

**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y DE LA COMUNIDAD DE  
MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EN LA QUEBRADA MINATAPADA,  
CORREGIMIENTO DE FONDAS, EL TAMBO – CAUCA, UTILIZADA EN LA  
MINERIA ARTESANAL DE ORO**

**LAURA VICTORIA CRUZ SALAZAR**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYAN  
2012**

**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y DE LA COMUNIDAD DE  
MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EN LA QUEBRADA MINATAPADA,  
CORREGIMIENTO DE FONDAS, EL TAMBO – CAUCA, UTILIZADA EN LA  
MINERIA ARTESANAL DE ORO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE BIOLOGA**

**LAURA VICTORIA CRUZ SALAZAR**

**Director**

**Ms. Sc. GERARDO IGNACIO NAUNDORF SANZ**

**Universidad Del Cauca**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYAN  
2012**


**Nota de aceptación**

---

---

---

---

Director 

**Ms. Sc. Gerardo I. Naundorf Sanz**

Jurado \_\_\_\_\_

**Ms. Sc. Jhan A. Sandoval**

Jurado \_\_\_\_\_

**Ms. Sc. José T. Beltrán**

**Popayán, 04 de diciembre de 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Agradezco inmensamente a mi Director Gerardo Naundorf por su especial disposición y entrega con mi trabajo, a Zaida Collazos y Karina Burbano porque con su valiosa amistad me colaboraron en todo lo que pudieron.**

**A mi familia, especialmente a mi padre y maestro, quien toda la vida me ha formado y apoyado para ser quien soy hoy en día.**

**A mis compañeros y en general, a todas aquellas personas que de una u otra manera influyeron en la realización de mi trabajo de grado, ya que nada de esto hubiese sido posible sin su apoyo.**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos específicos.....	3
4. MARCO CONCEPTUAL.....	4
4.1 Variables fisicoquímicas	4
4.1.1. Temperatura.....	4
4.1.2. pH .....	4
4.1.3 Oxígeno disuelto.....	5
4.1.4 Dióxido de carbono.....	5
4.1.5. Conductividad.....	5
4.1.6. Dureza Total. ....	6
4.1.7. Nitrógeno.....	6
4.1.8. Cianuro.....	7
4.2 Macroinvertebrados Acuáticos Bentónicos.....	8
4.3 Bioindicación.....	9
4.3.1. Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores....	9
4.3.2. El BMWP para Colombia (BMWP/Col.).....	10

5.	ANTECEDENTES.....	12
6.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	15
6.1.	Descripción del área de estudio.....	15
6.2.	Fase de campo.....	16
6.2.1	Caracterización fisicoquímica hídrica.....	17
6.2.2.	Colecta de los macroinvertebrados.....	19
6.3.	Fase de laboratorio.....	19
6.4.	Tratamiento estadístico de datos.....	20
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
7.1	Macroinvertebrados Acuáticos.....	20
7.2	Índice de diversidad: Shannon Weaver (H').....	31
7.3	Determinación del índice BMWP/Col (Zamora, 2007) y EPT.....	34
7.4	Caracterización físico química hídrica.....	35
7.4.1	Temperatura hídrica.....	38
7.4.2	Oxígeno Disuelto, Porcentaje de Saturación y Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	39
7.4.3	Dióxido de carbono.....	42
7.4.4	pH.....	43
7.4.5	Alcalinidad.....	44
7.4.6	Conductividad.....	45

7.4.7	Dureza Total.....	46
7.4.8	Dureza Carbonácea.....	47
7.4.9	Calcio.....	47
7.4.10	Acidez.....	48
7.4.11	Sólidos Totales Disueltos (TDS).....	49
7.4.12	Fosfatos.....	50
7.4.13	Nitrógeno (Amonio, nitratos y nitritos).....	51
7.4.14	Cianuro.....	54
7.4.15	Turbiedad.....	55
7.5	Correlación entre la comunidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos.....	58
8.	CONCLUSIONES.....	60
9.	RECOMENDACIONES.....	62
10.	BIBLIOGRAFIA.....	63

## CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
1. Quebrada Minatapada con las respectivas zonas de estudio.....	15
2. Zona 1.....	16
3. Zona 2.....	17
4. Composición de géneros por orden de macroinvertebrados hallados en la quebrada.....	24
5. Composición de familias en el área de estudio.....	25
6. Abundancia de géneros	25
7. Composición de géneros hallados en la quebrada Minatapada.....	26
8. Composición de géneros hallados en la zona 1.....	27
9. Composición de géneros hallados en la zona 2.....	27
10. Distribución de géneros en las zonas de muestreo.....	28
11. Distribución de familias presentes en las zonas de muestreo.....	29
12. Valores del índice Shannon Weaver ( $H'$ ) para cada mes en ambas zonas de muestreo. ....	32
13. Índice de similitud de Bray-Curtis para los géneros de macroinvertebrados hallados.....	33
14. Variación de la temperatura hídrica en las zonas y meses de muestreo.....	38
15. Variación del oxígeno disuelto en las zonas y meses de muestreo..	40
16. Porcentaje de saturación de oxígeno.....	40



17.	Valores obtenidos para la DQO.....	41
18.	Valores de CO <sub>2</sub> obtenidos en las zonas y meses de muestreo.....	42
19.	Valores de pH para las zonas y meses de muestreo.....	43
20.	Valores de alcalinidad obtenidos.....	44
21.	Variaciones de la conductividad por meses y zonas de muestreo....	45
22.	Valores obtenidos para la dureza total.....	46
23.	Valores de dureza Carbonácea.....	47
24.	Valores obtenidos para el ion calcio.....	48
25.	Valores de Acidez.....	49
26.	Concentración de TDS.....	50
27.	Valores obtenidos de fosfatos.....	51
28.	Valores obtenidos de amonio, nitratos y nitritos en la zona 1.....	52
29.	Valores obtenidos de amonio, nitratos y nitritos en la zona 2.....	53
30.	Valores registrados de cianuro.....	54
31.	Valores de turbiedad.....	55
32.	Dendrograma de Bray-Curtis para las variables fisicoquímicas.....	57
33.	Análisis de Correspondencia Canónica (ACC).	59

## CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
1. Clases, Valores y Características para las aguas clasificadas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia.....	11
2. Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados hallados en ambas zonas de estudio.....	21
3. Distribución de las Familias por zonas de muestreo.....	29
4. Índice de Biodiversidad de Shannon Weaver (H').....	31
5. Resultados obtenidos para el BMWP/Col.....	34
6. Resultado obtenido para el índice EPT.....	35
7. Rangos del índice EPT y su correspondiente rango de calidad del agua.....	35
8. Valores obtenidos para las variables fisicoquímicas en la zona 1....	36
9. Valores obtenidos para las variables fisicoquímicas en la zona 2....	37

## 0. RESUMEN

Se realizó un estudio hidrobiológico de la quebrada Minatapada, localizada en el corregimiento de Fondas, municipio de El Tambo – Cauca. Se realizaron 5 muestreos, con una frecuencia mensual, desde abril hasta agosto de 2012 en dos zonas de estudio: la primera: en una zona poco intervenida de la quebrada y donde no se detectó la realización de prácticas mineras y la segunda, después de la intervención por minería artesanal. En cada muestreo, se colectaron macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) y se realizó la caracterización físico química.

Los MAE colectados se identificaron hasta género y se determinó el índice BMWP/Col (Zamora, 2007) y el índice EPT, dando como resultado en la zona 1 aguas de muy buena calidad y aguas medianamente buenas respectivamente. Para la zona 2, los resultados indicaron aguas de aceptable calidad para ambas pruebas, notándose cambios en la estructura de comunidades. Se colectó en total 912 individuos repartidos en 11 órdenes, 36 familias y 57 géneros (tabla 2). Los órdenes más abundantes en la quebrada Minatapada fueron Trichóptera 35% (317 ind), Coleóptera 21% (195 ind), Plecóptera 17% (158 ind). En la zona 1 se detectaron 48 géneros con 652 (70,4%) individuos, mientras que en la zona 2 se colectaron 260 individuos (29,6%) correspondientes a 25 géneros. La zona 1 tiene 29 géneros que no están en la zona 2, mientras que la zona 2 tiene solo 6 géneros que no están en la zona 1.

El índice de diversidad de Shannon Weaver, indica mayor diversidad en la zona 1. La similitud entre las dos zonas se midió mediante el índice de Sorensen arrojando un valor de 52,05%, correspondiente a baja similitud, comprobado con el análisis de Bray Curtis.

Los análisis físico-químicos indican que la mayoría de los parámetros analizados se encuentran en rangos considerados adecuados para el desarrollo de la biota acuática. No obstante se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas. No se encontraron diferencias significativas para los meses de muestreo en cada una de las zonas. La quebrada muestra incrementos en la turbiedad y la presencia de cianuros, consecuente con la explotación minera.

**Palabras clave:** Macroinvertebrados acuáticos, Bioindicadores, Quebrada Minatapada, Caracterización físico química, Índice BMWP/COL.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el compuesto más abundante sobre la tierra (Roldan & Ramírez, 2008) y en los ecosistemas lóticos presenta características físicas y químicas que pueden condicionar la existencia de vida y que además está sometido al conjunto de factores bióticos y abióticos que generan ciertas condiciones que producen determinada calidad del agua.

Los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) presentan gran importancia para el correcto funcionamiento y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos; además de esto hoy en día son considerados como excelentes bioindicadores de calidad del agua, (Roldan & Ramírez, 2008) por lo que constituyen una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua.

Grandes acciones antropogénicas como el crecimiento poblacional, la generación de monocultivos como el pino (*Pinus* sp.), construcción de vías, ganadería, la sobreexplotación de los recursos y la minería artesanal, entre otras actividades, alteran drásticamente los ecosistemas acuáticos.

En el corregimiento de Fondas, ubicado al occidente del municipio de El Tambo se trabaja la minería de oro artesanalmente, en donde cerca del 40% de la población se beneficia directamente de esta labor, la cual se realiza cerca de fuentes de agua aprovechando su energía para mover molinos, barriles y realizar el lavado de la arena (CRC, 2003); estos generan residuos tóxicos provocados por el uso de metales como el mercurio y el cianuro, por lo cual se hace necesario evaluar el impacto que esta acción genera sobre la quebrada Minatapada de la región, tomando como bioindicadores a los MAE, y evaluando las características fisicoquímicas.

## 2. JUSTIFICACION

La importancia del agua ha sido mencionada por muchos autores ya que de la calidad de ésta depende el buen funcionamiento y sostenibilidad de los ecosistemas en general. Se conoce que el humano necesita cotidianamente de este preciado recurso, mucho más que el oro.

Los ecosistemas lóticos cada vez se encuentran en mayor peligro debido al mal uso dado por el hombre, por tanto se hace necesario conocer el impacto que genera la contaminación producida por la minería de oro artesanal en los cuerpos de agua del lugar.

Aunque se realizó un estudio por parte de la Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC (2003) referido al diagnóstico geológico, minero, ambiental, social y económico en el corregimiento de Fondas en julio de 2003, se dejó a un lado el impacto generado por la acción minera sobre la biota y la calidad acuática. Dado que este cuerpo de agua presenta alteraciones que aun no han sido suficientemente evaluadas, se justifica la realización del presente estudio.

El presente estudio pretende establecer de manera preliminar los efectos que genera la minería de oro artesanal sobre la quebrada Minatapada, con base en la caracterización fisicoquímica hídrica y el análisis de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, para así aportar al conocimiento de los ecosistemas regionales y a la generación de un plan de manejo minero-ambiental.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Determinar los cambios en la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y de las características fisicoquímicas del agua ocasionados por la explotación minera artesanal de oro en la quebrada Minatapada, municipio de El Tambo.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Comparar la estructura y composición de macroinvertebrados en 2 zonas (antes y después de la explotación minera).
- Identificar las variaciones en las características fisicoquímicas hídricas de la quebrada.
- Establecer el impacto de la minería artesanal sobre las aguas de la quebrada Minatapada.

## **4. MARCO CONCEPTUAL**

Para el presente estudio se consideró como marco conceptual los conocimientos que desde limnología y específicamente de la caracterización física, química y biológica de los ecosistemas lóticos.

### **4.1. VARIABLES FISICOQUÍMICAS**

Los criterios de calidad de agua y las medidas de integridad biológica forman parte de la determinación de la integridad ecológica del sistema acuático. El análisis global de los parámetros físico-químicos de los ríos requiere especial interés ya que cuyo análisis integrado permite una visión preliminar concreta sobre la calidad del agua y una clasificación de los mismos en función de su variación espacial y temporal.

#### **4.1.1. Temperatura**

Es uno de los factores ambientales que más influye en la proliferación y supervivencia de los microorganismos. A medida que la temperatura aumenta, se incrementa también sus reacciones enzimáticas y las tasas de reproducción (Roldan & Ramírez, 2008).

El cambio de temperatura de un cuerpo de agua afecta en forma directa a la solubilidad de los gases, sales y por tanto a la conductividad eléctrica y determinación del pH.

#### **4.1.2. pH**

Cada organismo tiene un rango de pH dentro del cual su crecimiento se hace posible. La mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales tienen un pH que oscila entre 5 y 9. Muy pocas especies pueden crecer en rangos de pH inferiores a 2 o superiores a 10 (Roldan & Ramírez, 2008).



#### **4.1.3. Oxígeno disuelto (OD):**

El Oxígeno disuelto es el elemento gaseoso más importante dentro del objeto de estudio. Proviene de la mezcla del agua con el aire, ocasionada por el viento y/o, en la mayoría de los casos, principalmente el oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos de fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno como la de cualquier otro gas en el agua, depende de la presión atmosférica imperante en cada sitio, de la temperatura media del cuerpo de agua y de su contenido en sales disueltas. En términos generales, la solubilidad del O<sub>2</sub> en el agua es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la concentración de sales disueltas.

([http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap16.pdf](http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap16.pdf). visitado en octubre 20 de 2011).

#### **4.1.4. Dióxido de Carbono:**

Es el segundo gas en importancia presente en el agua. Se origina por los intercambios gaseosos atmósfera – ecosistema acuático, la descomposición de la materia orgánica, por la respiración de los animales y las plantas y por el arrastre que hace el agua lluvia a los ecosistemas.

([http://www.unapiquitos.edu.pe/intranet/pagsphp/docentes/archivos/Limnologia.GU IA%20DE%20TRABAJO%20DE%20CAMPO?PHPSESSID=1198c22c229a9aa4c8306c5b6137bc9d](http://www.unapiquitos.edu.pe/intranet/pagsphp/docentes/archivos/Limnologia.GU%20IA%20DE%20TRABAJO%20DE%20CAMPO?PHPSESSID=1198c22c229a9aa4c8306c5b6137bc9d). visitado en octubre 26 de 2011).

#### **4.1.5. Conductividad**

Al determinar la conductividad, se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente

determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que ese sustrato está compuesto por materiales que no se ionizan. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad.

La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados.

([http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf) visitado en octubre 26 de 2011).

#### **4.1.6. Dureza total**

La dureza es una propiedad que refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua. De estos elementos, el calcio y el magnesio constituyen los principales metales alcalinotérreos en aguas continentales, mientras que el bario y el estroncio se presentan, adicionalmente a los anteriores en cuerpos de agua con algún tipo de asociación marina.

([http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap11.pdf](http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap11.pdf) visitado en octubre 26 de 2011).

#### **4.1.7. Nitrógeno**

La fuente principal de nitrógeno es el aire, donde representa el 79% del 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 fijadora de ciertas bacterias. Las plantas y las algas lo toman como nitratos principalmente, aunque muchos organismos lo pueden absorber como amonio durante la síntesis de proteínas y lo incorporan en sus tejidos. Cuando mueren los organismos, las biomoléculas nitrogenadas se mineralizan en amonio y luego en nitritos y por último en nitratos.

En un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos, en lugar de la forma oxidada. La presencia de nitritos y de amonio, es un indicio de reciente contaminación orgánica o de que existen procesos reductivos predominantes que afectan la disponibilidad de este elemento vital (Roldan, 2003).

#### **4.1.8. Cianuro**

El cianuro se encuentra generalmente combinado con otros productos químicos formando compuestos. Ejemplos de compuestos simples de cianuro son el ácido cianhídrico, el cianuro de sodio y el cianuro de potasio. El cianuro puede ser producido por ciertas bacterias, hongos y algas, y ocurre en un sinnúmero de alimentos y plantas.

El ácido cianhídrico es un gas incoloro con un ligero aroma amargo almendrado. El cianuro de sodio y el cianuro de potasio son sólidos blancos de aroma amargo almendrado en aire húmedo. El cianuro y el ácido cianhídrico se usan en enchapados electrolíticos, industria metalúrgica, manufactura de productos químicos, desarrollo de fotografías, fabricación de plásticos, fumigación de barcos y en ciertos procesos de minería.

([http://www2.udec.cl/matpel/toxfaq\\_espanol/CIANURO.pdf](http://www2.udec.cl/matpel/toxfaq_espanol/CIANURO.pdf)).

El principal efecto nocivo y letal de las diversas variedades de cianuro es el impedir que el oxígeno portado por los glóbulos rojos pueda ser utilizado como aceptor de hidrógeno en el final de la cadena respiratoria intramitocondrial (Ramírez, 2010).

## **4.2 MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS BENTÓNICOS**

Los macroinvertebrados acuáticos 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 tamaño. El prefijo macro indica que esos organismos son retenidos por redes de tamaño entre 200–500 mm y además, superan en fase adulto o último estado larvario los 2.5 mm. Este grupo incluye taxones como: Moluscos, Crustáceos (Anfípodos, Isópodos y Decapodos), Turbellarios, Oligoquetos, Hirudineos y fundamentalmente insectos entre los cuales se encuentran coleópteros, hemípteros, efemerópteros, plecópteros, odonatos, dípteros, neurópteros y tricópteros. Estos organismos viven sobre el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas, y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie (Roldán, 1988).

