

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES EN LA
MICROCUEENCA EL QUEBRADÓN DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN, HUILA**

LILIA NANCY ZÚÑIGA DELGADO



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN-CAUCA
2012**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES EN LA
MICROCUENCA EL QUEBRADÓN DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN, HUILA**

LILIA NANCY ZÚÑIGA DELGADO

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Bióloga**

**Director
Mg. Sc. HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN-CAUCA
2012**

Nota de Aceptación

Director



Mg. Sc. HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ

Jurado



Mg. JOSÉ BELTRÁN VIDAL

Jurado



DANIEL FERIZ GARCÍA
Candidato a Mg.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar y guiar mi camino.

A mis padres José Aldemar y Celina, por el esfuerzo, apoyo y amor incondicional que me han brindado, ya que sin ellos no hubiera podido lograr esta meta.

A mis hermanos Wilson, Albeiro, Fernando, Ángela, José y Jesús, por su comprensión y cariño.

A mis abuelos por ser un ejemplo de unión, amor y fe.

A mis sobrinos, especialmente a Miguel Ángel por brindarme tantas alegrías, a mis tías y tíos, a mis primas y primos y demás personas que de una u otra manera han contribuido en mi formación personal y humana, me han brindado su afecto y siempre creyeron en mí.

A mis maestros del Departamento de Biología, por contribuir en gran manera a mi formación profesional.

A Hilldier Zamora por aceptar dirigir mi trabajo de grado y por sus aportes para la culminación de este trabajo.

A Jhonatan Gutiérrez por su valiosa colaboración y asesorarme con tan buena disposición.

A los jurados José Beltrán y Daniel Feriz por las valiosas sugerencias realizadas al trabajo de grado.

A Federico Mosquera por su gran colaboración y orientación.

A Gerardo Naundorf por la disposición en el préstamo de los equipos.

A Diego Salazar y Leonardo Güiza por su colaboración en trabajo de campo y laboratorio.

A Alex Males, Juan Pablo Imbachi y René Mauricio Muñoz, por su colaboración y acompañamiento en las salidas de campo.

A todos los compañeros y compañeras del programa de Biología, gracias por brindarme su amistad y apoyo durante mi permanencia en la Universidad.

A mis amigos y amigas con los que he compartido tantos momentos de mi vida, a cada uno de ellos los llevo en el corazón.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. Objetivo General.....	13
3.2. Objetivos Específicos.....	13
4. MARCO CONCEPTUAL.....	14
4.1. Los macroinvertebrados acuáticos.....	14
4.2. Calidad del agua.....	14
4.3. Calidad biológica.....	15
4.4. Indicador biológico.....	15
4.5. La contaminación del agua.....	16
4.6. Índice BMWP, adaptado para Colombia por Zamora, (2007).....	16
4.7. Métodos de medición al nivel de especies.....	17
4.7.1. Medición de la diversidad alfa.....	17
4.7.2. Índice de Shannon y Weaver (1949).....	18
4.7.3. Índice equidad de Pielou (1969).....	19
4.7.4. Índice de Simpson (1949).....	19
4.7.5. Medición de la diversidad beta.....	19
4.7.5.1. Coeficiente de Bray Curtis.....	19
4.8. Parámetros físico-químicos del agua:.....	20
4.8.1. Temperatura hídrica.....	20
4.8.2. Temperatura ambiental.....	20
4.8.3. Gases disueltos: Oxígeno disuelto, CO ₂ y % de saturación de Oxígeno.....	20
4.8.4. Compuestos nitrogenados.....	21
4.8.5. pH.....	21
4.8.6. Iones disueltos: Hierro y Calcio.....	21
4.8.7. El concepto de dureza.....	22
4.8.8. Alcalinidad.....	22
5. METODOLOGÍA.....	23
5.1. Descripción del área de estudio.....	23
5.1.1. Cobertura vegetal cuenca el Quebradón.....	25
5.1.2. Determinación de las estaciones de muestreo.....	25
5.2. Fase de campo.....	28
5.2.1. Muestreo de macroinvertebrados acuáticos.....	28
5.2.2. Determinación de Parámetros físico-químicos.....	28
5.3. Fase de laboratorio.....	29

5.3.1. Identificación de macroinvertebrados acuáticos.....	29
6. ANÁLISIS DE DATOS.....	29
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca El Quebradón.	30
7.1.1. Valor promedio de índices de diversidad, equidad y BMWP.....	31
7.1.2. Riqueza en las tres estaciones de muestreo.....	32
7.1.3. Abundancia en las tres estaciones de muestreo.....	32
7.2. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por estaciones de muestreo.....	38
7.2.1. Estación 1.....	38
7.2.2. Estación 2.....	40
7.2.3. Estación 3.....	42
7.3. ÍNDICE DE MONITOREO BIOLÓGICO (BMWP/COL).....	45
7.4. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD.....	48
7.4.1. Índice de Margalef.....	48
7.4.2. Índice de Shannon-Weaver.....	49
7.4.3. Índice de Simpson.....	50
7.4.4. Índice de equidad de Pielou.....	50
7.4.5. Análisis de diversidad entre estaciones.....	501
7.5. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS CON LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS.....	52
7.6. ANÁLISIS DE SIMILITUD DE BRAY-CURTIS POR PORCENTAJE DE ABUNDANCIA.....	53
7.7. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO HÍDRICO.....	55
7.7.1. Gases disueltos: Oxígeno disuelto, Dióxido de Carbono y % de saturación de Oxígeno.....	55
7.7.2. Temperatura ambiental e hídrica.....	57
7.7.3. Compuestos nitrogenados.....	57
7.7.4. Iones disueltos: Hierro y Calcio.....	59
7.7.5. pH.....	60
7.7.6. Alcalinidad.....	61
7.7.7. Acidez.....	61
7.7.8. Dureza total y carbonácea.....	62
8. Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los parámetros físico-químicos.....	63
9. CONCLUSIONES.....	64
10. RECOMENDACIONES.....	65
11. BIBLIOGRAFIA.....	66

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del Departamento del Huila en Colombia y ubicación del Municipio de San Agustín en el Departamento del Huila; en rojo se localiza la zona de estudio El Quebradón y en amarillo la zona urbana del Municipio de San Agustín	23
Figura 2. Área de estudio, en rojo se ubican las estaciones de muestreo en la microcuenca El Quebradón.....	24
Figura 3. Estación 1. (a) vegetación ribereña, (b) cobertura vegetal en las márgenes de la cuenca, (c) ganadería, (d) cultivos de caña y café cercanos a la microcuenca	26
Figura 4. Estación 2. (a) cultivos dentro del área de conservación de la cuenca, (b y c) canales para aguas residuales de las casas aledañas, (d) reforestación con especies nativas	27
Figura 5. Estación 3. (a) sustrato con piedra de diferente tamaño, (b) el paso de la vía de transporte	28
Figura 6. Riqueza presente en las tres estaciones	33
Figura 7. Abundancia encontrada en las tres estaciones.....	33
Figura 8. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en El Quebradón	37
Figura 9. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en la estación 1	39
Figura 10. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en la estación 2	41
Figura 11. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en la estación 3.....	44
Figura 12. Valores del índice de Margalef en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	48
Figura 13. Valores del índice de Shannon en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	49
Figura 14. Valores del índice de Simpson en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	50
Figura 15. Valores del índice de Pielou en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	51

Figura 16. Correlación entre las estaciones de muestreo con algunas variables físico-químicas y las abundancias de macroinvertebrados con respecto a la estación de muestreo	52
Figura 17. Dendograma de similitud de Bray-Curtis para los géneros de macroinvertebrados acuáticos en cada una de las estaciones y meses de muestreo	54
Figura 18. Comportamiento de los gases disueltos en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	56
Figura 19. Comportamiento de la temperatura ambiental e hídrica en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	57
Figura 20. Comportamiento de los compuestos nitrogenados en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	59
Figura 21. Comportamiento de los iones Hierro y Calcio en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	60
Figura 22. Comportamiento del pH en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	61
Figura 23. Comportamiento de la alcalinidad y la acidez en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	62
Figura 24. Comportamiento de la dureza total y carbonácea en las 3 estaciones y en los meses de muestreo	63

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Georeferenciación de los sitios de muestreo.....	25
Tabla 2. Valores promedio de los índices de diversidad.....	31
Tabla 3. Macroinvertebrados acuáticos presentes en las tres estaciones de muestreo.....	34
Tabla 4. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en las tres estaciones de muestreo.....	45
Tabla 5. Calidad del agua de las estaciones muestreadas según el índice BMWP.....	46

ANEXOS

Pág.

