muestreados para cada genero colectado, y para la abundancia por porcentaje se toma el N Totales de macroinvertebrados / abundancia absoluta \* 100. Estos datos se toman para realizar las figuras 6 y 7.

ORDEN	FAMILIA	GENERO	PUNTO 1	SHANNON	PUNTO 2	SHANNON	PUNTO 3	SHANNON	BUN ABSO	ABUN
Basommatophora	Physidae	Physa			5	0,061228	3	0,021895	8	0,55749129
Diptera	Simuliidae	Simulium	1	0,017529	21	0,170059	1	0,008748	23	1,60278746
	S.F.Chironominae		12	0,120261	13	0,123293	660	0,120545	685	47,7351916
	Tipulidae	Hexatoma	1	0,017529	2	0,029788			3	0,20905923
		Molophilus			13	0,123293			13	0,90592334
		Tipula			1	0,016897			1	0,06968641
	Tabanidae	Chrysops	2	0,03087					2	0,13937282
	Ceratopogonidae	Alluaudomyia			1	0,016897			1	0,06968641
		Probezzia			1	0,016897			1	0,06968641
	Muscidae	Limnophora	3	0,04263	4	0,051562			7	0,48780488
	Blepharoceridae	Limnolicola	6	0,072695					6	0,41811847
Ephemeroptera	Baetidae	Camelobaetidius			54	0,289892			54	3,7630662
		Baetis	2	0,03087	32	0,220181	5	0,033122	39	2,71777003
		Dactylobaetis			19	0,159358			19	1,32404181
		Baetodes	10	0,105726	73	0,328285			83	5,78397213
	Tricorythidae	Leptohyphes	20	0,16957	2	0,029788			22	1,53310105
		Tricorythodes	1	0,017529	15	0,136057			16	1,11498258
	Leptophlebiidae	Thraulodes	4	0,053363					4	0,27874564
	Leptohiphidae	Haplohyphes	2	0,03087					2	0,13937282
Coleoptera	Elmidae	Heterelmis	4	0,053363	35	0,231758			39	2,71777003
		Cyloopus	11	0,113131	1	0,016897			12	0,83623693
		Macrelmis	2	0,03087	14	0,129778			16	1,11498258
	Psephenidae	Psephenops	32	0,225874	1	0,016897			33	2,29965157
	Hidrophilidae	Tropisternus	5	0,063334	2	0,029788			7	0,48780488
	Scirtidae	Elodes	17	0,152482					17	1,18466899
Tichoptera	Helicopsychidae	Helicopsyche	25	0,195109	4	0,051562	1	0,008748	30	2,09059233
	Leptoceridae	Atanotolica	1	0,017529	1	0,016897			2	0,13937282
	Hydropsychidae	Smicridea	96	0,358991	12	0,116585			108	7,5261324
		Leptonema	1	0,017529					1	0,06968641
	Glossosomatida	Mortoniella	18	0,158343	1	0,016897			19	1,32404181
	Leptoceridae	Grumichella	27	0,20444					27	1,8815331
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	28	0,208935	1	0,016897			29	2,02090592
Neuroptera	Corydalidae	Corydalus			2	0,029788			2	0,13937282
Hemiptera	Hebridae	Hebrus					1	0,008748	1	0,06968641
Tricladida	Planariidae	Dugesia			8	0,087098	1	0,008748	9	0,6271777
Lombriculida	Lombriculidae				7	0,078912			7	0,48780488
Oligochaeta	Tubificidae	Tubifex			1	0,016897	86	0,246919	87	6,06271777
		<b>TOTAL</b>	<b>331</b>	<b>2,50937</b>	<b>346</b>	<b>2,630128</b>	<b>758</b>	<b>0,45747</b>	<b>1435</b>	<b>100%</b>

Después de correr el programa estadístico Past, para conocer los valores de Shannon – weaver, y la Equitatividad se obtuvo la siguiente tabla, a partir de los datos de generos totales para cada punto. Durante los 6 meses de muestreo.

TABLA 1.1.2: N totales para cada género durante el muestreo, la taxa, índice de Shannon – weaver y la Equitatividad, con los que se realiza la grafica 1 y 2.

N	31	23	8	33	164	70	53	16	20	70	113	74	97	65	68	503	25
Taxa_S	6	6	3	8	18	16	10	8	9	15	13	13	6	3	2	2	2
Shannon_H	1,428	1,544	0,7356	1,892	2,19	2,506	1,661	1,748	1,957	1,905	1,847	1,876	1,072	0,1587	0,1808	0,1477	0,1679
Equitability_J	0,7969	0,862	0,6696	0,9097	0,7577	0,9039	0,7212	0,8406	0,8906	0,7035	0,7202	0,7313	0,5986	0,1445	0,2609	0,2131	0,2423

TABLA 1.1.3: Coordenadas de los macroinvertebrados encontrados codificados para realizar el análisis de correspondencia sin tendencia DCA.