En la ecología de los ríos, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es de principal importancia para el entendimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, como eslabón fundamental de la cadena trófica sirviendo de alimento a los peces, así como a las aves y anfibios asociados al medio acuático; como indicadores biológicos de la calidad del agua y como componentes del sistema acuático aportando riquezas y diversidad. Además, esta comunidad también provee una importante herramienta para monitoreos y programas de manejo (Roldan, 2010).

Los macroinvertebrados son habitantes de dos tipos de ecosistemas de aguas dulces muy distintos entre sí: ecosistemas Lénticos o de aguas tranquilas y Lóticos o de aguas rápidas, representados por una fauna numerosa de especies de artrópodos, anélidos y moluscos. Dentro de los artrópodos (insectos y ácaros) se desarrollan interacciones biológicas muy interesantes y en la mayoría de los insectos que viven a orillas de los arroyos (como odonatos, dípteros, y tricópteros) sus larvas viven entre los intersticios de los fondos de los arroyos (Roldán, 1992).

### **4.3 BIOINDICACIÓN.**

La bioindicación es una técnica de evaluación ambiental que a lo largo de los años se ha venido consolidando como método para la detección y control de la alteración de un determinado ecosistema. Así, desde hace más de dos décadas se están desarrollando métodos de bioindicación que han analizado la salud ambiental del aire, suelo y agua de los más variados entornos.

Esta técnica consiste en la utilización de organismos vivos, ya sean animales o vegetales, para medir y controlar la contaminación de un entorno determinado. Los indicadores biológicos reaccionan de una manera concreta ante ciertos agentes contaminantes, y se convierten en unos libros de instrucciones en los que los científicos leen el tipo de contaminante y el grado de toxicidad ([http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/2002/01/06/36494.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2002/01/06/36494.php). visitado el 4 de diciembre de 2011).

#### **4.3.1. Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores**

El estudio de los macroinvertebrados de aguas continentales, comprende todos aquellos organismos que se pueden observar a simple vista. 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 grupos más representativos son los poríferos, celenterados, platelmintos, nematomorfos, anélidos, moluscos, insectos, crustáceos y arácnidos.

Los macroinvertebrados son considerados como los mejores bioindicadores de calidad de agua, tal como lo menciona Ghetti & Bonazzi (1981) en el libro "Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia" (Roldan, 2003). Las razones para considerarlos como los mejores son las siguientes:

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones locales.
- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos, como las bacterias, virus, entre otros.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales en corto tiempo.
- Proporcionan información para integrar efectos acumulativos.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se pueden cultivar en el laboratorio.
- Responden rápidamente a los tensores ambientales.
- Varían poco genéticamente.

#### **4.3.2. El BMWP para Colombia (BMWP/Col.)**

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se requiere invertir. El método solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Roldan, 2003).

Zamora (2007) adaptó el índice BMWP, ampliando el número de familias a emplear con bases en numerosos estudios de ecosistemas regionales colombianos, mejorando notable la calificación del índice.

Los valores obtenidos por la presencia – ausencia de las diversas familias, se compara con la tabla propuesta (tabla 1) por para determinar en qué rango se encuentra el río y así determinar la calidad del agua, tal como se indica a continuación.

**Tabla 1.** Clases, Valores y Características para las aguas clasificadas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia.

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	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja 
VI	≤15	Muy Critica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo 

**Fuente:** Zamora H. 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 – ACCB Número 19, 2007. ISSN 0120-4173.

## 5. ANTECEDENTES

En Europa y Estados Unidos se han realizado numerosos estudios relacionados con el efecto de la explotación minera sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, algunos de los cuales se reseñan a continuación:

- **Efecto de la contaminación minera sobre la comunidad de macroinvertebrados de la cuenca del río Guadiamar.** Carolina Solà Departament d'Ecologia Universitat de Barcelona. La mañana del 25 de abril de 1998, la pared de la balsa de residuos de las minas de Aznalcóllar se rompió, derramándose al río Guadiamar, a través de su afluente, el Agrio, más de cinco millones de metros cúbicos de lodos y agua ácida, con elevadas concentraciones de metales. El efecto inmediato de la riada tóxica fue la muerte de las comunidades acuáticas, a lo largo de los 60 km afectados. Con este estudio se puede ver cómo los efectos de las minas de Aznalcóllar sobre la comunidad de macroinvertebrados de los ríos Agrio y Guadiamar son aún muy negativos, debido tanto al accidente que hubo en abril de 1998 como a la propia presencia de la mina en la zona.
- **Ecotoxicidad del agua de los ríos afectados por el vertido minero de Aznalcóllar evaluada mediante los macroinvertebrados *Chironomus riparius* y *Ephoron virgo*.** Marc Plans, Narcís Prat. 1998. Se concluye que los test eco toxicológicos con *Ephoron virgo* y *Chironomus riparius* se muestran como una potencial herramienta para evaluar la contaminación minera de efluentes y ríos y que, después de más de dos años de la catástrofe de Aznalcóllar, persiste una elevada toxicidad aguda en la zona próxima a la explotación minera.
- **Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de**



**los ecosistemas fluviales españoles.** Ecosistemas 14 (3): 87-99. Septiembre 2005. A. Alonso, J.A. Camargo. Dpto. Interuniversitario de Ecología. Sección de Alcalá. Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá. E-28871, Alcalá de Henares, España.

Los estudios en España han mostrado cómo las actividades mineras producen una reducción del número de taxones de macroinvertebrados pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (riqueza EPT) aguas abajo de una mina abandonada de cinc y plomo en un río del País Vasco. Se encontró que algunas especies de efemerópteros y tricópteros, son en general más tolerantes a la contaminación minera y la toxicidad de los metales pesados que los gasterópodos y los crustáceos.

También se han encontrados algunos trabajos para América del Sur, tales como:

- **MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y METALES PESADOS EN EL RÍO PILCOMAYO (TARIJA, BOLIVIA).** Rev. Bol. Ecol. 18: 17- 32, 2005. Claudia Oller y Edgar Goitia. Encuentran que el río Pilcomayo presenta concentraciones altas de metales pesados en el agua, especialmente en la primera época seca, lo que demuestra que la contaminación minera en la cuenca alta, tiene una influencia sobre esta parte del río, siendo quizás la causa de la baja riqueza genérica observada.
- **Informe técnico sobre el impacto de la minera Talcuna, en el sector de Marquesa del valle del Elqui, sobre las comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas. sesión de muestreo de Octubre 2007.** En donde se llega a la conclusión que los resultados de esta primera sesión de muestreo no permiten poner en evidencia un impacto de la minera sobre las comunidades de macroinvertebrados.

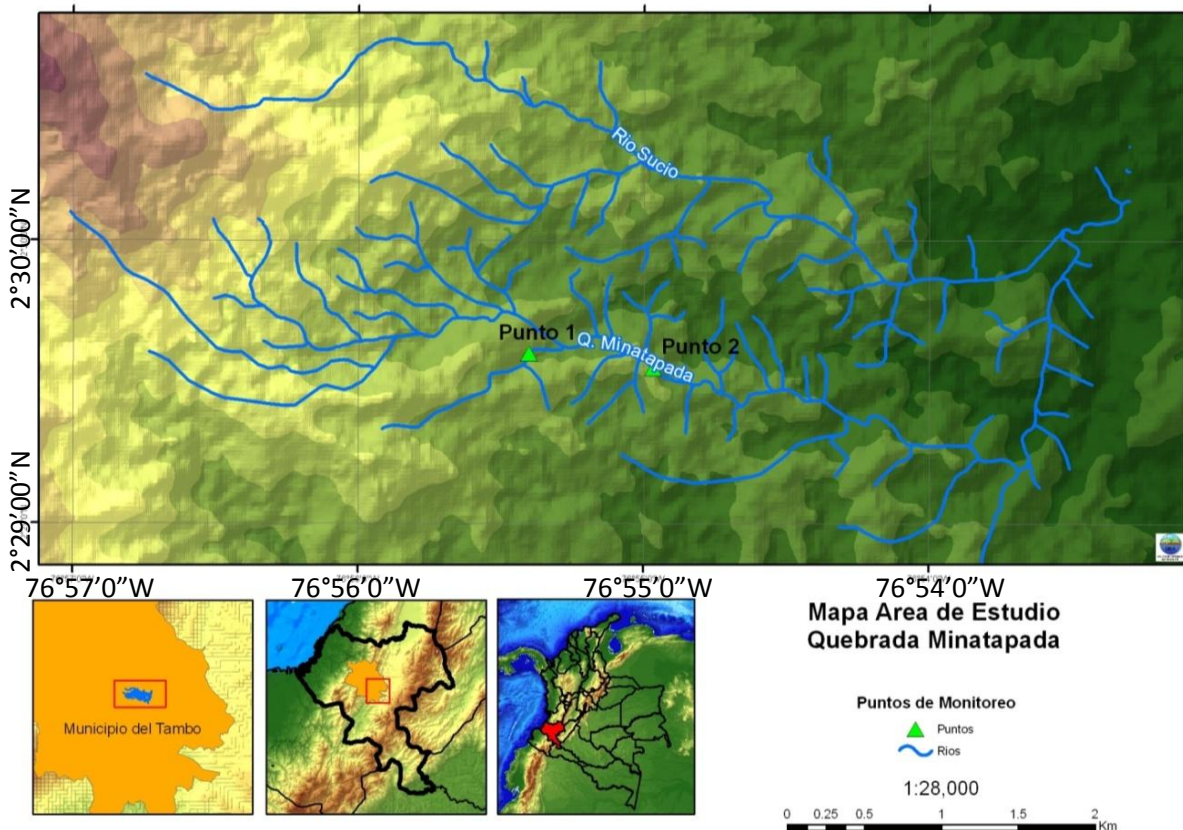
Los estudios relacionados con macroinvertebrados en zonas mineras de Colombia son realmente escasos, dado revisión de bases de datos bibliográficos no arrojó grandes resultados al particular. Sin embargo aquí se menciona lo hallado:

- **Efecto de vertimientos de minas de carbón sobre la entomofauna acuática y la calidad del agua en la quebrada el Chocho, (Valle del Cauca, Colombia).** Tesis de Grado. Universidad del Valle. 2009. En este trabajo se incluye el efecto ambiental de las minas de carbón, tomando a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua.
- **Diagnostico geológico, minero, ambiental, social y económico - distrito minero de Fondas - El Tambo Cauca.** Julio de 2003. En este trabajo se muestra el deterioro de las aguas de las cuencas y microcuencas de Fondas mediante análisis fisicoquímico. las aguas no son aptas para consumo humano una vez entran a la zona minera.

## 6. DISEÑO METODOLOGICO

### 6.1 Descripción del área de estudio

El corregimiento de Fondas se encuentra ubicado dentro del municipio de El Tambo, al suroccidente del Departamento del Cauca. La temperatura media anual de la vereda varía desde los 17 a los 22°C, las elevaciones van desde 1800 m.s.n.m. hasta los 2000 m.s.n.m. y una precipitación que puede alcanzar los 2.126 mm al año. No existen estaciones de origen térmico sino que están controladas por la magnitud de las lluvias, lo cual produce un clima tropical húmedo de temperatura media – fría (CRC, 2003). La zona de vida según Holdridge (1967) es una transición entre bosque muy húmedo montano bajo (bmh - MB) y bosque muy húmedo premontano (bmh - PM).



**Figura 1.** Quebrada Minatapada con las respectivas Zonas de estudio. Fuente: Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca (GEA).

## 6.2 Fase de campo

El trabajo de campo se realizó durante los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y agosto de 2012. Constó de 5 muestreos con una frecuencia de 1 por mes. Se establecieron dos zonas de muestreo, así: primera, antes de las explotaciones mineras, segunda después de las explotaciones mineras.

### Zona 1.

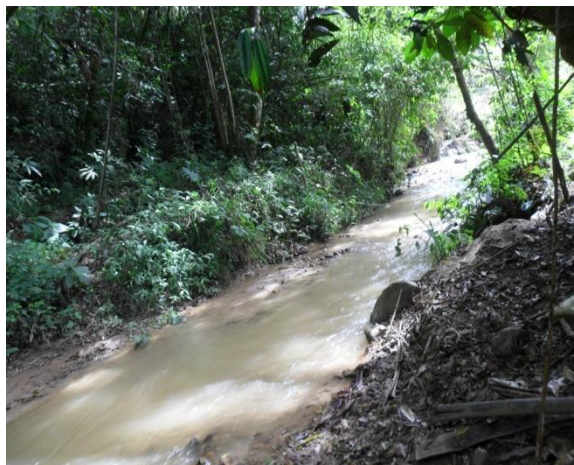
Esta parte de la quebrada Minatapada se encuentra ubicada N 2° 29.6" W 76°55.4" a una altura de 2010 m.s.n.m. (figura 1). El cauce muestra sustrato rocoso, así como gravas y arenas, con retención de hojarasca. En los alrededores se observa vegetación ripariana arbórea y arbustiva (figura 2). Aguas arriba de esta zona de trabajo se encuentra una plantación forestal de Eucalipto.



**Figura 2.** Zona 1. Zona bastante pedregosa, con aguas claras.

## **Zona 2.**

Está localizado N 2°29.5" W 76°55.1" a una altura de 1937 m.s.n.m. (figura 1) y a 1 Km de la zona 1. Se observan aguas bastante turbias (figura 3). Para llegar a esta zona hay que pasar por varias minerías de oro, excavaciones y desviaciones del cauce. Se observa igualmente vegetación ripariana arbórea, arbustiva y pequeñas áreas herbáceas en las zonas más despejadas.



**Figura 3.** Zona 2. Área con vegetación de todos los estratos, aguas turbias.

### **6.2.1 Caracterización fisicoquímica hídrica.**

La determinación se realizó mediante métodos fotométricos, colorimétricos y potenciométricos estándar (APHA, 1992) empleando sonda multiparamétrica YSI, sonda multiparamétrica Hach, espectrofotómetro, kits de análisis Aquamerck y Aquaquant de Merck.

Se realizaron análisis para los parámetros de:

PARAMETRO	UNIDAD	METODO
<b>Temperatura Hídrica</b>	° Celsius	Potenciométrico
<b>Conductividad</b>	μS/cm	Potenciométrico
<b>Oxígeno</b>	mg/L	Potenciométrico
<b>Dióxido de carbono</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>pH</b>		Potenciométrico
<b>Alcalinidad</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>Dureza total</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>Dureza carbonácea</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>Acidez</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>Nitritos</b>	mg/L	Potenciométrico
<b>Nitratos</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>Amonio</b>	mg/L	Fotométrico
<b>Fosfatos</b>	mg/L	Fotométrico
<b>Cianuro</b>	mg/L	Fotométrico
<b>TDS</b>	mg/L	Fotométrico
<b>Calcio</b>	mg/L	Colorimétrico
<b>Turbiedad</b>	UNF	Fotométrico
<b>DQO</b>	mg/L	Fotométrico

### **6.2.2 Colecta de los macroinvertebrados**

Para capturar los macroinvertebrados acuáticos se empleó una red Surber de 50 cm<sup>2</sup> (para muestras cuantitativas) repitiendo el muestreo para abarcar en total 3 m<sup>2</sup> por área de muestreo teniendo en cuenta los diferentes sustratos existentes (hojarasca, arena, macrófitas, etc.), así como también las diferentes profundidades. Además de esto, se realizó colecta manual de los organismos en el área de muestreo con el fin de obtener un muestreo más representativo.

Los organismos fueron colectados con pinzas metálicas, envasados en frascos transparentes de plástico, preservados con alcohol etílico al 70%, se rotularon y se transportaron al laboratorio para su identificación y conteo.

### **6.3 Fase de laboratorio**

En el laboratorio del Grupo de Estudios de Recursos Hidrobiológicos Continentales (GERHC) se trabajaron las muestras colectadas, tanto las biológicas como las aguas que requirieron pruebas de análisis fisicoquímico.

Los macroinvertebrados colectados se clasificaron con claves taxonómicas entre las cuales se encuentran las de Roldan, (1988; 1996) y Domínguez & Fernández, (2009) con el fin de llegar al taxa más pequeño, que para el presente estudio fue a nivel de género. De esta manera se pretende saber qué hay y qué tanto hay en cuanto a macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Minatapada.

Con los datos obtenidos se calcularon los índices de diversidad, similitud, complementariedad y BMWP. Con base en la información bibliográfica, se estableció el carácter bioindicador de los taxa colectados.

#### **6.4 Tratamiento estadístico de datos**

Los resultados obtenidos en el presente estudio se presentan en tablas elaboradas en Microsoft Excel y se realizan pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis, U de Man-Whitney, chi cuadrado) para establecer si las variaciones en tiempo y espacio observados para los diversos parámetros son estadísticamente significativas, empleando el paquete de análisis estadístico SPSS versión 11.5

Para determinar la biodiversidad se aplicó el índice de Shannon Weaver ( $H'$ ) elaborado en Microsoft Excel.

También se aplicó el índice de similitud de Sorensen y el índice de Bray Curtis para determinar similitudes de macroinvertebrados entre las zonas y meses de muestreo. Del mismo modo se empleó el índice de Bray Curtis para determinar la similitud entre las variables fisicoquímicas, esto mediante el software Biodiversity Pro.

Igualmente, se realizó el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) mediante el software Statistical con el fin de establecer si los cambios en los parámetros físico químicos se relacionan con las variaciones de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.



## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Se colectó en total 912 individuos repartidos en 11 órdenes, 36 familias y 54 géneros (tabla 2). Los órdenes más abundantes en la quebrada Minatapada fueron Trichóptera 35% (317 ind), Coleóptera 21% (195 ind), Plecóptera 17% (158 ind).

En la zona 1 el Orden con más géneros es Coleóptera (34%), seguido por Díptera (20%) y Ephemeroptera (13%) (Figura 4).