1. Parámetros físico-químicos hídricos de la micrucuenca El Quebradón.....	70
1.1. Parámetros físico-químicos hídricos en la estación 1.....	70
1.2. Parámetros físico-químicos hídricos en la estación 2.....	71
1.3. Parámetros físico-químicos hídricos en la estación 3.....	71
2. Estadístico de contraste para índices de diversidad por estaciones.....	72
2.1. Estadístico de contraste para índices de diversidad por meses.....	72
2.2. Estadístico de contraste parámetros físico-químicos por estación y mes...72	
3. Imágenes de macroinvertebrados acuáticos.....	73
3.1. Clase Insecta.....	73
3.2. Clase Crustacea.....	74
3.3. Clase Gastrópoda.....	74

RESUMEN

Se determinó la calidad del agua de la microcuenca El Quebradón ubicada en el Municipio de San Agustín-Huila, a partir del empleo del índice BMWP/Col (Zamora, 2007) el cual tiene en cuenta el carácter bioindicador de las familias de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y se complementó el análisis biológico con la caracterización de los principales parámetros físico-químicos hídricos. El estudio se realizó por un periodo de cuatro meses, en total se colectaron 2584 especímenes, pertenecientes a 5 phyla, 16 órdenes, 40 familias y 63 géneros, los órdenes de mayor riqueza específica fueron Trichoptera (1559), Odonata (258), Hemiptera (224) y Diptera (194). Se emplearon los índices de estructura de Shannon y Margalef con valores promedio de 2.02 y 3.96 respectivamente, indicando una diversidad media, el índice de Pielou con valor promedio de 0.65 evidencia una distribución de la abundancia medianamente homogénea y el índice de Simpson con valor promedio de 0.72 demuestra que hay algunos géneros dominantes, además se empleó el índice de Bray-Curtis para establecer la similitud en la estructura de las comunidades de las estaciones muestreadas, permitiendo determinar que la estación 1 y 2 con un 58% son las más similares, lo que se refleja en la poca variación de la abundancia de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, además se realizó un análisis de correspondencia canónica para determinar las asociaciones entre las variables físico-químicas y biológicas, las anteriores pruebas se calcularon con el programa Past exe.

Los resultados físico-químicos y biológicos señalan que la calidad del agua es muy buena, no hay contaminación importante y la intervención humana no parece afectar de manera decisiva la calidad biológica del agua y por ende el desarrollo y distribución de los organismos.

La aplicación de esta metodología permitió determinar la calidad biológica del agua de dicha fuente lo que constituye un valioso aporte para el establecimiento de nuevas propuestas enfocadas a darle un uso adecuado y preservación del recurso hídrico por parte de los usuarios y las entidades encargadas de su adecuado manejo y control.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce sostienen comunidades complejas de macroinvertebrados, compuestas por una gran cantidad de grupos que presentan requerimientos tróficos muy heterogéneos, su actividad influye de manera determinante en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales. Así, estas comunidades se constituyen por descomponedores, herbívoros y predadores, por lo que establecen un vínculo fundamental entre las diversas fuentes de energía que aparecen en los ecosistemas fluviales y los predadores superiores (Allan, 1995).

La alteración de los ecosistemas acuáticos a causa de los diferentes tensores antrópicos como las actividades agropecuarias, los residuos industriales y domésticos, ha generado un creciente interés en establecer los efectos de estas actividades sobre los ecosistemas acuáticos, implementando técnicas como la bioindicación que a través de la evaluación biológica de las comunidades bióticas, permite obtener un conocimiento del estado biológico actual de la calidad del agua.

Para la evaluación de la calidad de las aguas desde el punto de vista biológico se puede utilizar cualquiera de los grupos bióticos, como bacterias, algas, macrófitas, protozoos, macroinvertebrados o peces, mediante el análisis de la estructura de su comunidad, el cálculo de índices de diversidad adecuados para homologarlos a índices de calidad o aplicación de su carácter bioindicador, entre otras metodologías (Zamora, 2007).

Según Roldán (2008), el uso de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua se basa en el hecho de que dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados. Cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará por tanto, en las estructuras de las comunidades que allí habitan.

Teniendo en cuenta lo anterior, y que la microcuenca El Quebradón, localizada en el municipio de San Agustín-Huila, fuente abastecedora de dos acueductos está influenciada por actividades antrópicas, las cuales pueden tener un efecto negativo sobre ésta, el presente trabajo determinó la calidad biológica del agua de la microcuenca empleando el índice de monitoreo biológico BMWP/Col (Zamora, 2007), complementando con el análisis de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, a partir del empleo de índices como: Shannon-Weaver, Margalef, Pielou y Simpson, también se calcularon los valores de los principales parámetros físico-químicos hídricos. como: temperatura ambiental e hídrica, gases disueltos, pH, compuestos nitrogenados, calcio, hierro, durezas, alcalinidad y acidez, para complementar el estudio biológico.

2. JUSTIFICACIÓN

Las técnicas que utilizan a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración y en el cartografiado de la calidad de las aguas. El bajo coste de la utilización de estos métodos, la rapidez de su aplicación y su fiabilidad los hace idóneos para la vigilancia de las cuencas hidrográficas. Presentan la ventaja de que reflejan las condiciones existentes tiempo atrás antes de la toma de las muestras; mientras que los métodos analíticos actuales ofrecen una visión puntual del estado momentáneo de las aguas en el momento de la toma de las muestras (Alba Tercedor, 1996).

Por las ventajas mencionadas anteriormente, se decide aplicar esta metodología adaptada para Colombia por Zamora (2007), en la microcuenca El Quebradón considerando que es la fuente abastecedora tanto del acueducto del municipio de San Agustín, como del acueducto de la vereda La Estrella, por lo cual es importante establecer la calidad del agua desde el punto de vista biológico con especial referencia a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua.

Es necesario evaluar la calidad biológica del agua de esta microcuenca pues aunque se espera que el agua en estado natural posea características que no representen riesgo para el suministro del agua a la comunidad, no hay que dejar de lado la influencia de las actividades antrópicas sobre el ecosistema acuático, las cuales pueden alterar las características que la hacen óptima en términos de oferta hídrica para abastecer acueductos y darle otros usos.

El análisis con base a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos brinda información necesaria sobre el estado biológico de la microcuenca que sumado a la caracterización físico-química hídrica permiten obtener conocimiento preciso sobre la calidad del agua, y además saber si las diferentes actividades antrópicas desarrolladas por las comunidades aledañas realmente tienen efectos negativos en el ecosistema acuático, lo que posteriormente servirá para la implementación de un sistema de gestión ambiental para el uso adecuado de esta fuente hídrica por parte de las comunidades beneficiadas y de las entidades encargadas de su manejo y control.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Determinar la calidad biológica del agua de la microcuenca El Quebradón, mediante el estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos empleados como bioindicadores, complementando con la caracterización de parámetros físico-químicos hídricos básicos.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en las tres estaciones de muestreo.
- Evaluar la calidad biológica del agua basándose en el índice biológico BMWP adaptado para Colombia.
- Caracterizar los parámetros físico-químicos hídricos básicos en las estaciones de muestreo de la microcuenca como complemento del análisis biológico.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1. Los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados son organismos acuáticos que se pueden ver a simple vista; normalmente poseen un tamaño mayor de 0.5 mm. dentro de estos se encuentran los poríferos, hidozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gastrópodos y bivalvos. 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 su superficie (Roldán *et al.*, 2001).

El uso de esta comunidad como bioindicadores se debe a varias propiedades: debido a su elevada diversidad taxonómica, su naturaleza sedentaria y los largos ciclos de vida de algunos grupos, que permiten el seguimiento espacial y temporal de las alteraciones; además que su muestreo es sencillo y económico (García de Jalón y González del Tánago, 1986; Camargo, 1993; Allan, 1995; Alonso *et al.*, 2005), (citado por Alonso, 2006). Son de una amplia distribución y se adaptan a diferentes variables físico-bióticas, por otro lado la rapidez, facilidad de los muestreos y resultados, y además nos dan una retrospectiva a los eventos de contaminación (Roldán, 2008).

4.2. Calidad del agua

La calidad del agua está definida por su composición química y por sus características físicas y biológicas, adquiridas a través de los diferentes procesos naturales y antropogénicos. Estos implican contacto y disolución de los componentes minerales de las rocas sobre las cuales el agua actúa como agente meteorizante, en sus diferentes estados de agregación (sólidos, líquidos y gaseoso). La calidad del agua natural su variación espaciotemporal se modifica por el influjo de las múltiples actividades socioeconómicas, de acuerdo con las características propias de estas dinámicas. Comúnmente la calidad del agua se expresa en términos de cantidades mesurables y relacionadas con su uso potencial (García, *et al.*).

El término calidad se refiere a las características que presentan los seres, los cuales permiten de alguna forma evaluarlos. Por eso al referirse al agua, se evalúan entonces sus componentes abióticos, (parámetros físicos y químicos), bióticos (fauna y flora, ambas en sus componentes micro y macro), y sus características ecológicas (redes e interacciones) (Zamora, 1999).

La calidad se refiere a la aptitud del agua para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es para bebida del hombre y de los animales, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para recreación (Roldán, 2008).

Alba-Tercedor, (1996), indica que el término “calidad” referido a las aguas continentales, no es un concepto absoluto ni de fácil definición. Por el contrario es un concepto relativo que depende del destino final del recurso.

4.3. Calidad biológica

Según Zamora, (1999), la buena calidad biológica de un ecosistema acuático se presenta cuando sus características naturales son optimas para el desarrollo de una comunidad biótica compleja con una alta diversidad y constituidas por organismos característicos o propios de aguas limpias. Es una propiedad determinada cualitativa y cuantitativamente por las características de la composición y estructura de la comunidad biótica en general o de una de las comunidades de un grupo de flora o fauna en particular.

Igualmente Alba-Tercedor, (1996), considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene unas características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que le son propias.

4.4. Indicador biológico

El uso de los macroinvertebrados acuáticos (y muy especialmente la clase Insecta) como indicadores de la calidad de las aguas de los ecosistemas (ríos, lagos o humedales) está generalizándose en todo el mundo (Prat *et. al.*, 1998).

En general, todo organismo es indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinados responden a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. Los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad del agua más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica (Arce, 2006).