Alluaudomyia	All	2,3675
Anacroneuria	Ana	0,65392
Atanatolica	Ata	2,2031
Baetis	Baeti	3,1505
Baetodes	Baeto	2,0881
Camelobaetidius	Cam	2,7189
Chironominae	Chi	5,7087
Chrysops	Chr	0,064623
Corydalus	Cor	2,1244
Cyloepus	Cyll	0
Dactylobaetis	Dac	2,1038
Dugesia	Dug	2,8976
Elodes	Elo	0,2239
Grumichella	Gru	0,36714
Haplohyphes	Hap	0,36714
Hebrus	Heb	4,7406
Helicopsyche	Hel	0,8404
Heterelmis	Het	2,4215
Hexatoma	Hex	1,5387
Leptohyphes	Lephy	0,60484
Leptonema	Lepne	0,96919
Limnocola	Lim	0,96919
Limnophora	Limph	2,0856
Lombriculidae	Lomb	2,1743
Macrelmis	Mac	2,2416
Molophilus	Mol	2,8427
Mortoniella	Mor	0,35414
Physa	Phy	3,9259

Probezzia	Pro	3,108
Psephenops	Pse	0,14376
Simulium	Sim	3,1924
Smicridea	Smi	0,43619
Thraulodes	Thr	0,61058
Tipula	Tip	3,108
Tricorythodes	Tri	2,0594
Tropisternus	Tro	0,8665
Tubifex	Tub	5,1954

TABLA 1.1.4: Coordenadas de los sitios durante todo el muestreo para el DCA.

S1M1	-0,46525
S1M2	-0,053327
S1M3	-0,21876
S1M4	-0,23789
S1M5	0,36714
S1M6	0,96919
S2M1	3,437
S2M2	2,0849
S2M3	1,7834
S2M4	2,1639
S2M5	2,3675
S2M6	3,108
S3M1	4,7406
S3M2	5,4885
S3M4	5,9771
S3M5	5,9971
S3M6	5,421

TABLA 1.1.5: Coordenadas de los sitios para el Análisis de Correspondencia Canonica CCA. Figura 8.

S1M1	-0,97668
S1M2	-0,97001
S1M3	-0,65997
S1M4	-0,8419
S1M5	-0,84848
S1M6	-0,70297
S2M1	-0,17226
S2M2	-0,35711
S2M3	0,038161
S2M4	-0,46811
S2M5	-0,7428
S2M6	-0,90203
S3M1	1,4308
S3M2	0,50406
S3M3	1,041
S3M4	1,0723
S3M5	1,5077
S3M6	2,0483

## 2. IMÁGENES DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS.



SF: Chironominae



Genero: Smicridea



Genero: Anacroneuria



Genero: Grumichella



Género: Cylloepus



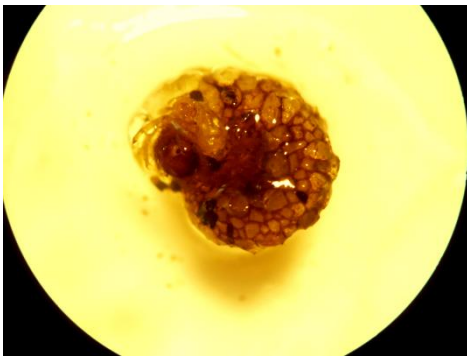
Género: Haplohyphes



Genero: Elodes



Familia: Hydrophilidae



Genero: Helicopsyche



Genero: Heterelmis



Género: Cylloepus



Género: Molophilus





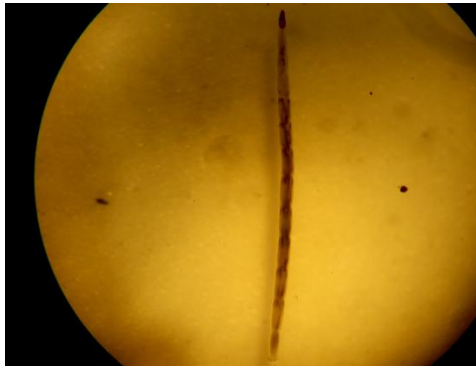
Genero: Simulium



Genero: Baetis



Genero: Tricorythodes



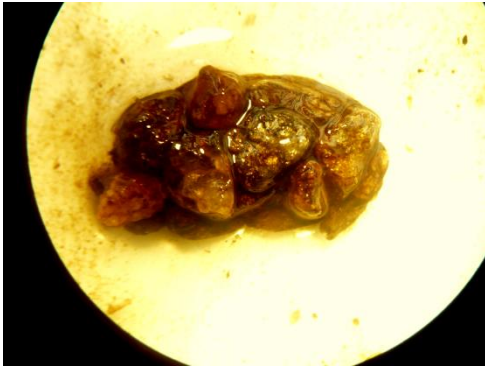
Genero: Alluaudomyia



Genero: Limnophora



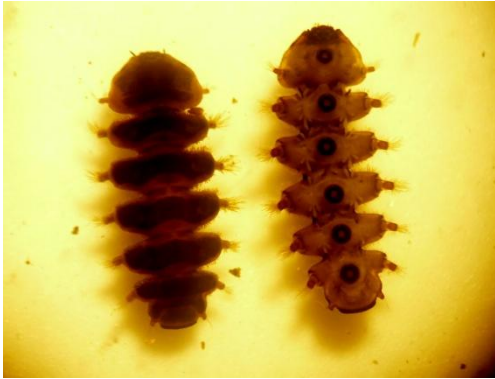
Genero: Tubifex



Genero: Mortoniella



SF: Orthocladinae



Genero: Limomicola



Genero: Atanatolica



Género: Tipula