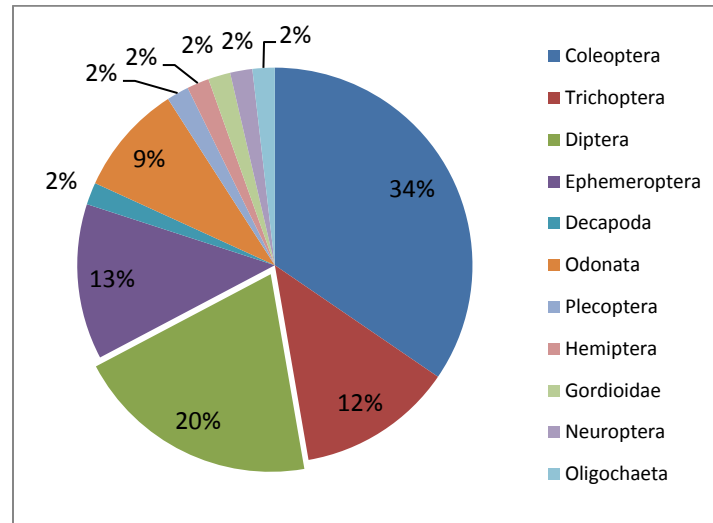
De las 36 familias presentes en la quebrada, la más abundante fue Hydropsychidae con el 29% (256 ind), seguido por Perlidae 18% (158 ind) y Tricorythidae 10% (63 ind), siendo los géneros más abundantes *Leptonema* con el 24% (222 ind), *Anacroneuria* 17% (158 ind), *Anchitarsus* 14% (124 ind) (figura 5).

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados hallados en ambas zonas de estudio.

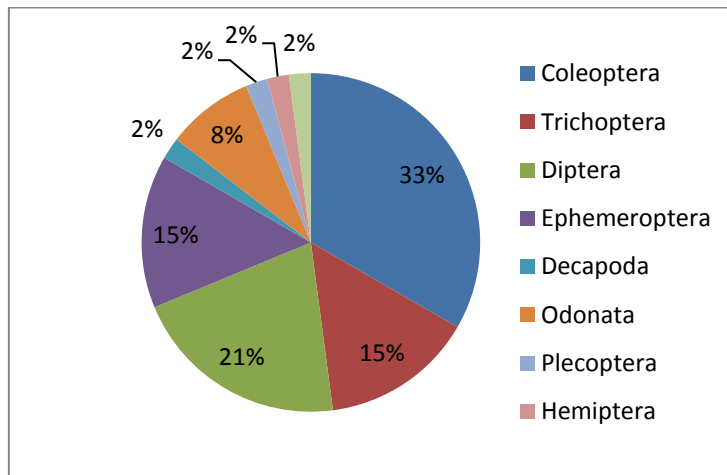
Orden	Familia	Género	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Total
			z1	z2	z1	z2	z1	z2	z1	z2	Z1	z2	
Coleóptera	Elmidae	<i>Disersus</i>	1	0	1	0	2	1	4	0	2	0	11
		<i>Cylloepus</i>	4	0	1	1	6	0	0	0	7	0	19
		<i>Heterelmis</i>	0	0	0	0	8	0	4	0	0	0	12
		<i>Phanocerus</i>	0	0	0	0	0	1	5	0	1	0	7
		<i>Macrelmis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		<i>Zaitzevia</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
		<i>Microcylloepus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Ptilodactilidae	<i>Anchitarsus</i>	8	4	3	1	44	9	30	8	12	5	124
	Dryopidae	<i>Elmoparnus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		<i>Dineutus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
	Gyrinidae	<i>Andogyrus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		<i>Gyrinus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		<i>Helophorus</i>	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	6
	Curculionidae	<i>Mft.1</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Lampyridae	<i>Mft.2</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Psephenidae	<i>Ectopria</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	Limnichidae	<i>Eulimnichus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Hydrophilidae	<i>Cymbiodyta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
		<i>Hydrochara</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Leptonema</i>		4	29	1	6	40	32	26	50	28	6	222	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	4	0	1	3	2	2	2	6	14	0	34
		<i>Atopsyche</i>	2	0	2	0	6	0	2	0	0	0	12
	Hydrobiosidae	<i>Helicopsyche</i>	1	0	3	0	5	0	11	0	5	0	25
	Helicopsychidae	<i>Mortoniella</i>	10	0	2	0	7	0	0	1	0	0	20
	Glossosomatidae	<i>Ochrotrichia</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Hydroptilidae	<i>Phylloicus</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3
	Calamoceratidae	<i>Hexatoma</i>	1	0	0	0	2	0	1	0	2	0	6
Diptera	Tipulidae	<i>Molophilus</i>	0	0	0	0	1	0	4	0	2	0	7
		<i>Limonia</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		<i>Tipula</i>	0	2	1	2	10	1	8	4	5	0	33

	Empididae	<i>Hemerodromia</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	0	0	0	0	1	0	3	0	2	0	6
	Blepharoceridae	<i>Agathon</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Tabanidae	<i>Tabanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
	Ceratopogonidae	<i>Probezzia</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
	Chironomidae	<i>Mft.3</i>	1	0	1	1	3	1	1	0	3	0	11
		<i>Mft.4</i>	0	0	0	0	0	1	4	1	0	0	6
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Moribaetis</i>	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	4
		<i>Baetodes</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3
		<i>Baetis</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	5
		<i>Terpides</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>	2	9	2	1	26	10	9	1	2	1	63
	Oligoneuridae	<i>Lachlania</i>	0	2	8	0	6	1	0	0	1	0	18
Decapoda	Pseudotepulsidae	<i>Hypolobosera</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Polythoridae	<i>Polythore</i>	0	0	0	0	4	0	7	0	5	0	16
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	0	0	0	3	0	1	0	4	0	0	8
	Coenagrionidae	<i>Telebasis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
		<i>Progomphus</i>	1	2	1	1	1	1	3	0	1	2	13
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	9	9	7	3	27	2	46	0	55	0	158
Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	0	0	4	0	1	0	0	0	1	0	6
Gordioidae	Chordodidae	<i>Neochordodes</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	0	3	0	2	0	5	0	6	0	2	18
Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
											Total	912	

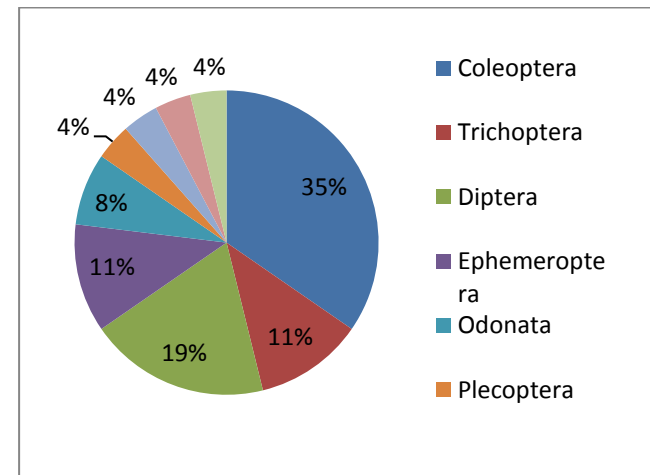
Z1: zona 1; Z2: zona 2; Mft: Morfotipo



**A.**

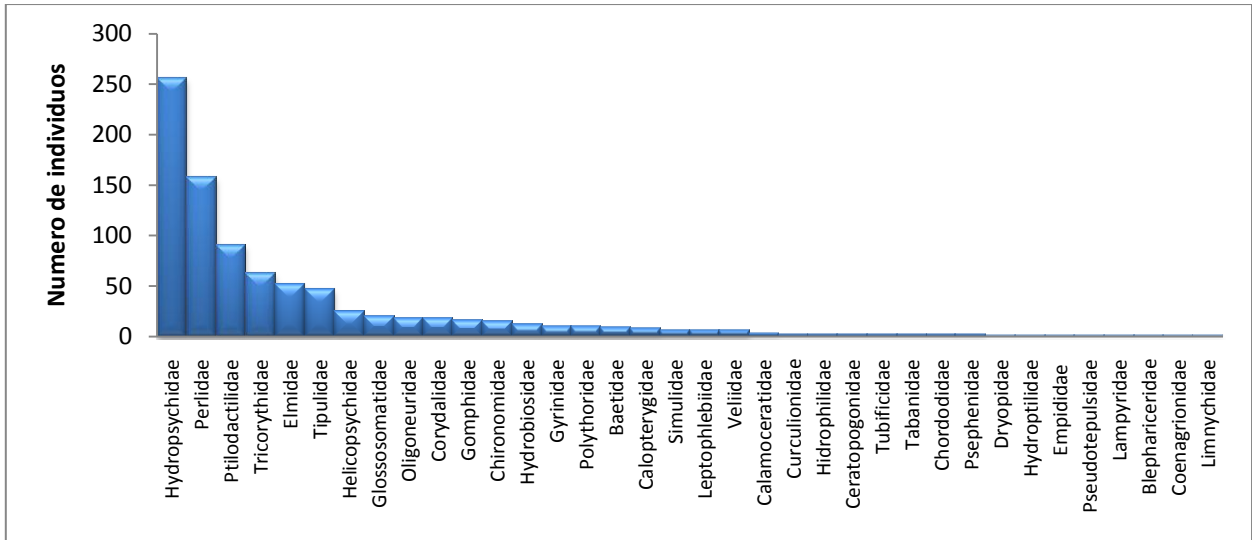


**B.**



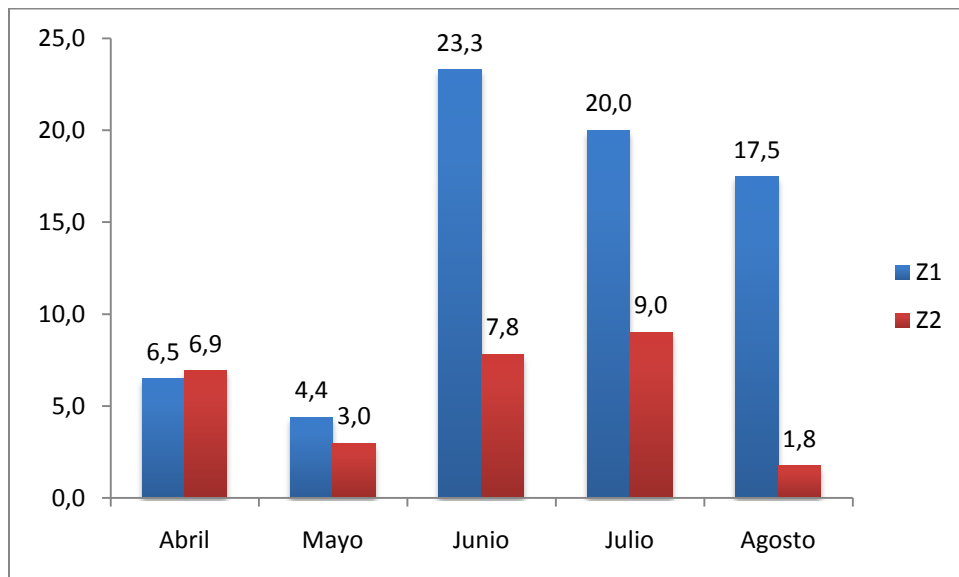
**C.**

**Figura 4.** **A.** composición de géneros por orden de macroinvertebrados hallados en la quebrada. **B y C.** composición de géneros por orden de macroinvertebrados hallados en las zonas 1 y 2 respectivamente.

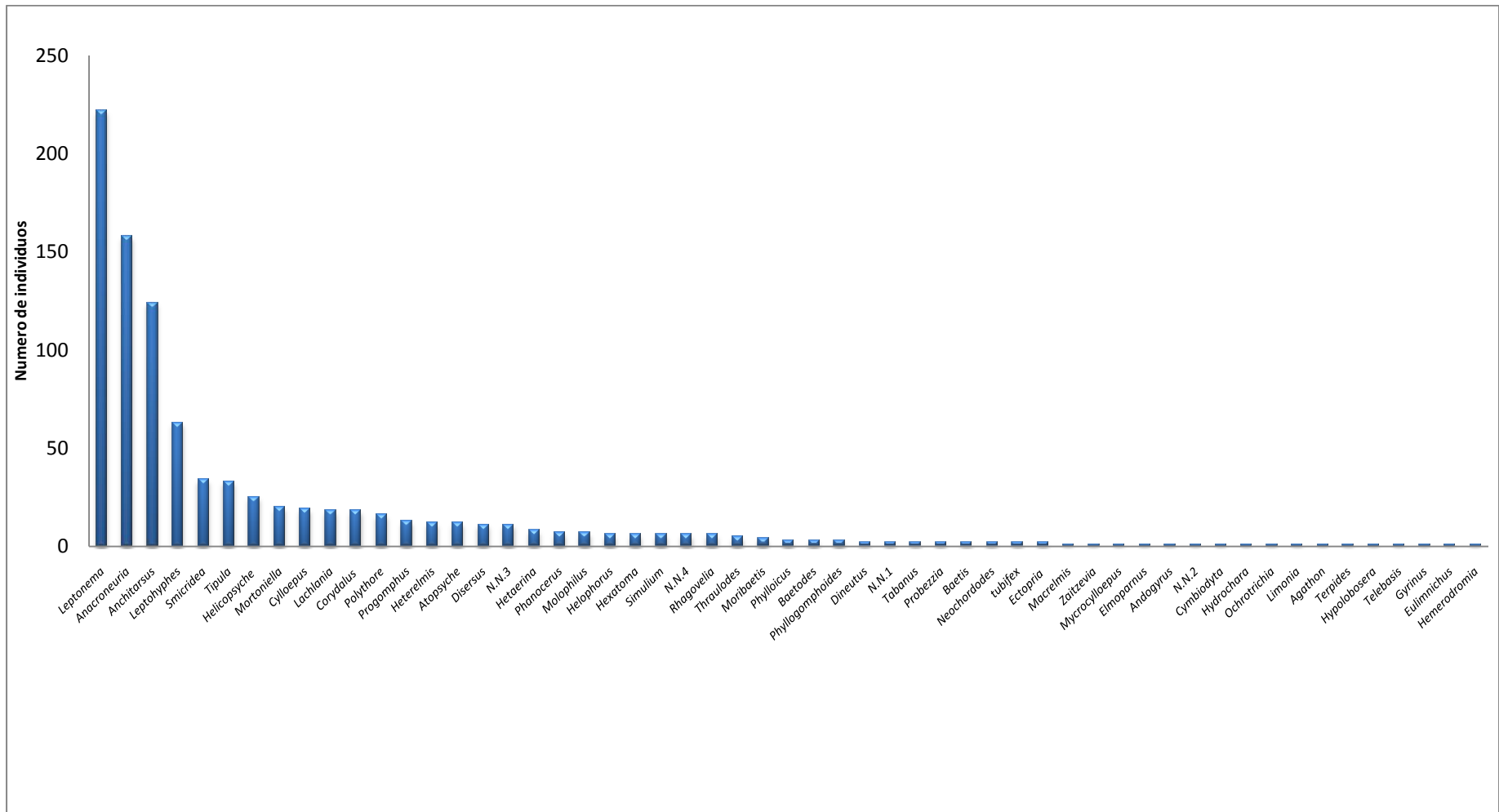


**Figura 5.** Composición de familias en el área de estudio.

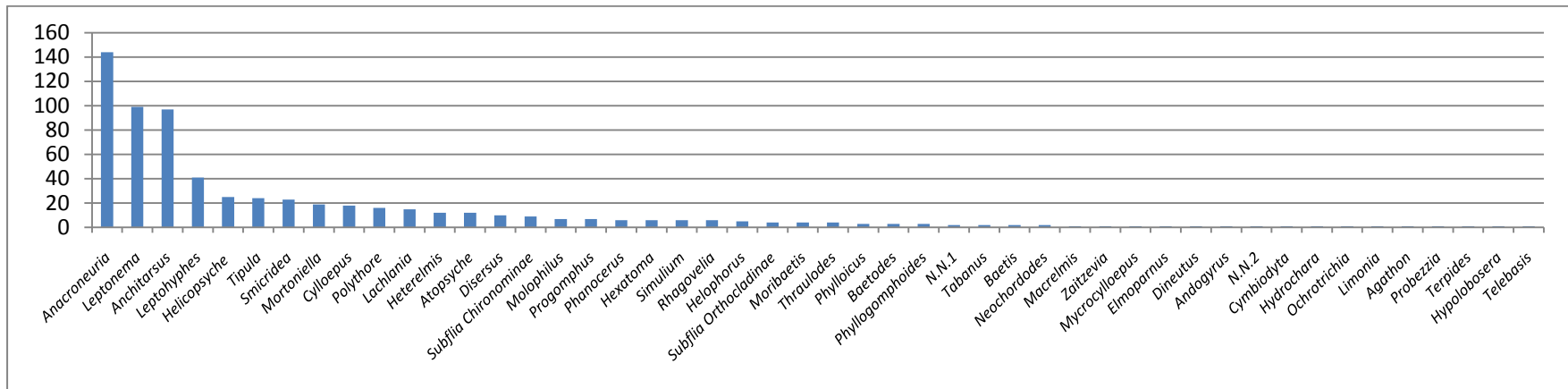
De los 912 individuos colectados pertenecientes a 54 géneros (figura 7), 652 (70,4%) correspondientes a 48 géneros fueron hallados en la zona 1 (figura 8), mientras que los 260 (29,6%) correspondientes a 25 géneros restantes fueron hallados en la zona 2. En la mayoría de los meses la abundancia fue mayor en la zona 1 (figuras 6, 8 y 9).