Un indicador biológico acuático se ha considerado como aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema de manejo del recurso hídrico; más que a un solo organismo, se refiere a la población de individuos de la especie indicadora, y en el mejor de los casos, al conjunto de especies que conforman una comunidad indicadora (Pinilla, 2000).

El uso de especies para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tienen las siguientes ventajas (Pinilla, 2000).

Las especies y las comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes que en determinado momento un muestreo de variables físicas y químicas pasaría por alto.

La vigilancia biológica evita la determinación regular de un número excesivo de parámetros físicos y químicos, ya que los organismos confluyen muchas de estas variables

Como no es factible tomar muestras de toda la biota de un sistema acuático, la selección de algunas especies indicadoras simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema.

El principal uso que se les ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización) o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases, con miras a establecer la calidad del agua (Pinilla, 2000).

4.5. La contaminación del agua

La contaminación del agua se puede definir como la adición de sustancias alóctonas o microorganismos que deterioran su calidad. Varias clases de sustancias pueden llegar a contaminar el agua. Unas causan turbiedad, otras disminuyen el oxígeno disuelto, otras provocan cambios de pH, otras son tóxicas, algunas aumentan la salinidad y otras incrementan su temperatura (Roldán, 2008). Es importante percatarse de que todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, la lixiviación y los procesos de la intemperie. A esta contaminación natural se agrega aquella causada por aguas residuales de origen doméstico o industrial, que se pueden eliminar de varias maneras, por ejemplo en el mar, en la tierra, en estratos subterráneos o, más comúnmente, en aguas superficiales (Tebbutt, 1995).

El agua de un río puede ser influida de algún modo por los moradores de cada tramo que extraen nutrimento y vierten materiales de desecho; así modificada, el agua actúa luego sobre comunidades situadas aguas abajo (Margalef, 1981). De este modo el agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades, ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una comunidad se establezca permanentemente (Tebbutt, 1995).

4.6. Índice BMWP, adaptado para Colombia por Zamora, (2007)

Está basado en familias de macroinvertebrados acuáticos. El puntaje va de 1-10 de acuerdo con la tolerancia a la contaminación. Las familias más sensibles a la contaminación reciben una puntuación de 10, en cambio las más tolerantes de 1. La puntuación se asigna de acuerdo al grado de bioindicación. La suma de los puntajes de todas las familias en un sitio dado da el puntaje del BMWP/Col, determinando la calidad del agua (Zamora, 2007).

En el presente estudio se usa la adaptación del sistema BMWP/Col realizada por Zamora (2007), adaptado a las características biológicas y ecológicas de la comunidad de macroinvertebrados dulceacuícolas neotropicales.

4.7. Métodos de medición al nivel de especies

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa, beta y gamma (Whittaker, 1972) puede ser de gran utilidad, principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas (Halffter, 1998). La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Whittaker, 1972; Moreno, 2001).

4.7.1. Medición de la diversidad alfa

La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, los dividimos en dos grandes grupos: 1) Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica); 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.). Los métodos basados en la estructura pueden a su vez clasificarse según se basen en la dominancia o en la equidad de la comunidad (Moreno, 2001).

4.7.1.1. Medición de la riqueza específica

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces se recurre a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad. A continuación se describe un índice para medir la riqueza de especies (Moreno, 2001).

4.7.1.2. Índice de diversidad de Margalef (1958)

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

donde:

S = número de especies

N = número total de individuos de la muestra.

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S=k \cdot N$ donde k es constante (Magurran, 1998). Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando S-1, en lugar de S, da $DMg = 0$ cuando hay una sola especie (Moreno, 2001).

4.7.2. Índice de Shannon y Weaver (1949)

Se usa para medir la biodiversidad, contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio y la cantidad relativa de cada una de esas especies, lo que se traduce en riqueza de especies y abundancia de cada especie. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5.

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

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) se halla de la siguiente manera:

$$p_i = n_i / N$$

Donde:

n_i = número de individuos por especie.

N = número total de individuos en la muestra.

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

(Valores adaptados por Zamora, 2007).

4.7.3. Índice equidad de Pielou (1969)

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

donde $H'_{max} = \ln(S)$.

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

4.7.4. Índice de Simpson (1949)

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988).

4.7.5. Medición de la diversidad beta

La diversidad beta o diversidad entre hábitats es el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales (Whittaker, 1972). La medición de la diversidad beta está basada en proporciones o diferencias (Magurran, 1988). Estas proporciones pueden evaluarse con base en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (presencia-ausencia de especies) o cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etc.) (Moreno, 2001).

4.7.5.1. Coeficiente de Bray Curtis

El índice de Bray Curtis es una medida de similitud que enfatiza la importancia de las especies que se tienen en común entre los sitios de muestreo (Pielou, 1984).

Este índice se formula con el siguiente algoritmo:

$$S_B = 1 - \left[\frac{\sum |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum (X_{ij} + X_{ik})} \right]$$

Donde:

B= medida de Bray-Curtis entre las muestras j y k

= número de individuos de la especie i en la muestra j

= número de individuos de la especie i en la muestra k

S= número de especies

Ignora los casos en las que las muestras son ausentes en ambas muestras. Los valores de esta medida de similitud oscila de cero a uno y puede ser transformada en una medida de similitud, utilizando el complemento de Bray-Curtis (1 - B) (Ludwig & Reynolds, 1988; Chávez, *et al.*, 2005).

4.8. Parámetros físico-químicos del agua:

Según Roldán (2008), el agua presenta gradientes verticales y horizontales de luz, temperatura, nutrientes y gases que afectan también la distribución de los organismos. Su alta capacidad buffer evita cambios bruscos de pH que afectan la vida acuática.

4.8.1. Temperatura hídrica: La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que influyen sobre la velocidad en que se dan las actividades metabólicas dentro del cuerpo de agua y por consiguiente en los niveles de productividad primaria y desarrollo heterotrófico de la fauna (Vásquez, 2001).

4.8.2. Temperatura ambiental: La temperatura tiene un efecto constante sobre todos los seres vivos. Afecta a la tasa fotosintética y al almacenamiento de energía en las plantas. Influye en la necesidad de agua y en las velocidades de las reacciones químicas en todos los organismos vivos. Es un elemento clave en el clima, los microclimas y la distribución de los seres vivos (Smith, 2005).

4.8.3. Gases disueltos: Oxígeno disuelto, CO₂ y % de saturación de Oxígeno

Variaciones drásticas de O₂ y CO₂ en el ciclo día-noche ocasiona fuerte reducción de especies e incremento de su productividad (Roldán, 2008).

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto es considerado el factor ambiental más importante para la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de los organismos acuáticos. El oxígeno entra al agua por medio de la atmósfera o como producto de la fotosíntesis de las plantas, algas, y fitoplancton. El oxígeno utilizado por organismos acuáticos es un gas, y no es parte del oxígeno en la molécula del

agua (H₂O). La temperatura y velocidad del agua, y el viento juegan papeles importantes en la cantidad de oxígeno que entra al sistema acuático desde la atmósfera. El oxígeno se disuelve mejor en el agua fría que en agua cálida. La aeración del viento, y la turbulencia pueden incrementar la distribución del oxígeno a lo largo del sistema (Laidlaw, 1996).

CO₂: El CO₂ proviene de la respiración y la oxidación de la materia orgánica. El CO₂ en el agua desencadena una serie de reacciones químicas, la variación de su concentración produce cambios en el pH, los cuales en un medio estable, mantienen la capacidad buffer de esta, pero cuando el medio está alterado, los cambios de pH pueden ser limitantes para muchas especies. (Roldán, 2008). El CO₂, se considera indispensable en los ambientes acuáticos por estar relacionado con la actividad fotosintética (Palacio, 1990).

Porcentaje de saturación de oxígeno: es el porcentaje máximo de Oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinadas (Roldán, 2008).

4.8.4. Compuestos nitrogenados: Los principales compuestos nitrogenados presentes en la naturaleza, además del nitrógeno atmosférico y del nitrógeno en materias orgánicas, son nitratos, nitritos y amonio, siguiendo este orden respecto al estado de oxidación del elemento. La importancia del nitrógeno en el agua radica en que es el componente fundamental de las proteínas, las cuales constituyen la base estructural de los seres vivos (Roldán, 2008).

Si bien el nitrógeno atmosférico puede ser fijado por ciertos microorganismos (terrestres y acuáticos) los compuestos nitrogenados de las aguas previenen en general de las materias orgánicas o vegetales que acceden al medio hídrico (aquí entraría en escena el componente de la contaminación humana) así como de la disolución de rocas (nitratos) (Marín, 2003).

4.8.5. pH: Nos indica la concentración de hidrogeniones en el agua, el pH regula muchos de los procesos químicos y fisiológicos del sistema. Para el desarrollo normal de la biota acuática, los valores limitantes están en el rango 4.5-8.5, siendo el pH fisiológicamente óptimo entre 7.0-7.4 (Vásquez, 2001).

El agua con un pH ácido puede ser perjudicial para los organismos acuáticos, afectando principalmente a invertebrados y a embriones de peces (Laidlaw, 1996).

4.8.6. Iones disueltos: Hierro y Calcio

Hierro: El hierro presente en un agua proviene de la disolución de rocas y minerales que lo contienen, así como de las aguas residuales procedentes de la producción de acero y otros materiales (Marín, 2003). El hierro constituye el elemento esencial para la síntesis de pigmentos respiratorios (hemoglobina); también hace parte de numerosas enzimas, como la peroxidasa, la catalasa, el citocromo-oxidasa y la nitrogenasa, también es esencial para la fotosíntesis ya

que hace parte de al menos dos citocromos que transfieren electrones durante este proceso (Roldán, 2008).

Calcio: Elemento sumamente frecuente, normalmente forma sales solubles con muchos aniones (bicarbonato, sulfato, cloruro, fluoruro...) lo que lo convierte en el catión mayoritario de las aguas, superando como media los 20 mg/L (Marín, 2003). El Calcio es indispensable para la formación de conchas y huesos, importante para el metabolismo, para la formación de huevos y dientes (Roldán, 2008).

4.8.7. El concepto de dureza: Desde el punto de vista limnológico, la dureza la definen la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella. Las aguas con valores bajos de dureza se llaman también aguas blandas y biológicamente son poco productivas. Por el contrario, aguas con altos valores de dureza se denominan duras y, por lo regular, son muy productivas (Roldán, 2008).

4.8.8. Alcalinidad: Representa la capacidad de un sistema acuático para neutralizar los ácidos, esta capacidad depende de algunos compuestos, principalmente bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, siendo este último anión raro en la mayoría de aguas naturales, ocurriendo en aguas cuyo pH es superior a 10. La alcalinidad refleja, en última instancia, la capacidad que un ecosistema acuático presenta para neutralizar (tamponar) ácidos adicionados (Esteves, 1988). Desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de aguas naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis, además tiene interacciones con el proceso de respiración celular.

5. METODOLOGÍA

5.1. Descripción del área de estudio

El Municipio de San Agustín, se encuentra ubicado al Sur Occidente del Departamento del Huila, enclavado en las estribaciones del macizo colombiano, enmarcado por las cordilleras Central y Oriental que se bifurcan en esta zona; presenta una extensión de 1.359 Km², su altura sobre el nivel del mar es de 1695 m; con una temperatura media de 18°C, una precipitación media anual de 1,237 mm.; limita al Norte con los Municipios de Isnos y Puracé (Cauca), al Sur, con los Municipios de San Sebastián y Santa Rosa (Cauca), al Oriente con el Municipio de Pitalito, y al Occidente con los Municipios de Puracé y Sotará (Cauca). (Concejo Municipal de San Agustín, 2009).

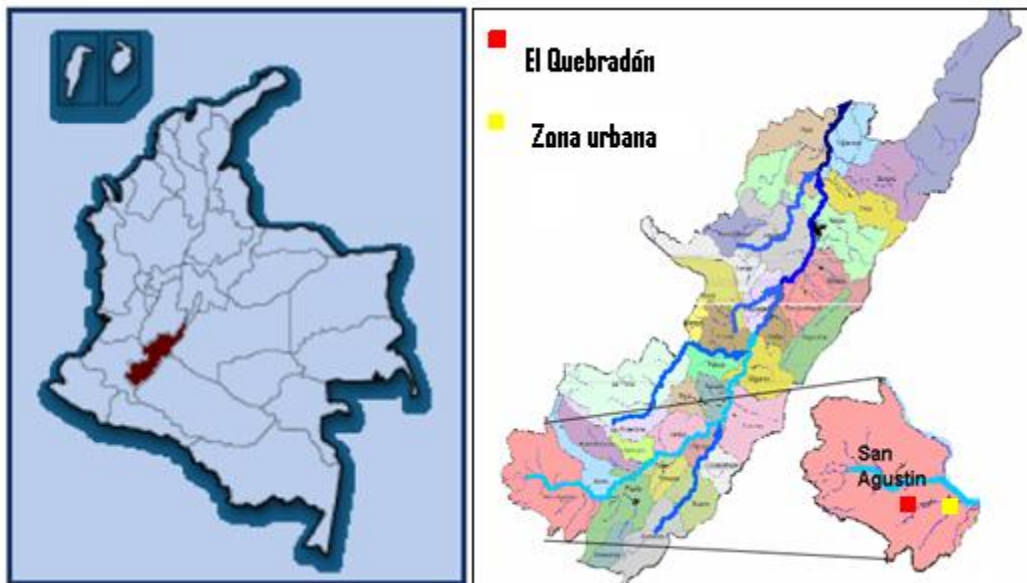


Figura 1. Ubicación del Departamento del Huila en Colombia y ubicación del Municipio de San Agustín en el Departamento del Huila; en rojo se localiza la zona de estudio El Quebradón y en amarillo la zona urbana del municipio de San Agustín.

Fuente: sanagustínhuila.gov.co .

La zona de estudio, la microcuenca El Quebradón, comprende un área total de 12,837 Km², tiene una longitud aproximada de 10,22 Km desde su nacimiento en la vereda La Candela hasta la desembocadura en el río Naranjos, atraviesa las veredas El Quebradón, Saldaña, Arauca y Mesitas, comprende alturas entre 1.700 y 2.200 msnm, el clima es frío moderado y templado, con temperaturas entre 14°C y 24° C; con precipitaciones que van desde los 600- 1000 mm/año; la topografía de la microcuenca se caracteriza por tener zonas onduladas y otras con sectores

quebrados con pendientes que oscilan entre 25% a 45% (Alcaldía Municipal, 2010).

Según Holdridge (1967), la microcuenca corresponde a la zona de vida bosque húmedo Premontano (bh-PM) y bosque húmedo Montano bajo (bh-MB); y según Cuatrecasas (1958), conforma la zona de vida de Selva Subandina (1000-2400 msnm).

El nacimiento de la microcuenca está impactado negativamente por la ganadería a pequeña escala que se presenta en las dos márgenes, las cuales no poseen una gran cobertura vegetal nativa, hay deforestación y se observan plantaciones de especies exóticas como pino (*Pinus sp.*) y Mirtaceás (*Eucalyptus sp.*), las cuales tienen efectos negativos sobre los ecosistemas naturales, por presentar un mayor consumo de agua y nutrientes en comparación con otras especies vegetales y afectan la fertilidad del suelo (Hofstede, 1998).



Figura 2. Área de estudio, en rojo se ubican las estaciones de muestreo en la microcuenca El Quebradón.

Fuente: Alcaldía Municipal de San Agustín, 2010.

Tabla 1. Georeferenciación de los sitios de muestreo.

Estación	N:	W:	Altitud (msnm)
Estación 1 Bocatoma La Estrella	1°53'08,2"	76°33'40.7"	1864
Estación 2 Bocatoma San Agustín	1°53'08.0"	76°18'50.4"	1725
Estación 3 Antes de desembocar al río Naranjos	1°52'32.2"	76°18'10.5"	1581

5.1.1. Cobertura vegetal cuenca el Quebradón

La vegetación nativa es característica de bosques andinos y alto andinos, existen aún pequeños parches aislados sobre la margen de la quebrada y en nacimientos; algunas especies nativas son el roble (*Quercus humboldtii*), cedro negro (*Juglans sp.*), mondey, mestizo, manteco, morochillo, buesillo, balsero (en vía de extinción), palma reina, mano de oso, cauchos, palo bobo, sietecueros, helecho macho, asociados a especies arbustivas de las familias piperáceas, anacardiáceas, melastomatáceas, aráceas y bromeliáceas (Alcaldía municipal, 2010).

5.1.2. Determinación de las estaciones de muestreo

Las tres estaciones de muestreo se seleccionaron teniendo en cuenta las actividades antrópicas con mayor influencia como la ganadería, las actividades agrícolas y descargas de residuos domésticos provenientes de las viviendas aledañas a la microcuenca.

La estación 1 está ubicada en la vereda El Quebradón, aproximadamente a unos 50 m. antes de la bocatoma del acueducto surtidor de la vereda La Estrella, se caracteriza por ser una zona ligeramente inclinada, el uso de los suelos aguas arriba son principalmente para ganadería extensiva, por lo que la cobertura vegetal es escasa incluyendo los márgenes de la microcuenca, solo hay parches de bosques a la rivera, también se observan pequeños cultivos de caña, arveja, frijol y café (figura 3).

En esta zona hay escasa vegetación riverena herbácea contigua a la orilla de la quebrada; el sustrato es rocoso con piedras de tamaño grande a pequeño, que van intercalándose en el lecho, hay abundante material vegetal (hojarasca y ramas); sus aguas son transparentes, frías (promedio de 17.25 °C), poco profundas (10-20 cm), la velocidad de la corriente es suave, la exposición del espejo de agua al sol es escasa porque el dosel lo impide. Hay pequeños afluentes que aportan sus aguas contribuyendo a la dilución de la materia orgánica.