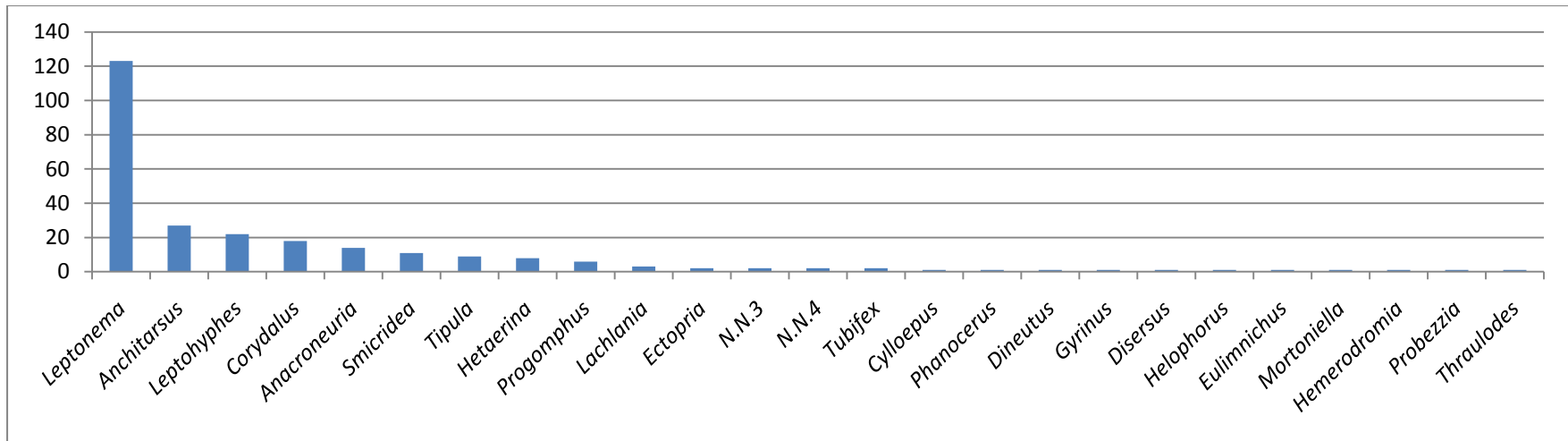
**Figura 6.** Abundancia de géneros



**Figura 7.** Composición de géneros hallados en la quebrada Minatapada.

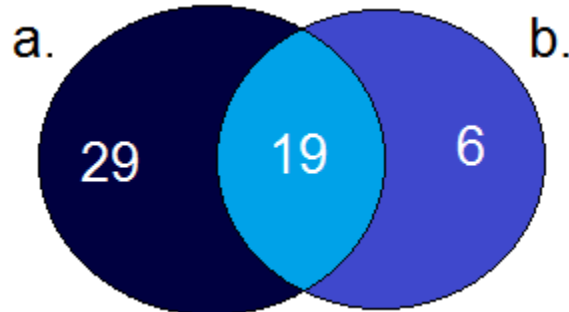


**Figura 8.** Composición de géneros hallados en la zona 1.



**Figura 9.** Composición de géneros hallados en la zona 2.

Los géneros que están en la zona 1 y que no están en la zona 2 son 29, mientras que los géneros que están en la zona 2 y no en la zona 1 son 6. Los géneros que se encuentran en ambas zonas de muestreo son 19 (figura 10).



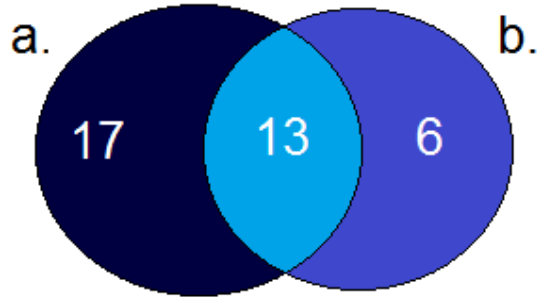
**Figura 10.** Ilustración de la distribución de géneros en las zonas de muestreo.

a. Zona 1, b. Zona 2.

Además de la disminución en el número de géneros y que solo 19 géneros son compartidos, el número de individuos varía drásticamente; así por ejemplo, *Anacroneuria* (Plecóptera) que presenta 144 individuos en la zona 1, tan solo presenta 14 individuos en la zona 2. *Leptohyphes* (Ephemeroptera) presenta 41 individuos en la zona 1 y 22 en la zona 2, indicándose diferencias significativas entre las dos zonas. Dado que la distancia entre las zonas de muestreo es relativamente corta (1 Km) y que el área de estudio corresponde a una misma zona de vida, se presume que las variaciones se deben al efecto de la actividad minera.

Respecto de las Familias, se encontró que hay 17 familias que se encuentran en la zona 1, pero que no están la zona 2, mientras que 6 que están en la zona 2 no están en la zona 1. Las dos zonas de muestreo comparten sólo 13 familias. (Figura 11, Tabla.3).





**Figura 11.** Ilustración de la distribución de familias presentes en las zonas de muestreo. a. Zona 1, b. Zona 2.

**Tabla 3.** Distribución de las Familias por zonas de muestreo.

FAMILIAS ZONA 1	FAMILIAS COMUNES	FAMILIAS ZONA 2
<b>Ceratopogonidae</b>	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae
<b>Chironomidae</b>	Chironomidae	Chironomidae
<b>Elmidae</b>	Elmidae	Elmidae
<b>Glossosomatidae</b>	Glossosomatidae	Glossosomatidae
<b>Gomphidae</b>	Gomphidae	Gomphidae
<b>Gyrinidae</b>	Gyrinidae	Gyrinidae
<b>Hydropsychidae</b>	Hydropsychidae	Hydropsychidae
<b>Leptophlebiidae</b>	Leptophlebiidae	Leptophlebiidae
<b>Oligoneuridae</b>	Oligoneuridae	Oligoneuridae
<b>Perlidae</b>	Perlidae	Perlidae
<b>Ptilodactilidae</b>	Ptilodactilidae	Ptilodactilidae
<b>Tipulidae</b>	Tipulidae	Tipulidae
<b>Tricorythidae</b>	Tricorythidae	Tricorythidae
<b>Baetidae</b>		Psephenidae
<b>Blepharoceridae</b>		Calopterygidae

<b>Calamoceratidae</b>	Empididae
<b>Chordodidae</b>	Corydalidae
<b>Coenagrionidae</b>	Tubificidae
<b>Curculionidae</b>	Limnichidae
<b>Dryopidae</b>	
<b>Helicopsychidae</b>	
<b>Hidrophilidae</b>	
<b>Hydrobiosidae</b>	
<b>Hydroptilidae</b>	
<b>Lampyridae</b>	
<b>Polythoridae</b>	
<b>Pseudotepulsidae</b>	
<b>Simulidae</b>	
<b>Tabanidae</b>	
<b>Veliidae</b>	

A pesar de que para calcular el índice BMWP se requiere solamente Familia, las abundancias muestran diferencias entre las dos zonas. Así, aunque las dos zonas comparten 13 familias, varias de éstas presentan diferencias en abundancia de individuos, por ejemplo: Perlidae (familia indicadora de buena calidad de agua) se encuentra en ambas zonas, pero en la zona 1 hay 144 individuos, mientras que en la zona 2 hay tan solo 14. De esta manera, aunque no se observen diferencias notables en el valor del índice, su aplicación e interpretación debe hacerse con cuidado.

La familia Psephenidae se halló en la zona 2, y no en la zona 1, cuando se esperaría lo contrario, pues esta familia es indicadora de aguas de buena calidad

(BMWP=10). Sin embargo el número de individuos no es muy representativo (2 ind).

En general, las familias que se encuentran en la zona 2 y no en la zona 1 presentan valores de BMWP relativamente altos (>5) excepto la familia Tubificidae (BMWP=1).

Para confirmar las diferencias se empleó la prueba de chi cuadrado ( $X^2$ ) aplicada a las familias halladas, ya que son estas las que determinan la calidad del agua mediante el índice BMWP/Col. Según esta prueba las familias no se distribuyen aleatoriamente, indicando que algunas prefieren o están en una única zona. Un ejemplo de esto son las familias Elmidae, Glossomatidae, Perlidae, que se encuentran en un valor mayor al 80% en la zona 1.

## 7.2 ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON WEAVER (H')

La tabla 4 muestra el Índice de diversidad de Shannon Weaver calculado para el área de estudio.

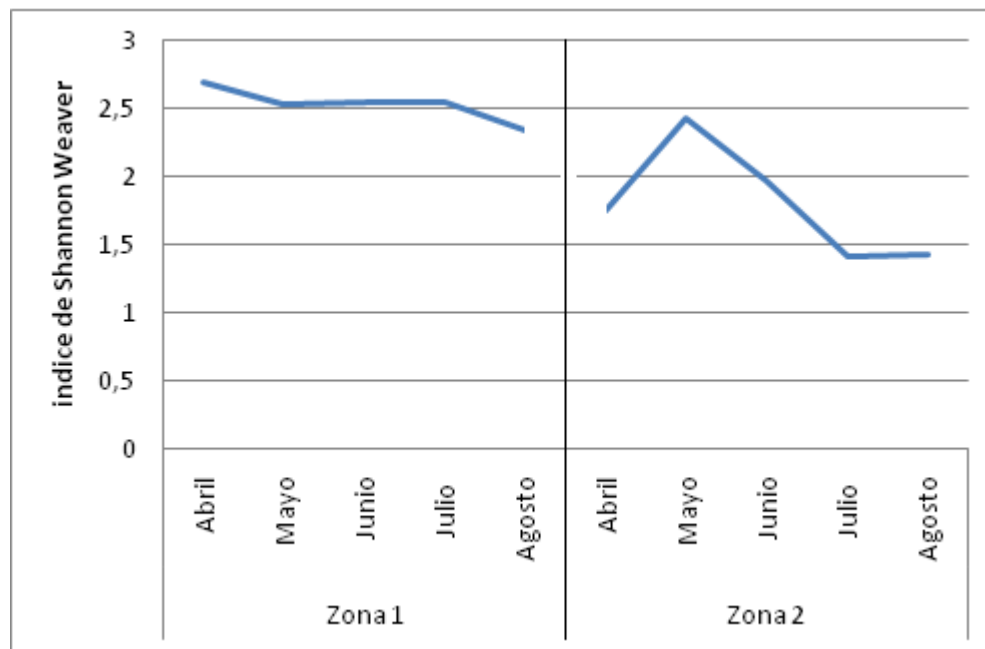
**Tabla 4.** Índice de Biodiversidad de Shannon Weaver (H').

Zona	Mes	H' / mes	promedio H'	
<b>zona 1</b>	Abril	2,69419652	2,520	Media
	Mayo	2,52506351		
	Junio	2,54002152		
	Julio	2,54241302		
	Agosto	2,34473368		
<b>zona 2</b>	Abril	1,75898363	1,801	Media
	Mayo	2,42877553		
	Junio	1,97235371		
	Julio	1,42101009		
	Agosto	1,42444278		

El índice de biodiversidad en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0 y 5. Siendo 0 el valor mínimo y 5 el máximo (puede haber ecosistemas con valores

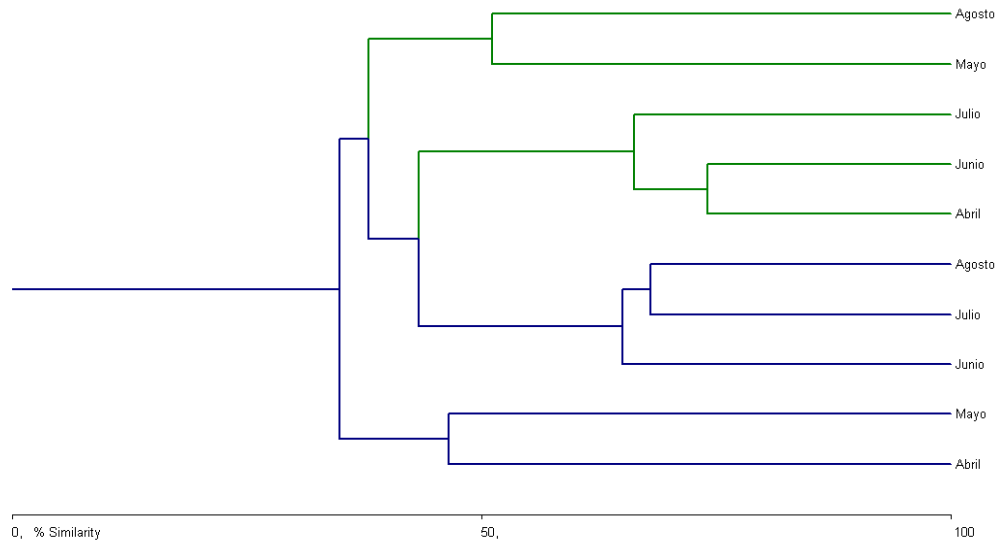
mayores como bosques tropicales). Los resultados de este índice muestran que ambas zonas de muestreo presentan mediana diversidad, sin embargo, la zona 1 presentó mayor diversidad que la zona 2 (tabla 4).

El índice de Shannon Weaver se comporta de manera diferente para ambas zonas de muestreo, por ejemplo; en la zona 1, en mayo disminuye la diversidad, mientras que en la zona 2 en este mismo mes es cuando se alcanza el valor más alto de diversidad (figura 12). En la zona 1, agosto es el mes en que hay menor diversidad, en la zona 2, son julio y agosto.



**Figura 12.** Valores del índice Shannon Weaver ( $H'$ ) para cada mes en ambas zonas de muestreo.

El índice de similitud de Sorensen arrojó un valor de 52,05%, correspondiente a una baja similitud, la cual se confirmó mediante el análisis de Bray Curtis utilizando el software Biodiversity Pro.



**Figura 13.** Índice de similitud de Bray-Curtis para los géneros de macroinvertebrados hallados. Azul: zona 1; Verde: Zona 2.

Al analizar la similitud de los macroinvertebrados de la zona 1 en los diferentes meses de muestreo, se observa que son julio y agosto los meses en que hay mayor similitud (aproximadamente del 60%) que a su vez se relacionan con junio a una similitud del 58%, sin embargo están bastante alejados de los meses de mayo y abril (figura 13). Se propone que las diferencias observadas se deben al efecto de las lluvias, ya que abril y mayo fueron meses de intensas lluvias, mientras que en julio y agosto se presentó un período seco fuerte, lo cual ocasiona variaciones en la distribución de los organismos, tanto en géneros como en números.

El análisis de la similitud de la zona 2 (verde) muestra que los meses con mayor similitud de géneros fueron abril y junio (aproximadamente del 75%), seguidos de julio con un 68%, mientras que agosto y mayo se encuentran alejados con una similitud del 50% (figura 13). Las variaciones observadas no se deben solamente al efecto climático, sino también por los efectos de la minería artesanal de oro, con las consecuentes descargas de materiales que generan cargas sólidas suspendidas, así como la presencia de materiales derivados de la explotación.

### 7.3 DETERMINACION DEL INDICE BMWP/COL (ZAMORA, 2007) y EPT.

La tabla 5 muestra los valores calculados para el índice BMWP/COL.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos para el BMWP/Col.

ZONA DE MUESTREO	MES	VALOR BMWP	X* POR 5 MESES	CALIDAD DEL AGUA	CARACTERISTICAS
1	Abril	127	135	Muy buena	Aguas muy limpias
	Mayo	113			
	Junio	153			
	Julio	141			
	Agosto	142			
2	Abril	77	67	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas
	Mayo	84			
	Junio	97			
	Julio	50			
	Agosto	40			

\*X: promedio.

Mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney se realizó la correlación entre las dos zonas de muestreo y el BMWP/Col obtenido para cada mes (Tabla 5). El resultado es significativo (sig: 0,008), por tanto si hay diferencias en la calidad del agua (medida con el índice BMWP) para cada zona de muestreo.

Empleando la prueba de Kruskal-Wallis (prueba no paramétrica para varias muestras) se comparó el BMWP/Col con los meses de muestreo para cada una de las zonas de trabajo, arrojando una diferencia no significativa (sig: 0,896), por tanto es muy similar la presencia de las familias de macroinvertebrados acuáticos en los 5 meses de muestreo para cada una de las zonas de estudio. Estos resultados fueron similares para los análisis físicos químicos hídricos que se presentan más adelante.

Complementariamente, se estableció el índice EPT, el cual se hace mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de una buena calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. El índice EPT es

el número total de los distintos taxa de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (<ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/strmRest/wshedCondition/EPTIndex.pdf>). Esta es una manera fácil de dar una calidad al agua. Los resultados obtenidos se extrapolan con la tabla dada.

**Tabla 6.** Resultado obtenido para el índice EPT.

ORDEN	N° de géneros	
	Zona 1	Zona 2
Trichoptera	7	3
Ephemeroptera	7	3
Plecoptera	1	1
Total	<b>15</b>	<b>7</b>

**Tabla 7.** Rangos del índice EPT y su correspondiente rango de calidad del agua.

Excelente	Bueno	medianamente bueno	aceptable	Pobre
>27	21-27	14-20	7-13	0-6

Los resultados obtenidos muestran que la zona 1 presenta aguas medianamente buenas, mientras que la zona 2 presenta aguas de calidad aceptable (tablas 6 y 7). Este índice corrobora el resultado obtenido con el BMWP/Col.

#### 7.4 CARACTERIZACIÓN FISICO QUIMICA HÍDRICA

Los valores para cada parámetro fisicoquímico se muestran a continuación:

**Tabla 8.** Valores obtenidos para las variables fisicoquímicas en la zona 1.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>X</b>	<b>D.E.</b>
<b>Conductividad</b>	<b>μS/cm</b>	40,8	33,7	35,5	35,7	8	30,74	12,98
<b>TDS</b>	<b>mg/L</b>	19,1	25,35	28,6	27,95	27,3	25,66	3,86
<b>pH</b>		6,97	7,19	6,97	7,06	7,69	7,176	0,30
<b>Oxígeno</b>	<b>mg/L</b>	8,17	8,37	8,16	8,55	8,44	8,338	0,17
<b>saturación O2</b>	<b>%</b>	108,8	108,7	107	108,2	106,8	107,9	0,94
<b>Dureza total</b>	<b>mg/L</b>	14	14	14,2	14	16	14,44	0,88
<b>Dureza carbonácea</b>	<b>mg/L</b>	17,8	80	46	60	90	58,76	28,59
<b>Nitrato</b>	<b>mg/L</b>	25	25	25	50	50	35	13,69
<b>Alcalinidad</b>	<b>mg/L</b>	50	20	30	60	50	42	16,43
<b>Calcio</b>	<b>mg/L</b>	2	6	4	6	8	5,2	2,28
<b>CO2</b>	<b>mg/L</b>	3,5	2,5	1,5	3	1,5	2,4	0,89
<b>Temperatura hidrica</b>	<b>°C</b>	16,6	16,8	17,2	15,7	15,7	16,4	0,67
<b>acidez</b>	<b>mg/L</b>	30	20	50	10	40	30	15,81
<b>Cianuro</b>	<b>mg/L</b>	0	0,001	0	0,002	0	0,0006	0,00
<b>Amonio</b>	<b>mg/L</b>	0	0	0	0,01	0	0,002	0,00
<b>Fosfatos</b>	<b>mg/L</b>	0	2	1	8	1	2,4	3,21
<b>Nitritos</b>	<b>mg/L</b>	0	0	0	0,01	0	0,002	0,00
<b>Turbiedad</b>	<b>UNF</b>	7	17	51	74	50	39,8	27,36
<b>DQO</b>	<b>mg/L</b>	136	100	1	36	34	61,4	55,00

X: promedio, d.e: desviación estándar.