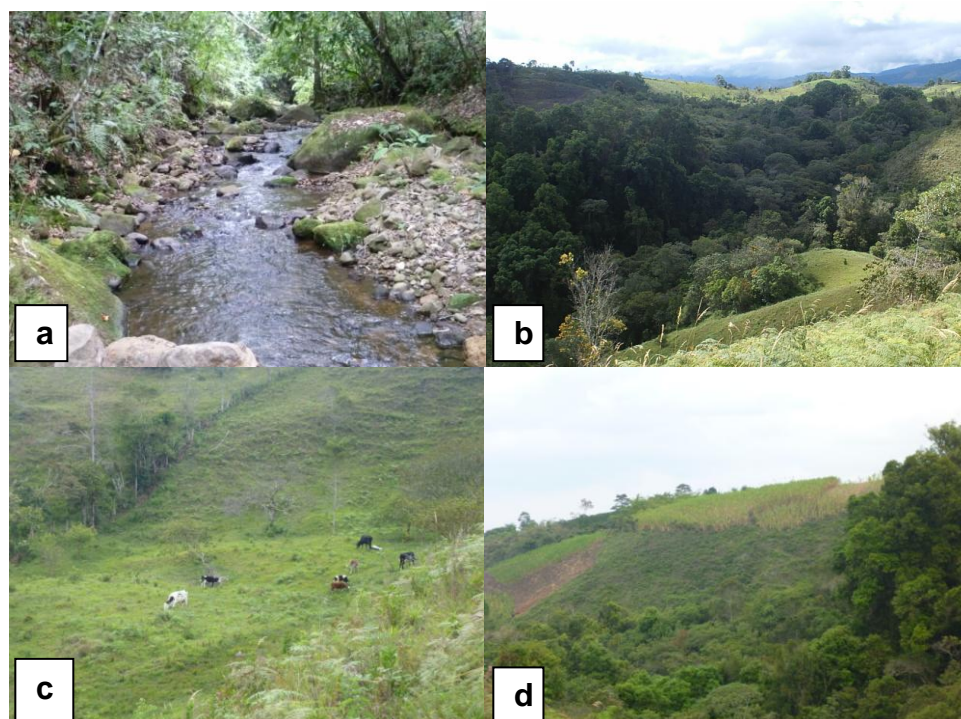


Figura 3. Estación 1. (a) Vegetación rivereña, (b) cobertura vegetal en las márgenes de la cuenca, (c) ganadería, (d) cultivos de caña y café cercanos a la microcuenca.

La estación 2 se encuentra ubicada aproximadamente a unos 50 m. antes de la segunda bocatoma que abastece el Municipio de San Agustín, entre las veredas Mesitas y Arauca, se caracteriza por ser una zona fuertemente inclinada, moderadamente quebrada, la mayor parte de los suelos de esta zona son utilizados para cultivos como: arveja, plátano, lulo, caña y principalmente café, es importante resaltar que algunos cultivos se encuentran dentro del área de conservación de la microcuenca. Las aguas son transparentes, frías (promedio de 18.25 °C), 15-30 cm de profundidad, el sustrato es rocoso, y velocidad de la corriente es suave.

Algo para destacar es que las entidades municipales han iniciado un programa de reforestación con especies nativas en las riveras de esta zona, en vista de que la vegetación natural en sus márgenes ha sido talada para establecer cultivos. (Figura 4).



Figura 4. Estación 2. (a) cultivos dentro del área de conservación de la cuenca, (b y c) canales para aguas residuales de las casas aledañas, (d) reforestación con especies nativas.

La estación 3 ubicada en la parte baja aproximadamente a unos 100 m. antes de la desembocadura de la microcuenca en el río Naranjos, se caracteriza por ser una zona fuertemente inclinada, moderadamente quebrada, el sustrato con piedras de diferente tamaño da lugar a zonas de corrientes rápidas, lentas y remansos, está influenciada por cultivos y residuos domésticos.

La vegetación arbórea es escasa por lo que aumenta la cantidad de luz solar en este punto, la vegetación rivereña la constituyen principalmente herbáceas; hay una carretera que pasa por esta zona afectando el recorrido del cauce (Figura 5).



Figura 5. Estación 3. (a) Sustrato con piedra de diferente tamaño, (b) el paso de la vía de transporte.

5.2. Fase de campo

La propuesta investigativa se desarrolló en un periodo de cuatro meses: Junio, Agosto, Septiembre y Octubre del año 2011. La toma de muestras se llevó a cabo en cada una de las estaciones antes mencionadas.

5.2.1. Muestreo de macroinvertebrados acuáticos

Para la recolección de macroinvertebrados se empleó la red de pantalla; utilizada para muestras cualitativas, la cual consiste en una red de malla plástica con área de 1m^2 y ojo de malla de 0.7 mm sujeta a cada lado por dos palos de 1.5 m. , se coloca la malla en contra de la corriente sobre el fondo y otra persona remueve 1 m^2 de sustrato. De esta manera los macroinvertebrados removidos son atrapados (Roldán, 2008), se realizaron tres repeticiones, muestreando las orillas y el centro de la microcuenca por un tiempo de 10 minutos. Se empleó también la colecta manual con la ayuda de una pinza de punta fina, en piedras y material vegetal sumergido.

Los macroinvertebrados acuáticos se preservaron en recipientes plásticos con alcohol al 70%, con su respectivo rótulo de campo, indicando georeferenciación, fecha, lugar de recolección, estación y número de muestreo.

5.2.2. Determinación de Parámetros físico-químicos

El registro de los parámetros físico-químicos se realizó directamente en las estaciones de muestreo. La temperatura hídrica se midió con termómetro de vidrio; por medio del termómetro ambiental se registró temperatura ambiental y humedad relativa; las demás variables físico-químicas como pH, Oxígeno disuelto, dióxido de Carbono (CO_2), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), Hierro (Fe), Calcio (Ca), dureza carbonácea, dureza total, alcalinidad y acidez, se determinaron por medio de métodos colorimétricos estandarizados, tipo Kit

AquaMerck; para calcular el porcentaje de saturación de Oxígeno se hizo teniendo en cuenta la altitud y el Oxígeno disuelto.

5.3. Fase de laboratorio

5.3.1. Identificación de macroinvertebrados acuáticos

Las muestras de macroinvertebrados acuáticos se separaron para conteo e identificación con ayuda de un estereomicroscopio en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca; la clasificación taxonómica se llevó a cabo con la ayuda de claves taxonómicas especializadas en el estudio de estos organismos, tales como: (Merrit & Cummins, 1996; Epler, 1996; Needham & Needham, 1982; Roldán, 1996, 2003; Machado, 1989; Domínguez & Fernández, 2009), los macroinvertebrados acuáticos se determinaron hasta el menor taxón posible (género), teniendo en cuenta el número total de individuos por phylum, clase, orden, familia, género y el número total de individuos de la muestra.

6. ANÁLISIS DE DATOS

Posterior al trabajo de laboratorio se procedió a hacer el procesamiento de la información mediante los análisis de abundancia, presencia–ausencia y la aplicación de los índices ecológicos de: Shannon-Weaver y riqueza de Margalef para calcular la diversidad del ecosistema; además los índices de equidad de Pielou, dominancia de Simpson; se realizó además el análisis de similitud de Bray Curtis para comparar las especies que se tienen en común entre las estaciones, y un análisis de correspondencia canónica para conocer como se relacionan y asocian los parámetros físico-químicos con la distribución de los macroinvertebrados; para esto se utilizó el programa Past exe y finalmente se calculó el índice BMWP/Col, adaptado por Zamora 2007, para determinar la calidad del agua en las diferentes estaciones.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca El Quebradón.

Durante el período de estudio el número total de individuos colectados en las tres estaciones de muestreo fue de 2584 especímenes pertenecientes a 5 phylum, 16 órdenes, 40 familias y 63 géneros. Ver tabla 3.

Los órdenes más diversos son Coleoptera con 4 familias y 11 géneros, seguida por Diptera con 7 familias, 3 subfamilias y 10 géneros, Trichoptera con 7 familias y 9 géneros, Odonata con 4 familias y 6 géneros, Hemiptera con 3 familias y 6 géneros, Ephemeroptera con 4 familias y 5 géneros, Lepidoptera con 2 familias y 4 géneros, Plecoptera, Megaloptera, Tricladida, Amphipoda, Veneroidea, Gordioidea y Basommatophora, Hirudiniformes y Haplotaxida con 1 familia y 1 género.

La abundancia a nivel de los géneros reportó para *Leptonema* sp. 45.8% del total de los organismos colectados, seguido por *Helicopsyche* sp. con 5.26%, *Macrothemis* sp. con 5.03%, *Cryphocricos* sp. 4.41%, *Phylloicus* sp. 4.06%, *Anchytarsus* sp. 3.02%, *Hetaerina* sp. 2.09%, *Chimarra* 2.63%, subfamilia Orthoclaadiinae 2.4%, *Hyaella* sp. 2.36%, *Dugesia* sp. 2.05%, *Smicridea* sp. 1.82%, subfamilia Chironominae 1.74%, *Rhagovelia* sp. 1.59, *Procryphocricos* sp. 1.59, *Polythore* sp. 1.39, *Baetodes* sp. 1.16%, *Simulium* sp. y subfamilia Tanypodinae 1.08%, *Brachymetra* sp., *Psidium* sp., *Leptohyphes* sp., *Gordius* sp., *Phyllogomphoides* sp., *Haplohyphes* sp., *Mortoniella* sp., *Anacroneuria* sp., *Limonia* sp., *Corydalus* sp., *Lymnaea* sp., *Lumbriculidae* NN, *Limnocoris* sp., *Tabanus* sp., *Tipula* sp., *Atherix* sp., *Tricorythodes* sp., c.f *Brechmorhoga* sp., *Macrelmis* sp., *Microcyloepus* sp., *Phyeitinae* sp., c.f *Optioservus* sp., *Glossosomatidae* NN, *Triplectides* sp., *Heterelmis* sp., *Husseyella* sp., *Macrobdellidae* NN, *Cyloepus* sp., *Elmidae* NN, *Hemerodromia* sp., *Empididae* NN, *Ceratopogonidae* NN, *Molophilus* sp., *Pyralidae* NN, *Petrophila* sp., *Parapoynx* sp., *Elmoparnus* sp., *Holcodryops* sp., *Atopsyche* sp., *Hexatoma* sp., cf. *Dythemis* sp., *Diseris* sp., *Coleoptera* NN y *Thraulodes* sp. menos del 1% (Figura 8).

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos hallados en la microcuenca El Quebradón posee una alta variedad de adaptaciones morfológicas y de comportamiento para poder aprovechar los diferentes recursos tróficos que ofrece un ecosistema acuático. Podemos encontrar invertebrados que se alimentan de restos vegetales en descomposición procedentes principalmente de la vegetación de ribera (hojas, ramas, raíces, etc.), a estos invertebrados se les denomina desmenuzadores, entre ellos los anfipodos que son pequeños crustáceos y algunas especies de tricópteros y plecópteros; otros invertebrados se les denomina colectores, ya que se alimentan de pequeñas partículas orgánicas en

suspensión (colectores-filtradores) o depositadas en el fondo (colectores-recogedores), a este grupo pertenecen numerosas especies de dípteros y tricópteros. Para poder capturar estas partículas (inferiores a 1 mm de diámetro) algunos invertebrados presentan adaptaciones morfológicas específicas, como puede ser premandíbulas dotadas de pequeños elementos que permiten retener las partículas en suspensión. Otro recurso trófico es el perifitón, el cual crece alrededor de los sustratos sumergidos que reciben suficiente luz, y que está formado principalmente por algas microscópicas autótrofas, hongos y bacterias. Este recurso es utilizado por muchos invertebrados, entre ellos los moluscos gasterópodos que por medio de la rádula consiguen arrancarlo, debido a este mecanismo de alimentación a estos invertebrados se les denomina raspadores. Otros invertebrados se alimentan de animales vivos y son por tanto depredadores, las presas más habituales son otros invertebrados o pequeños alevines de peces y renacuajos. Los mecanismos de depredación pueden ser al acecho, como es el caso de algunas larvas de libélulas que enterradas en el sedimento detectan el movimiento en la superficie y proyectan su mandíbula hacia afuera para capturar a la presa, o por búsqueda activa como puede ser las planarias que deslizándose por el lecho buscan pequeñas presas, y una vez localizadas las inmovilizan por medio de neurotoxinas, alimentándose de los fluidos internos de las mismas (Alonso, 2005).

7.1.1. Valor promedio de índices de diversidad, equidad y BMWP

Los resultados presentados en la tabla 2 muestran que no hay grandes variaciones en los valores promedios de los diferentes índices aplicados para las 3 estaciones muestreadas, lo que indica una homogeneidad en cuanto a diversidad, riqueza de especies, equidad, dominancia y calidad del agua según el BMWP/Col, resultado de la similitud de factores climáticos a lo largo del estudio, distancia entre los puntos de muestreo, calidad físico-química del agua y disponibilidad de sustrato y alimento para los macroinvertebrados acuáticos, lo que determina que la distribución y abundancia de los organismos acuáticos sea de manera homogénea en las 3 zonas.

Tabla 2. Valores promedio de los índices obtenidos para cada estación de muestreo

Estación	Shannon	Margalef	Pielou	Simpson	BMWP
1	2.07	4.04	0.64	0.70	145
2	2.03	3.88	0.67	0.75	141
3	1.96	3.95	0.65	0.71	123

7.1.2. Riqueza en las tres estaciones de muestreo

En la figura 6, se observa la riqueza de órdenes, familias y géneros hallados en las tres estaciones muestreadas. La riqueza de los taxa por categoría taxonómica: orden, familia y género mostraron pocas variaciones. Las estaciones 1 y 2 presenta uniformidad en cuanto a la cantidad de las categorías taxonómicas halladas, la estación 1 tiene: 11 órdenes, 28 familias y 39 géneros y la estación 2 tiene: 12 órdenes, 28 familias y 37 géneros. La estación 3 presenta la mayor riqueza con 16 órdenes, 32 familias y 43 géneros. Es importante resaltar la uniformidad registrada en cuanto a órdenes, familias y géneros en las tres estaciones lo que podría indicar que la microcuenca tiene unas condiciones similares físico-químicas y biológicas desde la estación 1 hasta la desembocadura, o que los tensores no afectan de manera significativa el ecosistema y se recupera favorablemente para el desarrollo de la fauna bentónica diversa, lo que se evidencia con los valores promedios del índice de equidad de Pielou en las tres estaciones. Estación 1: 0.64, estación 2: 0.67 y estación 3: 0.65, los cuales reflejan la distribución de las abundancias de los organismos de manera homogénea en las tres zonas. Igualmente para el índice de Simpson el cual indica la dominancia de algunos géneros en las tres estaciones, como *Leptonema sp.* y *Helicopsyche sp.*, los valores promedios de dicho índice por estación se relacionan a continuación: estación 1: 0.7, estación 2: 0.75 y estación 3: 0.71 (Tabla 2).

7.1.3. Abundancia en las tres estaciones de muestreo

En la figura 7 se presentan las abundancias por estación y por mes de muestreo, cabe mencionar que se presentaron lluvias todo el periodo de estudio, en el mes 1 se registra la menor abundancia del total de los muestreos, debido a que Junio (M1) fue época de lluvias altas, de acuerdo a Resh, *et al.* (1988), las precipitaciones afectan a la velocidad de la corriente y a la descarga, variables que en los ríos tropicales son importantes reguladores de las comunidades acuáticas, lo que se reflejó en la baja abundancia de los macroinvertebrados acuáticos con 313 individuos colectados; en Agosto (M2) con 864 individuos colectados y Septiembre (M3) con 599 individuos; en estos dos meses las precipitaciones habían disminuido un poco lo que evito el arrastre de materiales, favoreciendo la disponibilidad de microhábitats y alimento, de igual manera en Octubre (M4) con 818 individuos, permitiendo estabilidad en el sustrato de la microcuenca.

La estación 1 se destaca por presentar los máximos valores de abundancia a lo largo del muestreo sin importar las condiciones climáticas, probablemente debido a que es una zona con una pendiente moderada lo que disminuye la fuerza de la corriente y el arrastre de material vegetal, piedras y troncos, además no se observaron deslizamientos cerca a la zona de estudio, la vegetación ribereña que aunque no es muy abundante sirve como barrera reteniendo sedimentos que puedan afectar el agua, y finalmente el impacto de las actividades antrópicas es bajo.

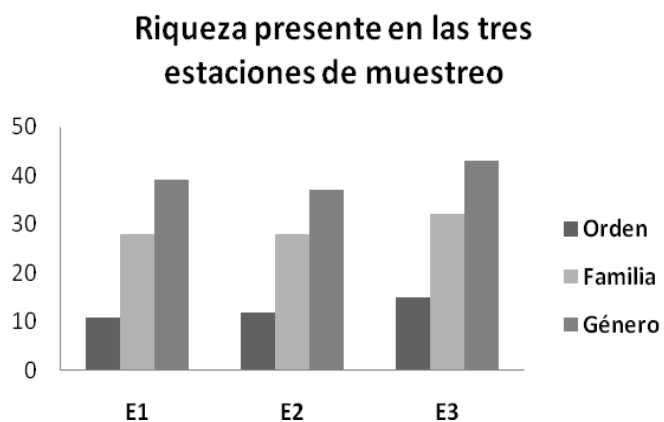


Figura 6. Riqueza presente en las tres estaciones. Estación 1 (E1), estación 2 (E2), estación 3 (E3).

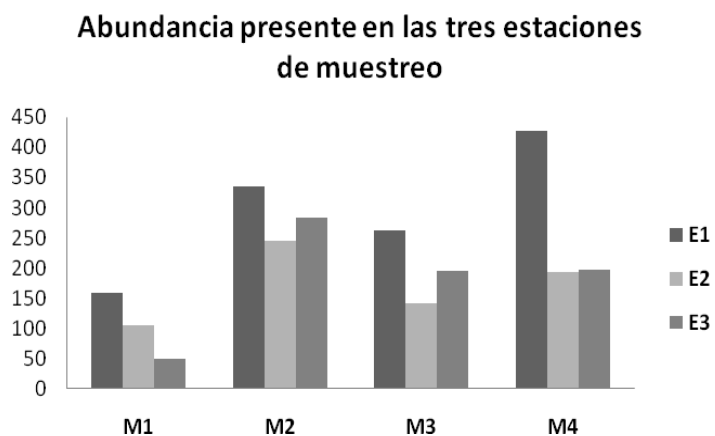


Figura 7. Abundancia encontrada en las tres estaciones, Junio (M1), Agosto (M2), Septiembre (M3), Octubre (M4).