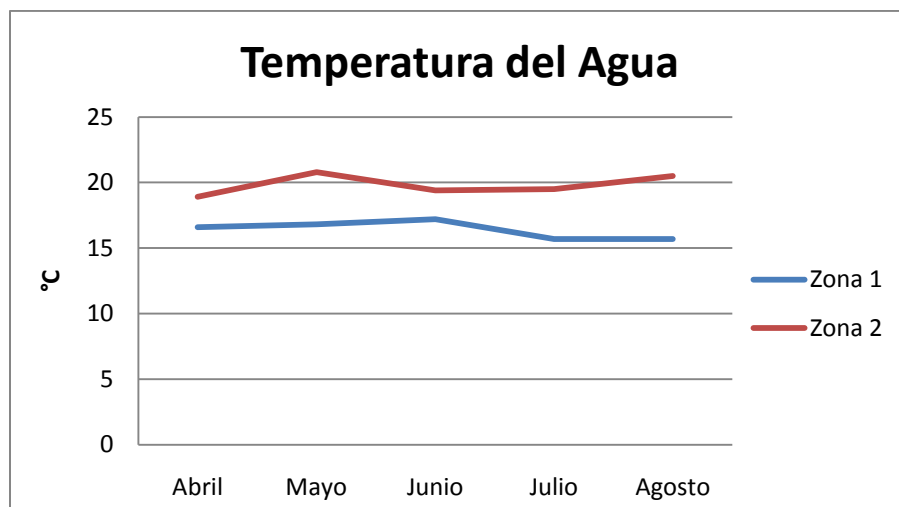
**Tabla 9.** Valores obtenidos para las variables fisicoquímicas en la zona 2.

Variable	Unidad	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	X	D.E.
Conductividad	µS/cm	36,7	40,1	44,4	43,4	55,7	44,06	7,1745
TDS	mg/L	19,56	21,55	31,2	30,55	38,35	28,24 2	7,6878
pH		6,76	7,09	6,78	7	6,71	6,868	0,1666
Oxígeno	mg/L	7,92	7,65	7,81	7,83	7,63	7,768	0,1242
saturación O2	%	100	106,9	106,3	106,6	106	105,1 6	2,9040
Dureza total	mg/L	17	18	21	15	30	20,2	5,8907
Dureza carbonácea	mg/L	28,48	60	48	70	80	57,29 6	20,006
Nitrato	mg/L	25	25	35	85	35	41	25,099
Alcalinidad	mg/L	70	40	50	30	70	52	17,888
Calcio	mg/L	3	4	6	6	28	9,4	10,478
CO2	mg/L	2,5	4	2,5	6	6	4,2	1,7536
Temperatura hídrica	°C	18,9	20,8	19,4	19,5	20,5	19,82	0,7981
acidez	mg/L	20	20	10	20	30	20	7,0711
Cianuro	mg/L	0,006	0,1	0,029	0,012	0,059	0,041 2	0,0388
Amonio	mg/L	0,2	0,1	0,2	0,07	3	0,714	1,2792
Fosfatos	mg/L	0,03	9	2	6	3	4,006	3,5271
Nitritos	mg/L	0,02	0,02	0,1	0,03	0,5	0,134	0,2073
Turbiedad	UNF	301	209	216	275	400	280,2	77,464
DQO	mg/L	325	171	97	250	75	183,6	104,70 8

. X: promedio, d.e: desviación estándar.

### 7.4.1 Temperatura hídrica

Al observar en la figura 14 se nota una diferencia de la temperatura entre las zonas 1 y 2. Al comparar la temperatura en las zonas de muestreo, se encontraron diferencias significativas (sig: 0,009 empleando la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney).



**Figura 14.** Variación de la temperatura hídrica en las zonas y meses de muestreo.

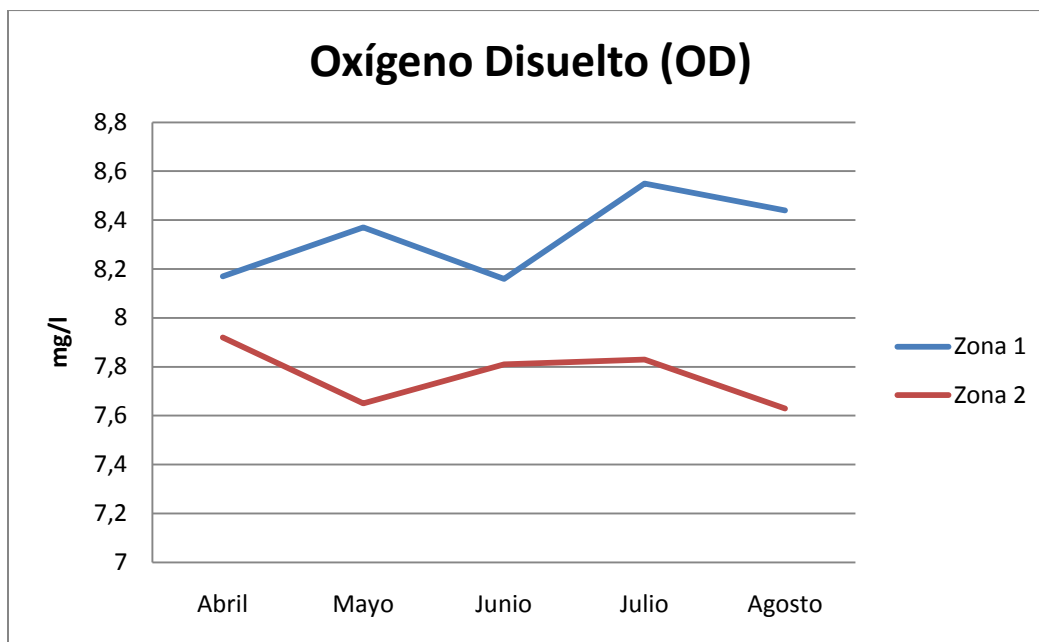
La zona 1 presenta temperatura más baja (promedio: 16,4°C) con respecto a la zona 2 (promedio: 19,82). Al observar la altura (p1: 2010 m.s.n.m. y p2: 1937 m.s.n.m.) hay una diferencia entre las dos zonas menor a los 100 metros, por lo que no debería variar mas de 1°C, sin embargo se debe tener en cuenta que en horas de la mañana se hizo la medición en las aguas de la zona 1, mientras que cerca al medio día se hizo la medición de la segunda zona. Además de esto, hay mayor vegetación riparia en la zona 2, debido a esto se esperaría unas aguas más frías, no obstante hay vertimientos de las minerías, los cuales contienen gran cantidad de sólidos suspendidos, éstos absorben calor y aumentan la temperatura del agua.

Sin embargo, al comparar la temperatura con diferentes meses de muestreo, esta se comporta de manera similar y no se detectan diferencias significativas.

#### **7.4.2 Oxígeno Disuelto, Porcentaje de Saturación y Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Después de la temperatura, el oxígeno es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua (Roldán y Restrepo, 2008). La concentración de oxígeno disuelto en la zona 1 es óptima, ya que el promedio (8,338 mg/l) supera el mínimo óptimo (8 mg/l), así como también el porcentaje de saturación (promedio: 106,8%). En la zona 2 se notó que a pesar de que tiene buena oxigenación (promedio: 7,768 mg/l y 105,15%), ésta disminuyó con respecto a la zona 1 (figura 15). Este parámetro está fuertemente relacionado con la temperatura (mayor en la zona 2), ya que ésta presenta una relación indirectamente proporcional con la concentración de oxígeno, razón por la cual se podría explicar la disminución de oxígeno con respecto a la zona 1.

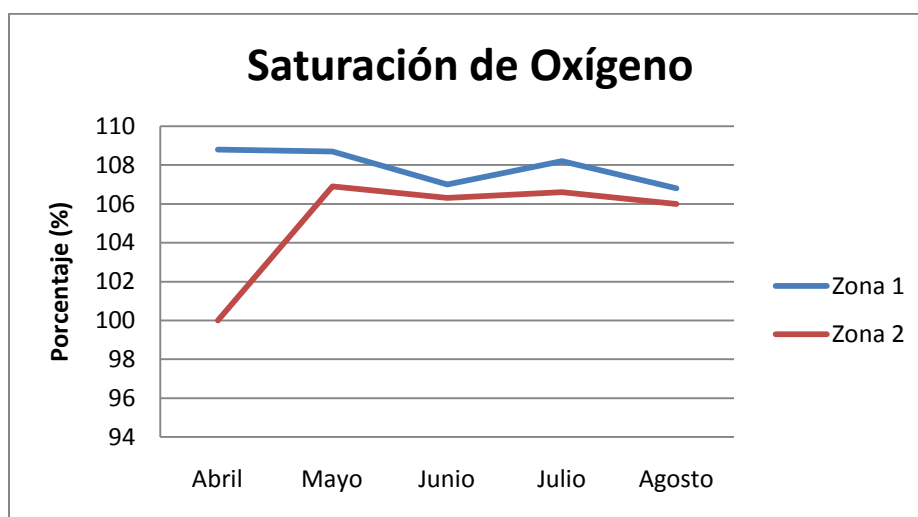
Roldan & Restrepo (2008) mencionan a la contaminación como una de las razones por las cuales hay poco oxígeno, pues a mayor contaminación menor solubilidad, debido a que la contaminación agrega sustancias que llenarían el espacio que podría ser ocupado por las moléculas de oxígeno. Así mismo, la entrada de oxígeno por el aire explica que la zona 1 presente mayor oxigenación, ya que las corrientes son más rápidas que las de la zona 2. La descomposición de la materia orgánica no afecta sustancialmente las zonas de muestreo ya que los valores obtenidos son en general, aptos para la existencia de vida acuática.



**Figura 15.** Variación del oxígeno disuelto en las zonas y meses de muestreo.

Los resultados estadísticos (prueba no paramétrica: U de Mann Whitney) muestran que las variaciones de oxígeno disuelto entre la zona 1 y la zona 2 no son significativas (sig: 0,009).

El oxígeno en los diferentes meses de muestreo no varió significativamente según los análisis estadísticos.

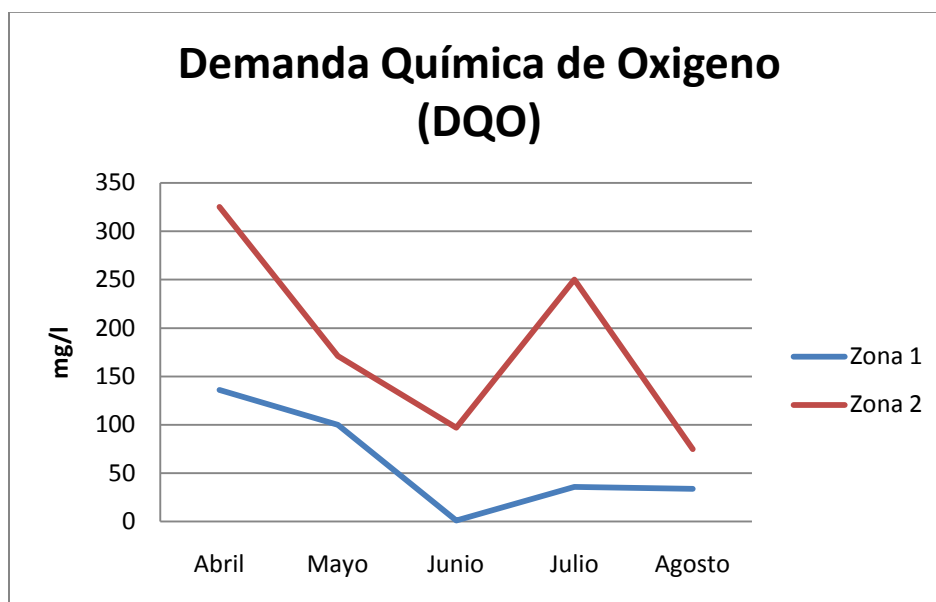


**Figura 16.** Porcentaje de saturación de oxígeno.

La saturación de oxígeno en todas las zonas es mayor al 100% (figura 16.). Esta sobresaturación ocurre cuando las aguas superficiales son perturbadas por el viento causando o por la turbulencia ocasionada por las características del cauce. No se presentan diferencias significativas entre los 5 meses (sig: 0,762) aunque si en las dos zonas de estudio (sig: 0,016), indicando mejores condiciones en la zona 1.

La Demanda Química de Oxígeno mide la cantidad de oxígeno consumido en los procesos de oxidación de la materia orgánica y de algunos minerales.

Los valores de DQO obtenidos para la zona 2 son más altos respecto de la zona 1 (figura 17), indicando que hay mas consumo de oxígeno.



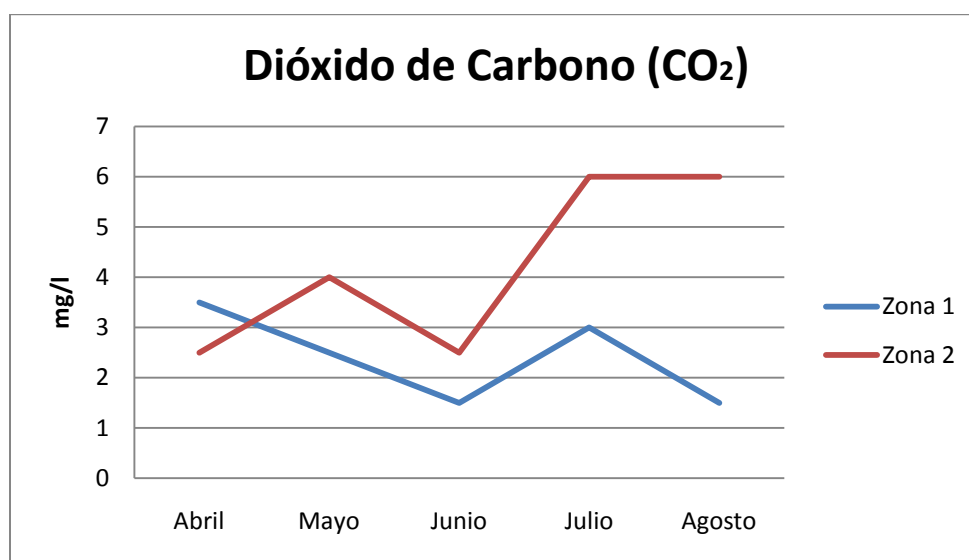
**Figura 17.** Valores obtenidos para la DQO.

El resultado estadístico indica que las dos zonas de muestreo no se diferencian significativamente (sig: 0,076), y tampoco hay variaciones significativas entre los meses de muestreo (sig: 0,264).

### 7.4.3 Dióxido de carbono

La concentración de dióxido de carbono es de vital importancia en los ecosistemas acuáticos ya que intervienen en el equilibrio interno por su capacidad amortiguadora, ya que un cambio brusco de pH puede ser letal para muchos organismos, y entre otras, su importancia en la fotosíntesis.

Los niveles de dióxido de carbono en la quebrada Minatapada son valores considerados normales, ya que en promedio no superaron los 10 mg/l (figura 18), siendo 20 mg/l el valor limitante para la biota acuática. Sin embargo es en la zona 2 el que registra mayor concentración. En esta zona no se encuentran macrófitas que puedan consumir el CO<sub>2</sub>, pero a su vez, son escasos los animales por lo que no se genera gran cantidad de este gas por respiración.



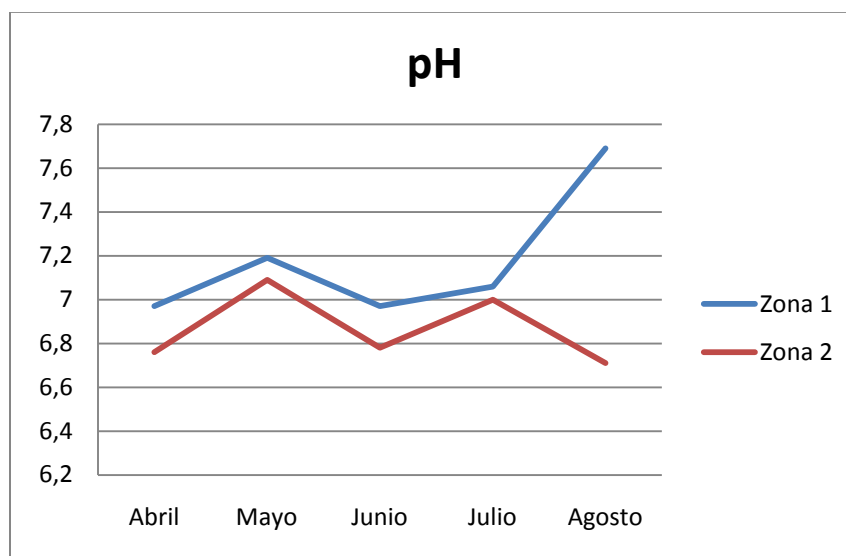
**Figura 18.** Valores de CO<sub>2</sub> obtenidos en las zonas y meses de muestreo.

No se registran diferencias significativas (sig: 0,110) en las dos zonas de muestreo, por lo cual se evidencia que los desechos producidos por la minería de oro no alteran drásticamente esta variable.

Al comparar los meses de muestreo tampoco se observan diferencias significativas (sig: 0,572), lo que indica que el CO<sub>2</sub> fue estable durante el tiempo de muestreo.

#### 7.4.4 pH

El pH en aguas naturales neotropicales varía entre 6,0 y 9,0 (Roldan & Restrepo, 2008), rango dentro del cual se encuentra la quebrada Minatapada, pues presenta promedios de 7,176 y 6,868 en las dos zonas de muestreo respectivamente. Las aguas de esta quebrada se consideran de tendencia neutra. Los análisis estadísticos muestran que no hay diferencias significativas entre las dos zonas (sig: 0,116) para este parámetro.

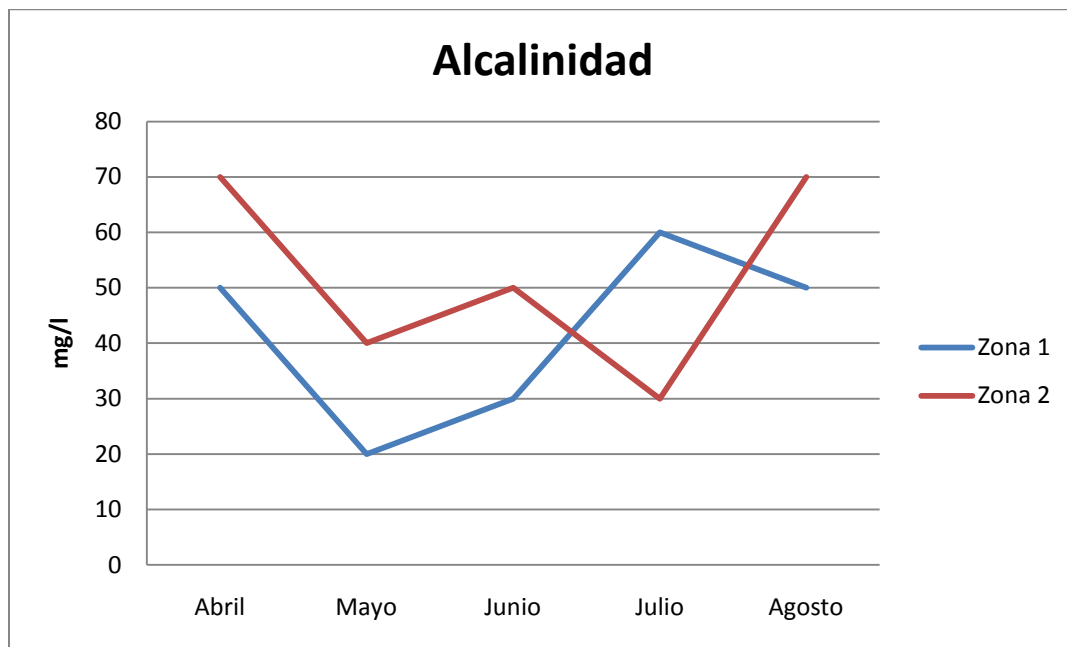


**Figura 19.** Valores de pH para las zonas y meses de muestreo.

Las dos zonas de muestreo se comportan de manera similar (figura 18), aunque en el mes de agosto, la zona 1 alcanza su mayor valor (7,69) y la zona 2 el menor (6,71). A pesar de que agosto muestra a simple vista cambios respecto de los otros meses, el nivel de significancia estadística (sig: 0,409) muestra que las variaciones no son significativas.

#### 7.4.5. Alcalinidad.

La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis (<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>).



**Figura 20.** Valores de alcalinidad obtenidos.

Los valores obtenidos muestran una alcalinidad baja (<75 mg/l) (figura 20). Según Ramírez & Viña (1998) estas son aguas dulces blandas en las que puede existir vida piscícola y de las cuales puede haber abastecimiento humano. Estos valores tienen relación con el CO<sub>2</sub>, la alcalinidad mide principalmente los iones carbonato y bicarbonato, que al pH que se encuentra está quebrada (muy cercanos 7), se puede decir que están formando un sistema buffer.

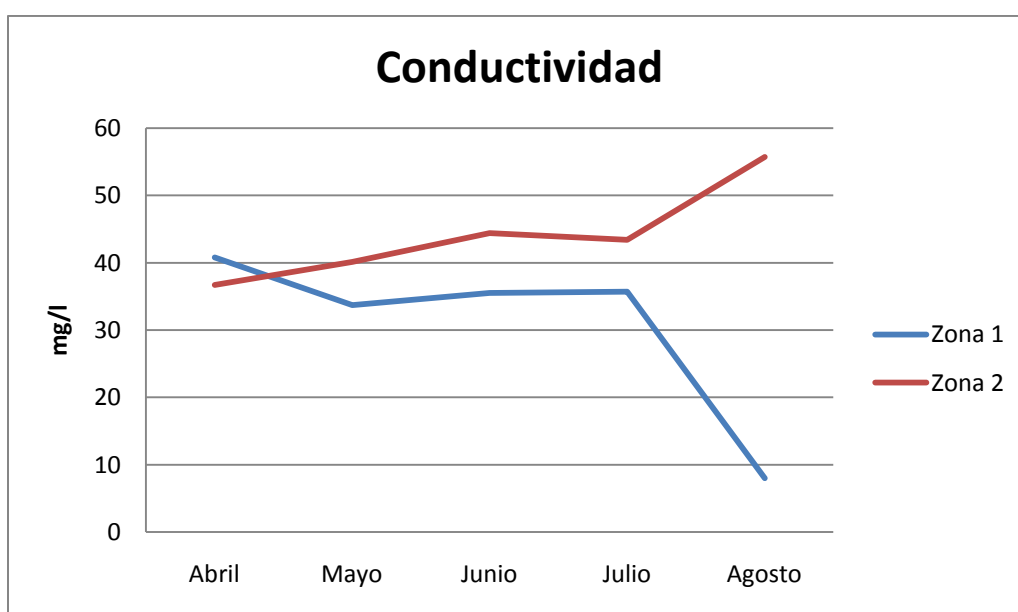
En promedio el valor de la zona 1 es de 42 mgCaCO<sub>3</sub>/l mientras que el de la zona 2 es de 52 mgCaCO<sub>3</sub>/l, siendo la segunda zona la que presenta mayor concentración de carbonatos para poder neutralizar el pH.



Estadísticamente, la alcalinidad no muestra diferencias significativas entre las dos zonas (sig: 0,395), ni entre los 5 meses de muestreo (sig: 0,320).

#### 7.4.6. Conductividad

La concentración de iones en ambas zonas es baja, siendo Agosto el mes en que hubo mayor conductividad en la zona 2, sito en donde caen los residuos arrojados por los mineros de la zona.



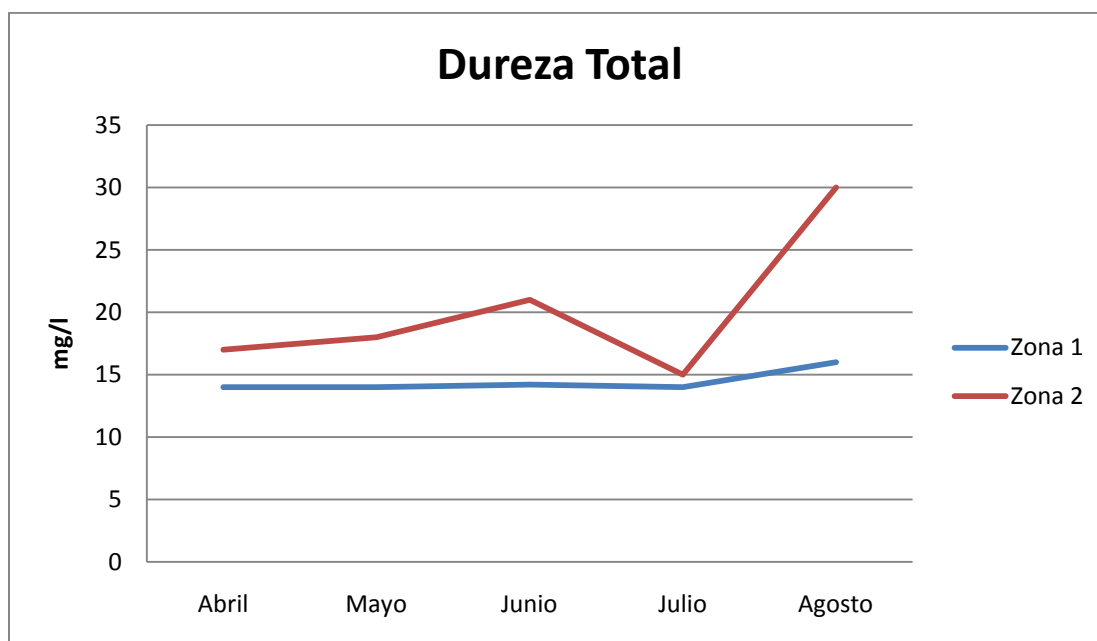
**Figura 21.** Variaciones de la conductividad por meses y zonas de muestreo.

Según la gráfica (figura 21) para el mes de agosto se registró el menor valor en la zona 1 (8  $\mu\text{S/cm}$ ) y el mayor valor en la zona 2 (55,7  $\mu\text{S/cm}$ ). La conductividad se muestra diferente para las dos zonas de muestreo, pues la significancia estadística es de 0,028, mientras que no se registran diferencias significativas para cada mes (sig: 0,957).

Altas diversidades de especies corresponden, a menudo, a bajas conductividades y viceversa (Roldan & Restrepo, 2008). Este supuesto teórico se observa en la quebrada en el presente estudio.

#### 7.4.7. Dureza Total

La dureza la definen principalmente los iones calcio y magnesio. Los resultados obtenidos dan una clasificación de aguas blandas, ya que los valores registrados están por debajo de 70 mg CaCO<sub>3</sub>/l.



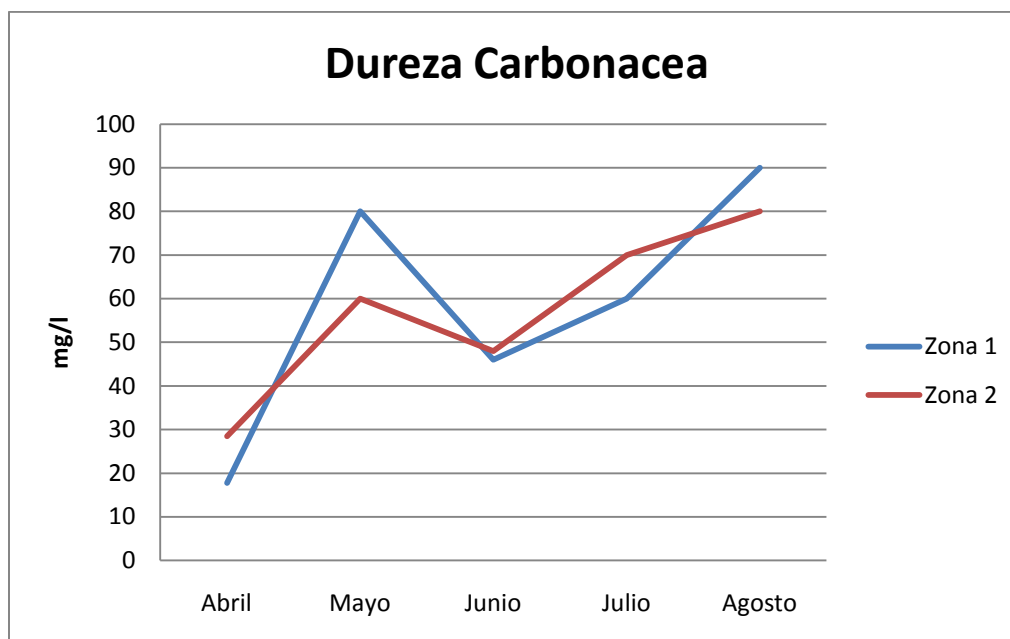
**Figura 22.** Valores obtenidos para la dureza total.

Estadísticamente, las diferencias existentes entre las zonas de estudio son significativas (sig: 0,015), siendo esto consecuente con la conductividad (que también mide iones) que se comportó de igual manera (menor en la zona 1) (figura 22).

Al comparar esta variable en los meses de muestreo por zona no se muestran grandes diferencias (sig: 0,593).

#### 7.4.8. Dureza Carbonácea

En aguas naturales la dureza carbonácea es la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes.

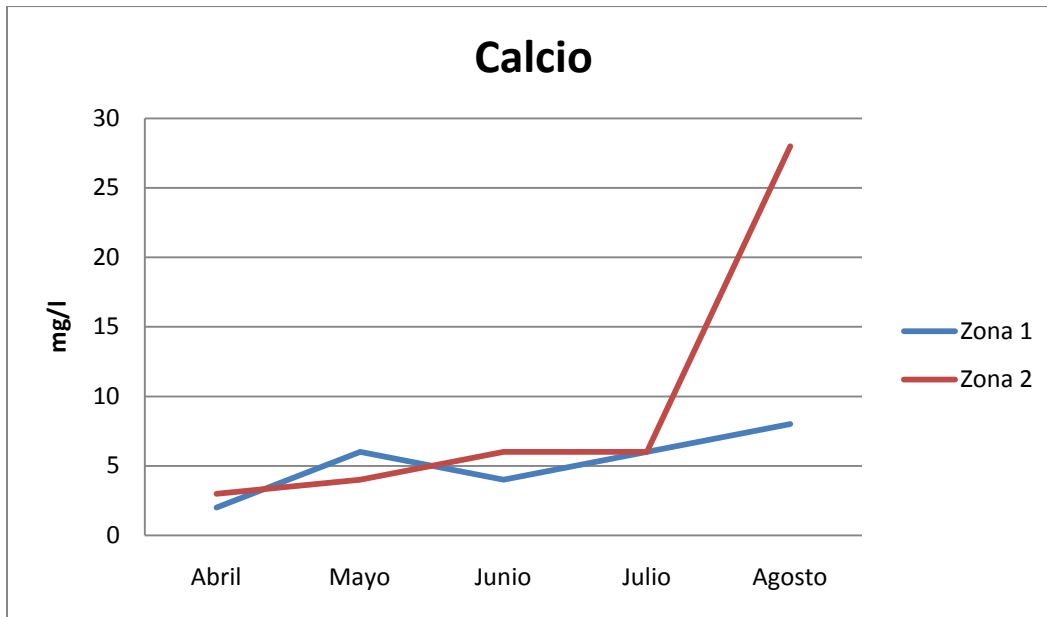


**Figura 23.** Valores de dureza Carbonácea.

La dureza carbonácea no presenta diferencias significativas entre los meses ni entre las zonas de estudio (sig: 0,086 y 0,916 respectivamente), mostrándose estos datos afines en la figura 23.

#### 7.4.9. Calcio

El calcio y el magnesio son los cationes más abundantes en aguas dulces (Roldan & Pérez, 2008). Este ion presenta un papel fisiológico importante como cofactor enzimático, en la constitución celular, en la construcción del tejido óseo y como neurotransmisor celular (Martin, 2003).



**Figura 24.** Valores obtenidos para el ion calcio.

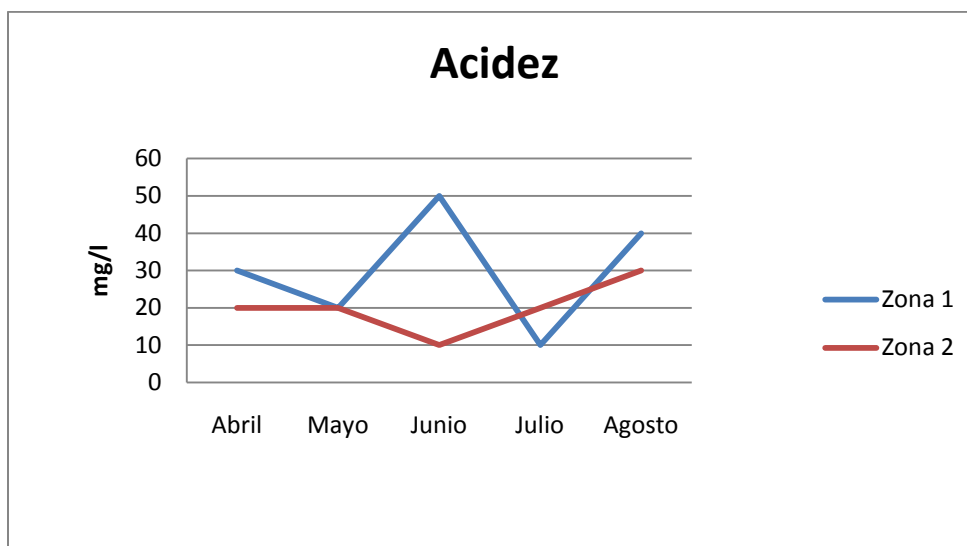
Los resultados obtenidos muestran bajas concentraciones de calcio (figura 24), sin embargo, en agosto hay un incremento notable en la zona 2 (28 mg/l), sin pasarse de los valores normales.

Estadísticamente, el calcio no presenta diferencias entre los puntos (sig: 0,829) ni entre los meses de muestreo (sig: 0,098).

#### 7.4.10. Acidez

La acidez en el agua puede estar asociada a la presencia de ácidos débiles tales como el dióxido de carbono, a la presencia de ácidos fuertes como el sulfhídrico, clorhídrico y nítrico y a la presencia de sales fuertes que provienen de bases débiles, tales como las de amonio, hierro y aluminio ([http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap9.pdf](http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap9.pdf)).

La acidez se expresa como la concentración en “mili equivalentes por gramo” de iones hidrógeno o como la cantidad equivalente de carbonato de calcio que se requiere para neutralizar esta acidez.