Tabla 3. Macroinvertebrados acuáticos presentes en las tres estaciones de muestreo.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	E1	E2	E3	Total individuos	Abundancia porcentual				
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema sp.</i>	549	324	312	1185	45.8				
				<i>Smicridea sp.</i>	15	5	27	47	1.82				
				<i>Chimarra sp.</i>	37	31	0	68	2.63				
				<i>Phylloicus sp.</i>	63	35	7	105	4.06				
				<i>Helicopsyche sp.</i>	35	21	80	136	5.26				
				<i>Mortoniella sp.</i>	4	4	5	13	0.50				
				NN	0	2	0	2	0.08				
				<i>Atopsyche sp.</i>	0	0	1	1	0.04				
				<i>Triplectides sp.</i>	2	0	0	2	0.08				
				Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria sp.</i>		0	8	2	10	0.39	
				Odonata	Libellulidae	<i>Macrothemis sp.</i>		43	41	46	130	5.03	
							<i>c.f Brechmorhoga sp.</i>	0	0	3	3	0.12	
		<i>c.f Dythemis sp.</i>	1				0	0	1	0.04			
		<i>Phyllogomphoides sp.</i>	11				2	0	13	0.50			
		<i>Hetaerina sp.</i>	27				19	29	75	2.90			
		<i>Polythore sp.</i>	27				9	0	36	1.39			
		Coleoptera	Elmidae				<i>Macrelmis sp.</i>		0	1	2	3	0.12
								<i>Microcylloepus sp.</i>	2	1	0	3	0.12
								<i>Cylloepus sp.</i>	1	0	0	1	0.04
								NN	0	1	0	1	0.04
				<i>c.f Optioservus sp.</i>	3	0		0	3	0.12			
				<i>Disersus sp.</i>	1	0		0	1	0.04			
				<i>Heterelmis sp.</i>	2	0		0	2	0.08			

Continuación tabla 3

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	E1	E2	E3	Total individuos	Abundancia porcentual
			Dryopidae	<i>Elmoparnus sp.</i>	0	0	1	1	0.04
				<i>Holcodryops sp.</i>	0	1	0	1	0.04
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus sp.</i>	52	24	2	78	3.02
			NN	NN	0	0	1	1	0.04
		Ephemeroptera	Baetide	<i>Baetodes sp.</i>	0	1	29	30	1.16
			Leptohyphydae	<i>Leptohyphes sp.</i>	0	2	16	18	0.69
				<i>Haplohyphes sp.</i>	6	5	2	13	0.50
			Tricorythidae	<i>Tricorythodes sp.</i>	1	0	2	3	0.12
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes sp.</i>	1	0	0	1	0.04
		Diptera	Simuliidae	<i>Simulium sp.</i>	14	8	6	28	1.08
			Tabanidae	<i>Tabanus sp.</i>	1	5	0	6	0.23
			Tipulidae	<i>Tipula sp.</i>	4	1	0	5	0.19
				<i>Molophilus sp.</i>	1	0	0	1	0.04
				<i>Limonia sp.</i>	8	0	2	10	0.39
				<i>Hexatoma sp.</i>	0	0	1	1	0.04
			Athericidae	<i>Atherix sp.</i>	4	1	0	5	0.19
			Empididae	<i>Hemerodromia sp.</i>	0	0	1	1	0.04
				NN	0	0	1	1	0.04
			Ceratopogonidae	NN	0	0	1	1	0.04
			Chironomide	Subf. <i>Othocladiinae</i>	37	11	14	62	2.34
				Subf. <i>Tanypodinae</i>	24	3	1	28	1.08
				Subf. <i>Chironominae</i>	25	11	9	45	1.74
		Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos sp.</i>	22	66	26	114	4.41
				<i>Procryphocricos sp.</i>	31	5	3	39	1.51
				<i>Limnocoris sp.</i>	0	1	5	6	0.23
			Gerridae	<i>Brachymetra sp.</i>	21	0	1	22	0.85

Continuación tabla 3

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	E1	E2	E3	Total individuos	Abundancia porcentual
			Veliidae	<i>Husseyella sp.</i>	0	0	2	2	0.08
				<i>Rhagovelia sp.</i>	5	8	28	41	1.59
		Lepidoptera	Pyrilidae	<i>Phyeitinae sp.</i>	2	0	1	3	0.12
				<i>NN</i>	0	1	0	1	0.04
			Crambidae	<i>Petrophila sp.</i>	0	1	0	1	0.04
				<i>Parapoynx sp.</i>	0	0	1	1	0.04
	Crustacea	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella sp.</i>	60	0	1	61	2.36
		Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis sp.</i>	0	0	9	9	0.35
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia sp.</i>	26	18	9	53	2.05
Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Lumbriculidae	<i>NN</i>	0	2	5	7	0.27
	Hirudinea	Hirudiniformes	NN	<i>NN</i>	0	0	2	2	0.08
Nematomorpha		Gordioidea	Gordiidae	<i>Gordius sp.</i>	8	4	3	15	0.58
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Lymnaeidae	<i>Lymnaea sp.</i>	0	0	8	8	0.31
	Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae	<i>Psidium sp.</i>	7	3	8	18	0.69
TOTAL					1183	686	715	2584	100%

Estructura de la comunidad de MAEs por abundancias totales de géneros presentes en la microcuenca El Quebradón

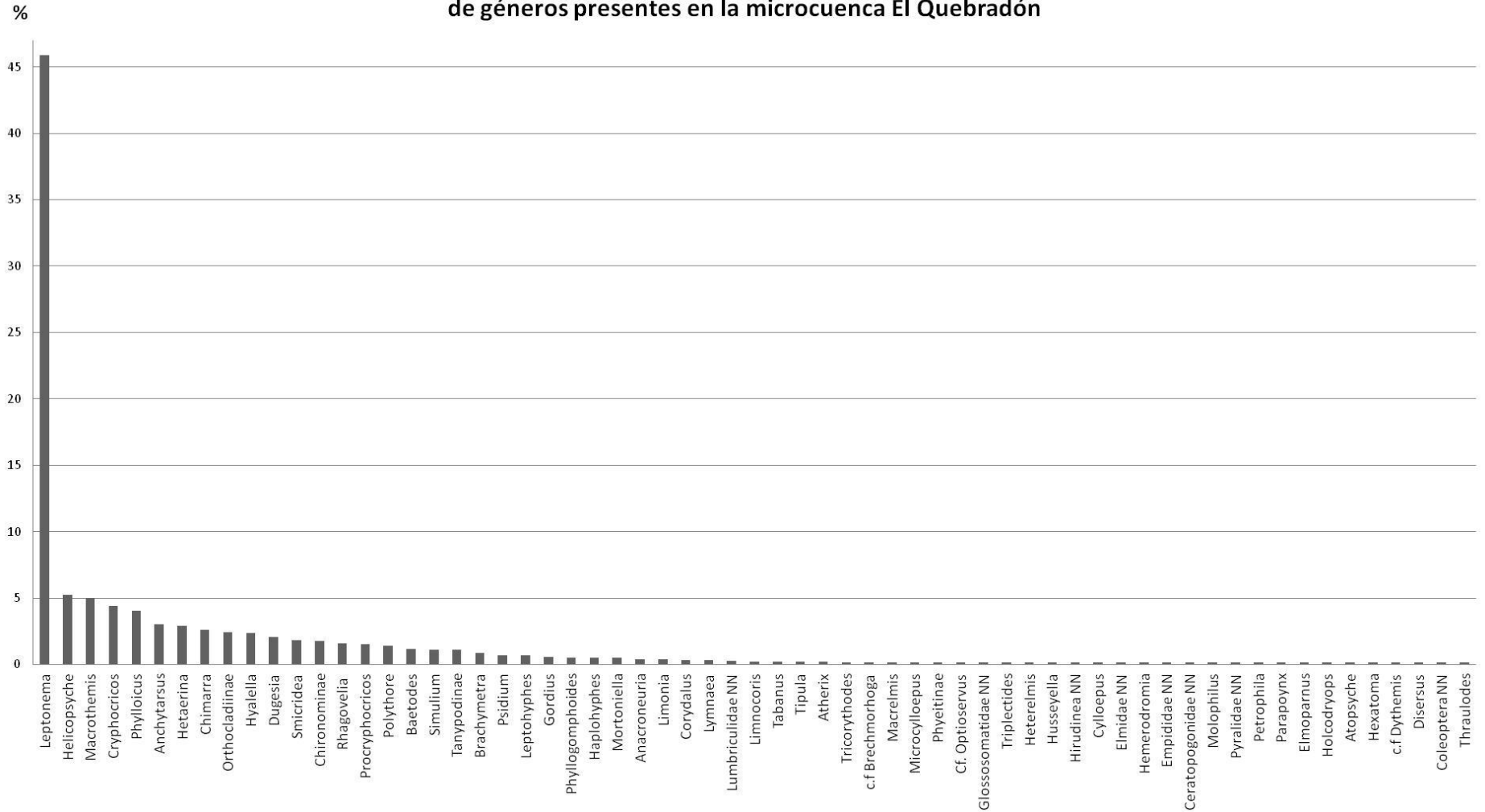


Figura 8. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en La microcuenca El Quebradón.

7.2. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por estaciones de muestreo.

7.2.1. Estación 1

La estación 1 está ubicada en la vereda El Quebradón, antes de la bocatoma que surte el acueducto La Estrella, las aguas en esta zona son transparentes y frías, el sustrato lo constituyen las rocas y el material vegetal.

En la figura 9 se observa la abundancia de 39 géneros pertenecientes a 28 familias y 11 órdenes colectados. Los órdenes presentes y su respectiva riqueza son: Diptera con 5 familias y 9 géneros Trichoptera con 6 familias y 7 géneros, Odonata con 4 familias y 5 géneros, Hemiptera con 3 familias y 4 géneros, Ephemeroptera con 3 familias y 3 géneros, Coleoptera con 2 familias y 6 géneros, Lepidoptera, Tricladida, Amphipoda, Veneroidea y Gordioidea con 1 familia y 1 género, se colectaron en total 1183 individuos.