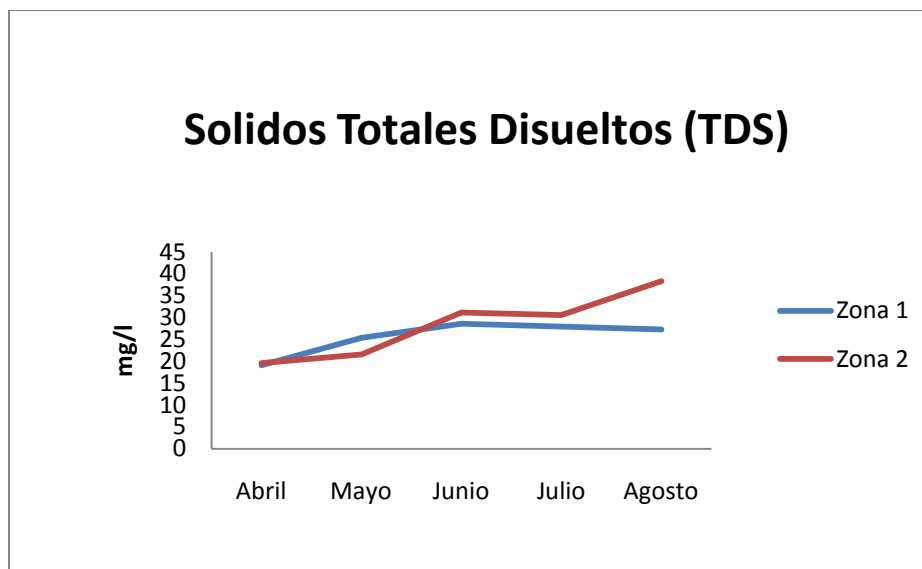


**Figura 25.** Valores de Acidez.

Estadísticamente, la acidez no presenta diferencias significativas entre los 5 meses de muestreo (0,469), tampoco se presentan variaciones significativas entre las dos zonas de estudio (sig: 0,278) (figura 25).

#### **7.4.11. Sólidos Totales Disueltos (TDS)**

Los TDS miden la concentración total de sustancias o minerales disueltos. La concentración de TDS fue aumentando con el pasar del tiempo (figura 26). A pesar de que la gráfica muestra valores estrechos entre las dos zonas de muestreo, la diferencia es significativa (sig: 0,028), este comportamiento es de esperar, ya que a lo largo de la quebrada ocurren varias descargas de residuos, producto de la minería de oro que incrementan las concentraciones.

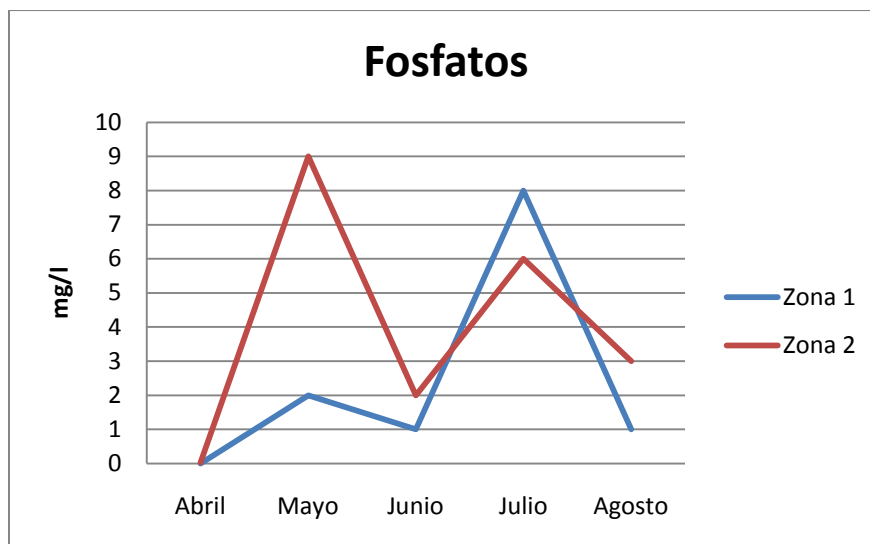


**Figura 26.** Concentración de TDS

No se presentaron diferencias significativas (sig: 0,957) entre los meses de muestreo por zona de estudio.

#### 7.4.12. Fosfatos

Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Los compuestos de fosforo que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento; excreciones humanas y animales; y detergentes y productos de limpieza ([http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm)).



**Figura 27.** Valores obtenidos de fosfatos.

El valor promedio de fosfatos en la zona 1 es de 2,4 mg/l, y en la zona 2 es de 4 mg/l. La zona 2 presentó un valor elevado de fosfatos para el mes de mayo (9 mg/l), mientras que la zona 1 lo presenta en julio (8 mg/l). Se observó variabilidad para este parámetro a lo largo del estudio, siendo este mayor para la zona 2 (figura 27). Se propone que dichas variaciones de deben al efecto combinado de los factores climáticos y el desarrollo de las actividades antrópicas sobre la quebrada. Los análisis estadísticos muestran que no hay diferencias significativas tanto para los meses (sig: 0,143) en cada zona de muestreo, como para las zonas de muestreo (sig: 0,293).

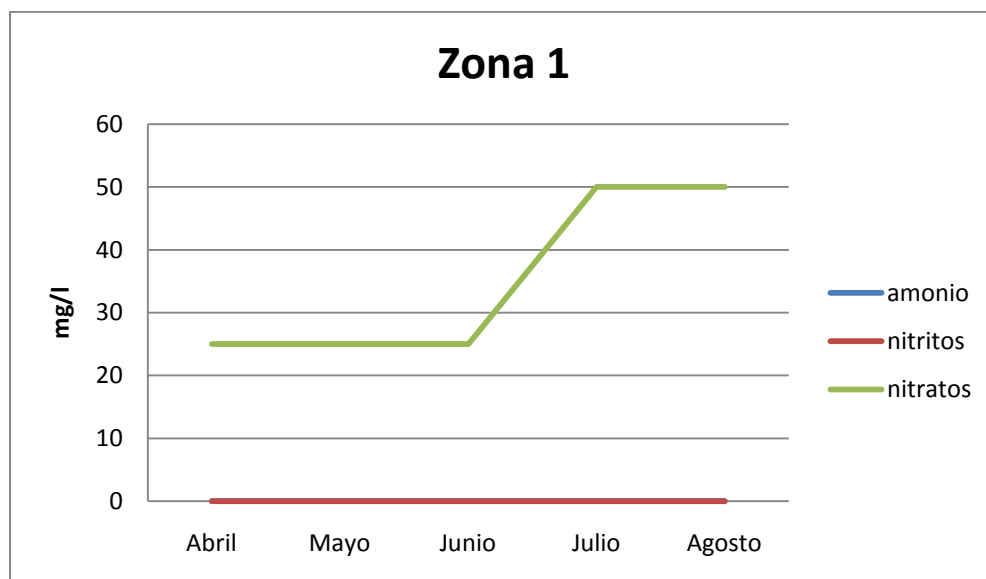
#### **7.4.13. Nitrógeno (Amonio, nitratos y nitritos)**

El nitrógeno, en aguas sin contaminar suele ser poco abundante y proviene fundamentalmente de los procesos biológicos sobre compuestos orgánicos de origen animal o vegetal. Los principales compuestos nitrogenados en la naturaleza son nitratos, nitritos y amonio (Marín, 2003).

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante en cuerpos de agua naturales ([http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap14.pdf](http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap14.pdf)).

La zona 1 presenta la mayor concentración respecto del amonio y los nitritos, con valores entre los 25 y 50 mg/l (figura 28), llegando al máximo valor obtenido en los meses de julio y agosto (50 mg/l). A pesar de que la zona 1 es considerada la zona de menor intervención antrópica, las concentraciones de nitratos indican prácticas de actividades humanas y particularmente a la utilización de fertilizantes para la agricultura, aunque también la buena oxigenación del agua convierte fácilmente el amonio en nitratos.

Los nitritos y amonio no se encontraron en la zona 1, excluyendo el mes de julio, aunque en concentraciones muy bajas (0,01 mg/l para ambos parámetros), esto quizás se deba a intervenciones antrópicas, ya que en este mismo mes se obtuvieron valores positivos de cianuro en esta zona.

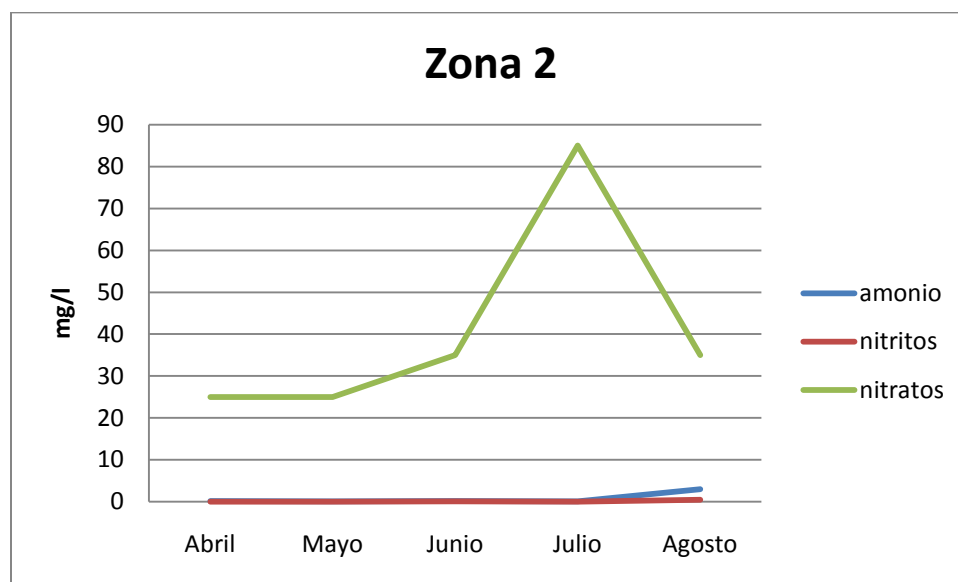


**Figura 28.** Valores obtenidos de amonio, nitratos y nitritos en la zona 1.



No se presentan diferencias significativas para el nitrato en ambas zonas (sig: 0,736), sin embargo en la zona 2 para el mes de julio es cuando se presenta mayor concentración de nitratos (85 mg/l).

En cuanto a los meses de muestreo, estos se comportan de manera similar, indicando que no hay diferencias significativas (sig: 0,098).



**Figura 29.** Valores obtenidos de amonio, nitratos y nitritos en la zona 2.

Respecto a los nitritos, se presentan concentraciones bajas en la zona 2 ( $>0,5$  mg/l) sin embargo, son mayores que la zona 1, indicando que hay procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitratos.

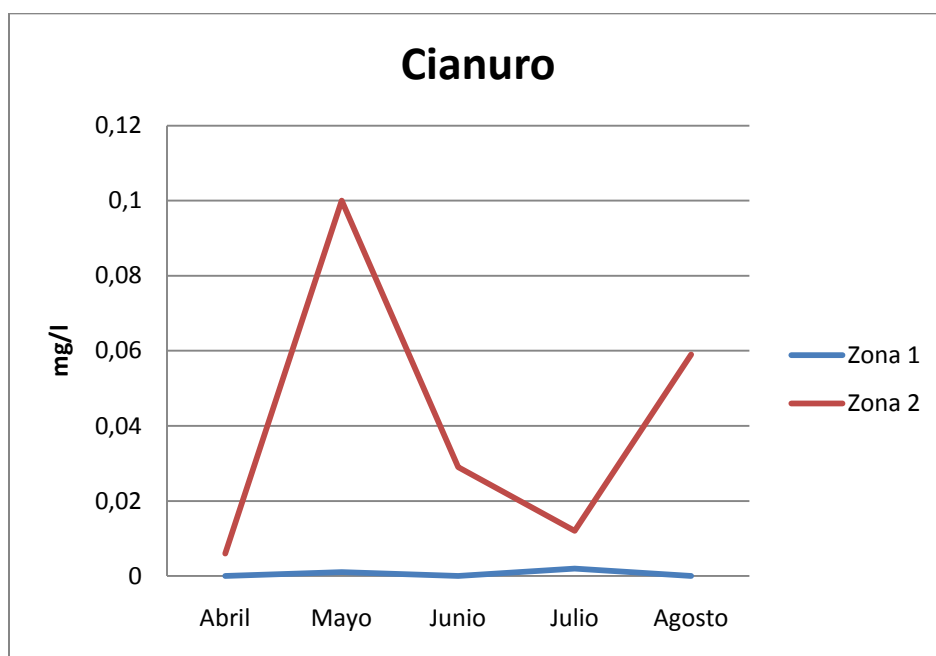
Finalmente, para el amonio se detectó el valor máximo en agosto de la zona 2 (3 mg/l) (figura 29). El amonio proviene principalmente de la amonificación, que consiste en formar amoniaco a partir de la materia orgánica. El amoniaco en medio ácido o neutro (como en este caso) se disocia en ion amonio e hidroxilos (Roldan & Pérez, 2008). Siendo la amonificación y la excreción de animales la fuente principal de amonio en el agua. Sin embargo, estudios realizados en zonas tropicales indican que los mayores valores de amonio se encuentran en época de lluvias (Roldan & Pérez, 2008), caso contrario ocurre con el presente estudio, para

el cual la mayor concentración se halló en época de sequía (agosto). Por esta razón, se le atribuyen estos valores al vertimiento de aguas residuales junto con los desechos provocados por la minería.

No se presentan diferencias significativas entre los meses de muestreo ni entre los puntos de estudio para el amonio y los nitritos.

### 7.3.14. Cianuro

Esta variable es de suma importancia, pues su presencia incrementada se asocia a la minería y a los desechos producidos por esta y generalmente no se encuentra en aguas naturales. Para la zona 1 se detectó cianuro en un valor promedio de 0,0006 mg/l, valor considerado bajo y aceptado por la norma para calidad de aguas en diversos usos. Dado que no se esperaba la presencia de este compuesto, se asume que ha ocurrido alguna intervención antrópica a baja escala en esta zona de trabajo. Probablemente, se está tratando de llevar la extracción minera a partes más altas de la quebrada.



**Figura 30.** Valores registrados de cianuro.

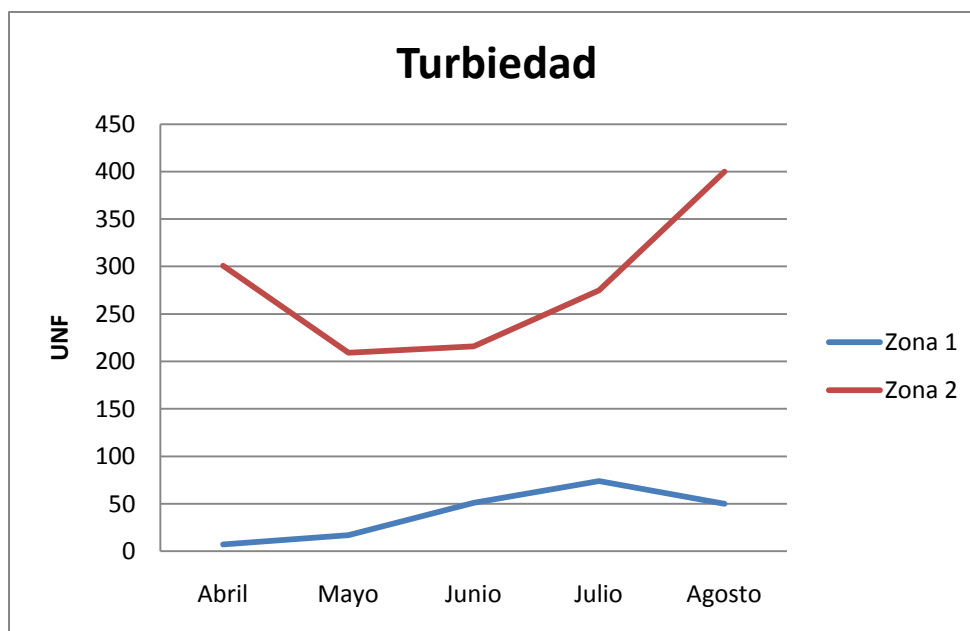
Para la zona 2, los valores son más altos (figura 30), con un promedio de 0,04 mg/l. El decreto 1594 de 1984 en el artículo 45 indica los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, siendo 0,05 mg/l el valor máximo de concentración de cianuro.

En mayo se presentó el valor más alto con 0,1 mg/l (figura 30) doblando el valor máximo permitido para la preservación de flora y fauna (0.5 mg/l).

Los resultados estadísticos muestran que las concentraciones de cianuro en las dos zonas de muestreo varían significativamente (sig: 0,008), mientras que para los diferentes meses de muestreo los resultados no presentan diferencias significativas. (sig: 0,891).

#### 7.4.15. Turbiedad

La turbiedad es fundamental, ya que el exceso de esta impide la absorción de luz, también los sólidos adquieren calor que incrementan la temperatura hídrica, disminuyendo la concentración de oxígeno.



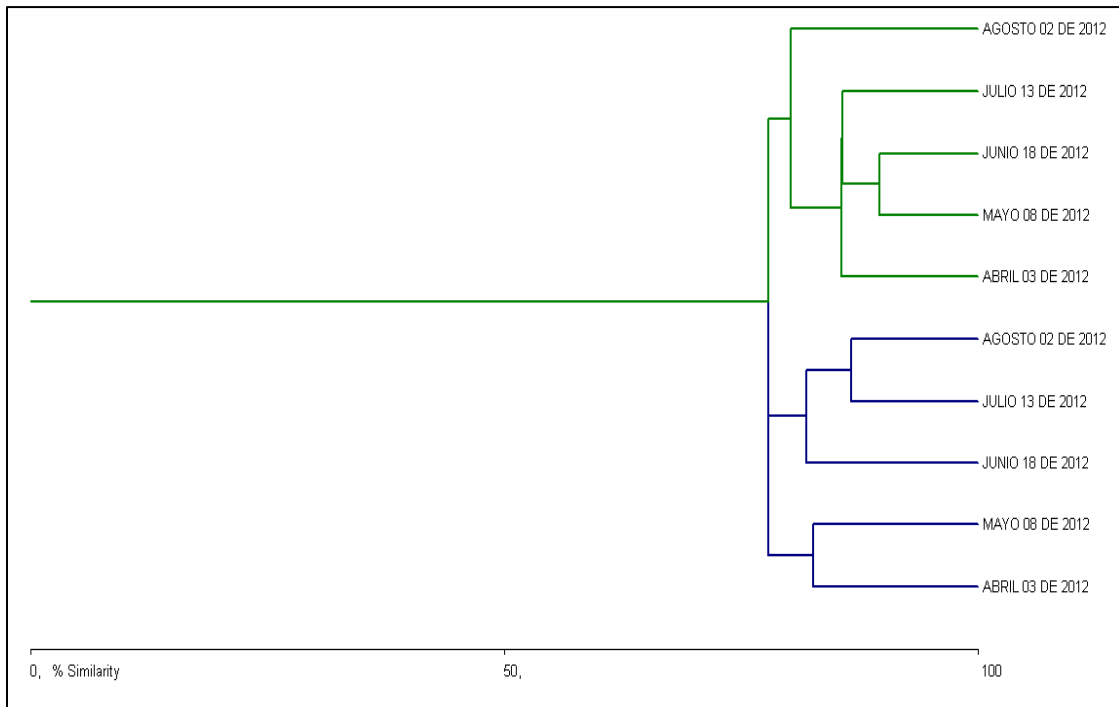
**Figura 31.** Valores de turbiedad.

Este parámetro se diferencia notoriamente entre las dos zonas de muestreo (figura 31). La prueba no paramétrica U de Man-Whitney, confirma que hay diferencias significativas (sig: 0,009). Se asume que la práctica minera es el principal factor de influencia para esta variable, pues la trituración de piedra, junto con los desechos provocados por esta acción presentan alto contenido de sólidos (reflejándose en el color del agua), lo que explica que la zona 2 sea mucho mas turbio.

Respecto de los meses, en la zona 1, la turbiedad va incrementándose con el cambio de clima (de invierno a verano), esto debido a que la quebrada fue disminuyendo su caudal y las actividades mineras continuaron. Igualmente pasa en la zona 2, la turbiedad se incrementa desde junio hasta agosto.

Los resultados estadísticos indican que los meses de estudio no varían significativamente (sig: 0,913).

En general, las variables fisicoquímicas se comportan de manera similar para cada uno de los muestreos, para la época del estudio y para las zonas de muestreo, tal como se infiere del análisis de Bray-Curtis (figura 32). La similitud entre zonas de muestreo se calcula en un 78%. Esto indica adicionalmente que los muestreos fueron realizados bajo los mismos criterios y características.



**Figura 32.** Dendrograma de Bray-Curtis para las variables fisicoquímicas. **Azul:** zona 1. **Verde:** zona 2.

En cuanto a la zona 1 (azul), el porcentaje de similitud en todos los muestreos es del 82%, En julio y agosto es en donde hay mayor similitud para la zona 1 (93%), meses en que predominó una sequia intensa, mientras que abril y mayo fueron meses de lluvias, los cuales se asocian con un 88% de similitud.

En la zona 2 (verde) el porcentaje de similitud es del 80%, habiendo mayor similitud entre los meses de mayo y junio (90%), quedando agosto como el mes que mas difiere de los demás; se estima que las variaciones en la demanda química de oxígeno (DQO), determinaron esta diferenciación.

## 7.5 Correlación entre la comunidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos

Para determinar la relación existente entre las variables físicas y químicas con la comunidad de macroinvertebrados se empleo el Análisis De Correspondencia Canónica (ACC), ya que este es un modelo para estudiar la relación entre presencia de especies y variables ambientales.

Con este análisis se ratifican los resultados antes mencionados, en los que se observan variables que han sido modificadas por la actividad humana, estas son principalmente el amonio, los nitratos, la turbiedad, el cianuro y la DQO (figura 33).

Mediante este análisis se pueden observar géneros como *Rhagovelia*, *Lachlania*, *Thraulodes*, *Moribaetis*, entre otros, que se asocian a aguas de buena calidad y su presencia se ve afectada fuertemente por los niveles de intervención sobre la quebrada.

En general, las demás variables se asocian con géneros que presentan BMWP medio y alto (p.ej. *Eulimnichus*, *Corydalis*, *Dineutus*) ya que sus valores se encuentran dentro de rangos normales. La presencia del género *Tubifex* se correlacionó positivamente con la intervención de la quebrada, dada su capacidad de tolerar altos grados de contaminación.

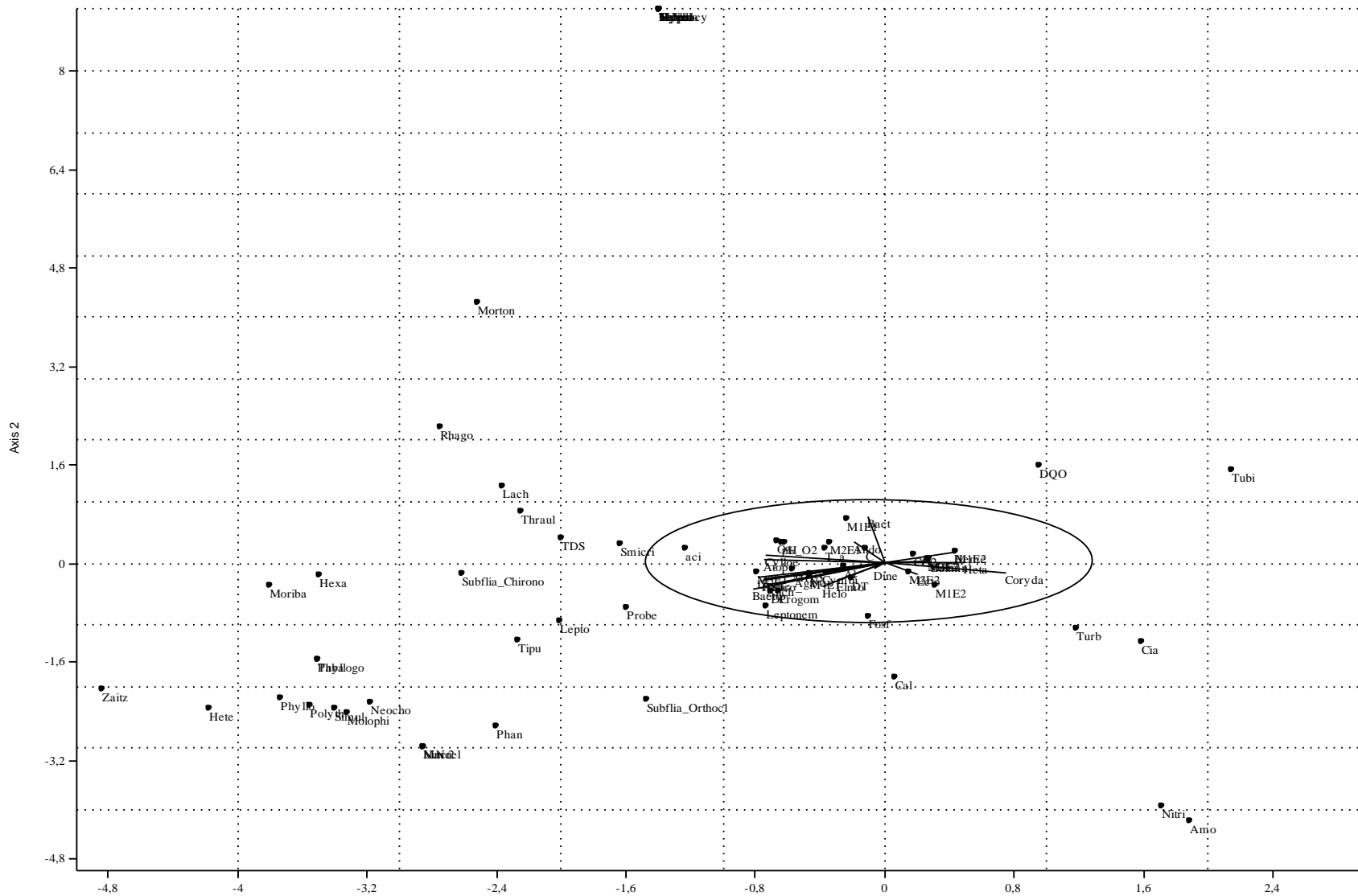


Figura 33. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC).

## 8. CONCLUSIONES

En total se encontraron 11 órdenes, 36 familias y 54 géneros, siendo el más abundante *Leptonema* (Trichóptera), con 99 individuos en la zona 1 y 123 en la zona 2. Se colectaron 912 individuos, 652 en la zona 1 y 260 en la zona 2.

Los órdenes más abundantes en la quebrada Minatapada fueron Trichóptera 35% (317 ind), Coleóptera 21% (195 ind), Plecóptera 17% (158 ind). En la zona 1 el Orden con más géneros es Coleóptera (34%), seguido por Díptera (20%) y Ephemeroptera (13%).

De las 36 familias presentes en la quebrada, la más abundante fue Hydropsychidae con el 29% (256 ind), seguido por Perlidae 18% (158 ind) y Tricorythidae 10% (63 ind), siendo los géneros más abundantes *Leptonema* con el 24% (222 ind), *Anacroneuria* 17% (158 ind), *Anchitarsus* 14% (124 ind).

Los géneros que están en la zona 1 y que no están en la zona 2 son 29, mientras que los géneros que están en la zona 2 y no en la zona 1 son 6. Los géneros que se encuentran en ambas zonas de muestreo son 19. Respecto de las Familias, se encontró que hay 17 familias que se encuentran en la zona 1, pero que no están en la zona 2, mientras que 6 que están en la zona 2 no están en la zona 1. Las dos zonas de muestreo comparten sólo 13 familias.

El índice de Shannon Weaver indica que la zona 1 presenta la mayor diversidad, aunque esta es media.

El índice de similitud de Sorensen se calculó en 52%. El índice de Bray Curtis para los macroinvertebrados muestra que son julio y agosto los meses en que hay mayor similitud (60%) para la zona 1, meses de sequía, mientras que en la zona 2 se asocian mayormente junio y abril, similitud presentada posiblemente por los vertimientos producidos por la minería de oro.



Las aguas de la zona 2 presentan gran deterioro a raíz de las explotaciones mineras, ya que a tan solo 1 km de la zona 1 se observan cambios en la composición de macroinvertebrados y en las propiedades fisicoquímicas.

A pesar de que la zona 1 es una zona en donde actualmente no se realizan prácticas mineras, se encontró resultados positivos en dos meses para el cianuro, sin embargo, estos niveles son bajos por lo que se asume que se están buscando nuevas minas aguas arriba. La zona 2 alcanza el valor máximo permitido de cianuro (1 mg/l) para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, por lo cual es muy posible que en ciertas ocasiones lo sobrepase. Esta zona presenta altas concentraciones de cianuro, sin embargo los valores hallados se encuentran dentro del rango establecido en el decreto 1594 de 1984 para el consumo humano (0,2 mg/l).

Los parámetros fisicoquímicos presentan variaciones leves las cuales no son significativas entre meses de muestreo pero si entre las 2 zonas.

En general, las variables fisicoquímicas se encuentran en rangos normales, excepto nitratos, amonio, cianuro, turbiedad y DQO, las cuales son indicadoras de aguas contaminadas, reflejándose en la comunidad de macroinvertebrados, lo que se comprueba mediante el Análisis de Correspondencia Canónica.

Las aguas de la zona 1 son aguas de buena calidad, lo que se refleja en el número de géneros, de individuos, el BMWP, el EPT y las propiedades fisicoquímicas, mientras que las aguas de la zona 2, son aguas contaminadas con calidad aceptable, habiendo un número bajo de individuos (260) con respecto a la zona 1 (652).

## 9. RECOMENDACIONES

- En estudios posteriores incluir la medición de mercurio, ya que este metal también se emplea en las prácticas mineras y es altamente tóxico para los organismos y el hombre.
- Realizar estudios para otros organismos como peces y macroinvertebrados para medir las concentraciones de cianuro y mercurio que se incorporan en sus tejidos.
- El presente estudio establece la necesidad de realizar prácticas mineras que disminuyan los efectos e intervenciones sobre los ecosistemas acuáticos y aledaños, de tal manera que no se produzca la pérdida de estos ecosistemas.
- Informar a la comunidad sobre los efectos de la minería en la calidad del agua de esta quebrada, de esta manera se puede prevenir la ingesta y ayudar a disminuir de alguna manera tales efectos.
- Continuar con posteriores estudios limnológicos en donde se tome en cuenta a la familia Hydropsichidae, ya que presenta un BMWP de 7 y se encontró en altas cantidades en ambas zonas, sugiriendo que es capaz de tolerar altos niveles de intervención del agua.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Corporación Autónoma Regional Del Cauca, CRC. 2003. Diagnostico geológico, minero, ambiental, social y económico. Distrito minero de Fondas. El Tambo Cauca. Julio de

Domínguez, E., Fernández, H. R. 2009. Macroinvertebrados bentónicos de Suramérica. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lilio. Tucumán, Argentina. ISBN 978-950-668-015-2.

Ghetti, P.F., Bonazzi, G. 1981. L macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi d'acqua. C .N. R. Roma .175 pp.

Holdridge, L. R. 1967. Life Zone Ecology .Tropical Science Center. San José, Costa Rica.. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: 1982«Ecología Basada en Zonas de Vida»,. 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA,).

Marin-Galvin, R. 2003. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Diaz de Santos, S.A.

Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. CYTED, Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA) UNESCO. Zaragoza, España. 84 pp.

Pinilla G. 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica.. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 67 p.. ISBN: 958-9029-15-9.

Ramírez A. 2010. Toxicidad del cianuro: Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. An. *Fac. med.*, ene./mar., vol.71, no.1, p.54-61. ISSN 1025-5583.

Ramírez-Gonzales A., Viña Vizcaino G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Editorial Panamericana.

Roldan, G. 1988. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN- Colombia. Colciencias-Universidad de Antioquia. Ed. Presencia Ltda., Santa Fe de Bogotá.

Roldan, G. 1996. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Primera reimpresión. Presencia Ltda. Colciencias, Universidad de Antioquia, Bogotá – Colombia.

Roldan, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso de método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia.. Colombia. 175 pág.

Roldan, G., Restrepo, Ramírez, J. 2008. Fundamentos de limnología Neotropical. 2a edición. Medellín: Universidad de Antioquia.

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.

[http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap16.pdf](http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap16.pdf). Visitado en octubre 20 de 2011.

[http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap11.pdf](http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap11.pdf) Visitado en octubre 26 de 2011.

[http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf) Visitado en octubre 26 de 2011.

<http://www.unapiquitos.edu.pe/intranet/pagsphp/docentes/archivos/Limnologia.GUIA%20DE%20TRABAJO%20DE%20CAMPO?PHPSESSID=1198c22c229a9aa4c8306c5b6137bc9d>. Visitado en octubre 26 de 2011.

[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/2002/01/06/36494.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2002/01/06/36494.php). visitado el 4 de diciembre de 2011.

<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcinidad.pdf>. Visitado el 30 de septiembre de 2012.

[http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm). Visitado el 6 de octubre de 2012

Watershed Science Institute. Watershed Condition Series. Technical Note 3. The EPT Index. <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/strmRest/wshedCondition/EPTIndex.pdf>. Visitado el 06 de Octubre de 2012.

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec\\_1594\\_260684.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_1594_260684.pdf). decreto 1594 de 1984. Ministerio de Agricultura. Visitado el 07 de octubre de 2012.

[http://www2.udec.cl/matpel/toxfaq\\_espanol/CIANURO.pdf](http://www2.udec.cl/matpel/toxfaq_espanol/CIANURO.pdf). Visitado el 08 de octubre de 2012.

[http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap9.pdf](http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap9.pdf). Visitado el 10 de octubre de 2012.

[http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap14.pdf](http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap14.pdf). Visitado el 10 de octubre de 2012.

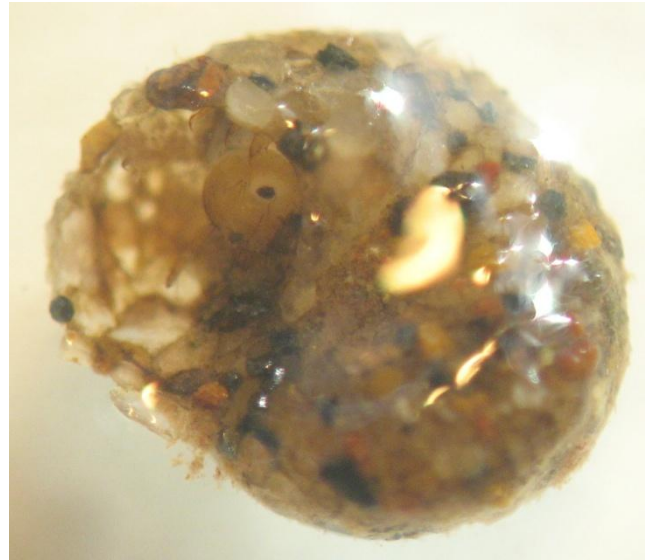
<http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>. NACIONES UNIDAS. 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Visitado el 10 de octubre de 2012.

## ANEXOS

Fotografías tomadas en laboratorio.



**Familia:** Perlidae  
**Género:** *Anacroneturia*



**Familia:** Helicopsychidae  
**Género:** *Helicopsyche*



**Familia:** Chironomidae  
**Subfamilia:** Chironominae



**Familia:** Simuliidae  
**Género:** *Simulium*



**Familia:** Ptilodactylidae  
**Género:** *Anchitarsus*



**Familia:** Veliidae  
**Género:** *Rhagovelia*



**Familia:** Tipulidae  
**Género:** *Hexatoma*



**Familia:** Tricorythidae  
**Género:** *Leptohyphes*



Fotografías tomadas en campo.



Residuos de la minería de oro que más adelante son desechados a la quebrada.



Colecta de MAE mediante el uso de la red Surber.



Zona 1. Antes de las prácticas mineras.



Zona 2. Después de las prácticas mineras.