La abundancia porcentual a nivel de géneros reportó para *Leptonema sp.* 46.4%, *Phylloicus sp.* 5.33%, *Hyalella sp.* 5.07%, *Anchytarsus sp.* 4.4%, *Macrothemis sp.* 3.63%, *Chimarra sp.* y subfamilia Orthoclaadiinae 3.13%, *Helicopsyche sp.* 2.96%, *Procrystocricus sp.* 2.62%, *Polythore sp.* y *Hetaerina sp.* 2.28%, *Dugesia sp.* 2.20%, subfamilia Chironominae 2.11%, subfamilia Tanypodinae 2.03%, *Cryphocrycos sp.* 1.86%, *Brachymetra sp.* 1.78%, *Smicridea sp.* 1.27%, *Simulium sp.* 1.18%, *Phyllogomphoides sp.* 0.93%, *Limonia sp.* y *Gordius sp.* 0.68%, *Psidium sp.* 0.59%, *Haplohyphes sp.* 0.51%, *Rhagovelia sp.* 0.42%, *Mortoniella sp.*, *Atherix sp.* y *Tipula sp.* 0.34%, *Optioservus sp.* 0.25%, *Heterelmis sp.*, *Triplectides sp.*, *Microcylloepus sp.* y *Phyeitinae sp.* 0.17%, *Dythemis sp.*, *Cylloepus sp.*, *Disersus sp.*, *Tricorythodes sp.*, *Thraulodes sp.*, *Tabanus sp.* y *Molophilus sp.* con 0.08% (Figura 9).

La distribución de la comunidad está dominada por el género *Leptonema sp.*, habita aguas corrientes con mucha vegetación, indicador de aguas limpias a moderadamente contaminadas (Roldán, 1996), seguido por *Phylloicus sp.*, *Anchytarsus sp.*, *Macrothemis sp.*, *Chimarra sp.*, *Helicopsyche sp.* y *Polythore sp.*; propios de ambientes poco intervenidos, aunque también están presentes el género *Hyalella sp.* indicador de enriquecimiento con materia orgánica y géneros de las subfamilias Orthoclaadiinae, Tanypodinae y Chironominae, indicadores de contaminación orgánica (Figura 9). La presencia de estos organismos indicadores de contaminación podría atribuirse a los efectos de la escorrentía que llega al cuerpo de agua aportando materia orgánica, pues durante los meses muestreados se presentaron lluvias lo que favorece el arrastre de material alóctono proveniente de las actividades agrícolas, domésticas y ganaderas. Las lluvias pudieron generar una perturbación importante que afectó la presencia de algunos géneros como *Anacroneuria sp.*, ya que éste comprende un grupo de organismos poco tolerantes a la contaminación ambiental producto de las actividades humanas, por lo que las

poblaciones están restringidas predominante a ríos de aguas limpias bien oxigenadas y con corrientes rápidas (Alba-Tercedor, 1996), o bien se puede inferir que hay una escasez de nutrientes en el sistema, razón por la que no se halló el género *Anacroneturia* sp., además de que se encontró la menor riqueza de Ephemeropteros en esta zona.

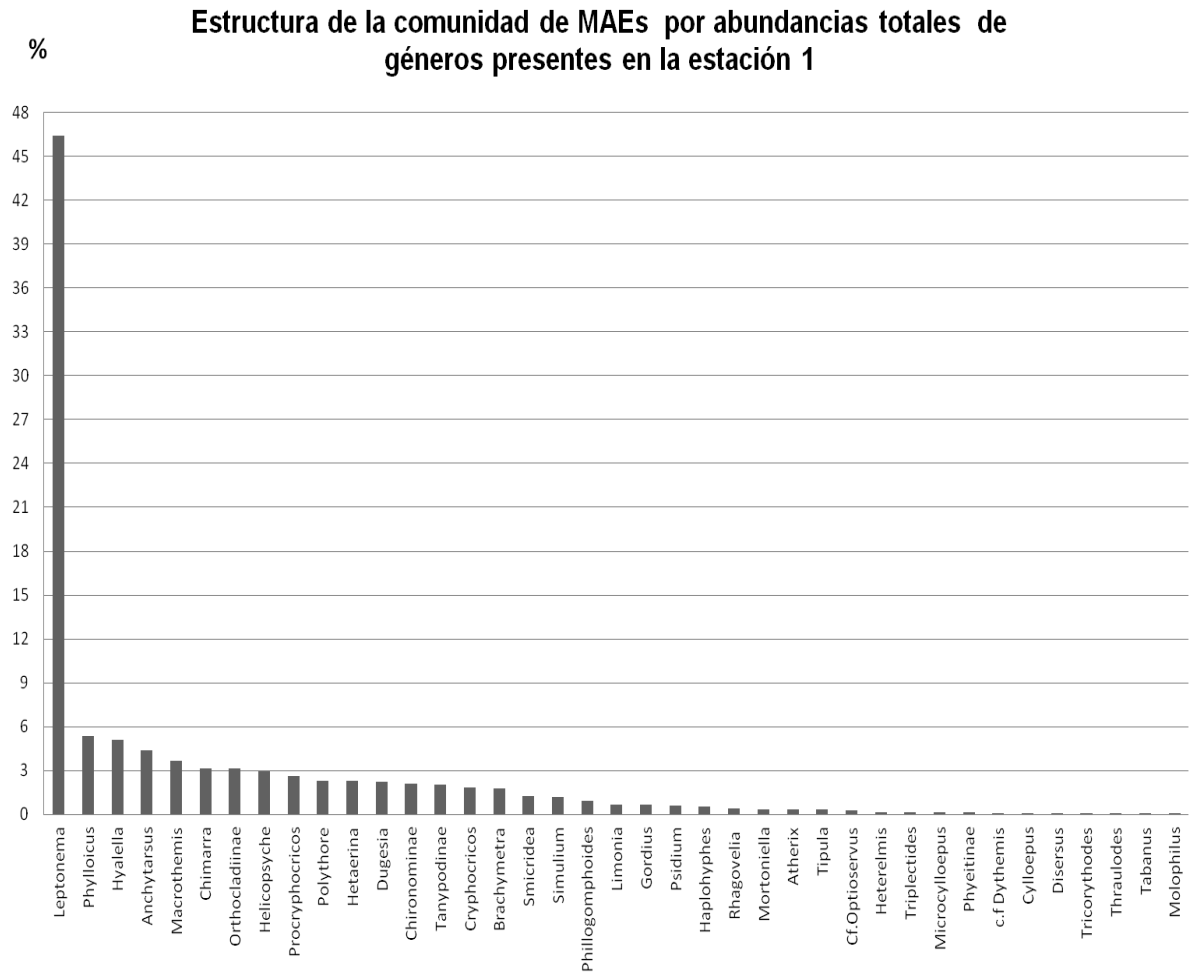


Figura 9. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en la estación 1.

7.2.2. Estación 2

Ubicada en la parte media de la microcuenca, antes de la bocatoma del Municipio, entre las veredas Arauca y Mesitas, las aguas en esta zona se notan transparentes y poco profundas.

En la figura 8 se presenta la abundancia de 37 géneros, pertenecientes a 28 familias y 12 órdenes colectados en la estación 2. Los órdenes presentes y su respectiva riqueza son: Diptera con 5 familias y 7 géneros, Trichoptera con 5 familias y 7 géneros, Odonata con 4 familias y 4 géneros, Coleoptera con 3 familias y 5 géneros, Ephemeroptera con 2 familias y 3 géneros, Hemiptera con 2 familias y 4 géneros, Lepidoptera con 2 familias y 2 géneros, Plecoptera, Tricladida, Veneroidea, Haplotaxida y Gordioidea con 1 familia y 1 género. Se colectaron en total 686 individuos.

En esta estación la abundancia porcentual a nivel de géneros reportó para *Leptonema sp.*, 47.23% del total de organismos colectados, seguido por *Cryphocricos sp.* 9.62%, *Macrothemis sp.* 5.98%, *Phylloicus sp.* 5.10%, *Chimarra sp.* 4.52%, *Anchytarsus sp.* 3.50%, *Helicopsyche sp.* 3.06%, *Hetaerina sp.* 2.77%, *Dugesia sp.* 2.62%, subfamilia *Orthoclaadiinae* y *Chironominae* 1.60%, *Polythore sp.* 1.31%, *Anacroneuria sp.*, *Simulium sp.* y *Rhagovelia sp.* 1.17%, *Smicridea sp.*, *Haplohyphes sp.*, *Tabanus sp.* y *Procryphocricos sp.* 0.63%, *Mortoniella sp.* y *Gordius sp.* 0.58%, subfamilia *Tanypodinae* y *Psidium sp.* 0.54%, *Lumbriculidae NN*, *Phyllogomphoides sp.*, *Gossosomatidae NN* y *Leptohyphes sp.* 0.29%, *Macrelmis sp.*, *Microcylloepus sp.*, *Elmidae NN*, *Holcodryops sp.*, *Baetodes sp.*, *Tipula sp.*, *Atherix sp.*, *Limnocois sp.*, *Pyralidae NN* y *Petrophila sp.* 0.15% (Figura 10).

La estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de esta estación se caracteriza por presentar dominancia del género *Leptonema sp.*, seguido por *Cryphocricos sp.*, *Macrothemis sp.*, *Phylloicus sp.*, *Chimarra sp.* y *Anchytarsus sp.*, géneros propios de aguas limpias a ligeramente contaminadas (Pinilla, 2000), aunque también se encontraron en menor proporción representantes del orden Diptera como *Tipula sp.* y chironómidos indicadores de bajas concentraciones de oxígeno, su presencia puede estar influenciada por el tipo de actividades que se desarrollan en esta zona como los problemas de deforestación en las márgenes de la cuenca con el fin de establecer cultivos de caña, lulo, arveja y principalmente café, lo que influye negativamente ya que por efectos de la escorrentía llegan al agua los agroquímicos que se les aplica.

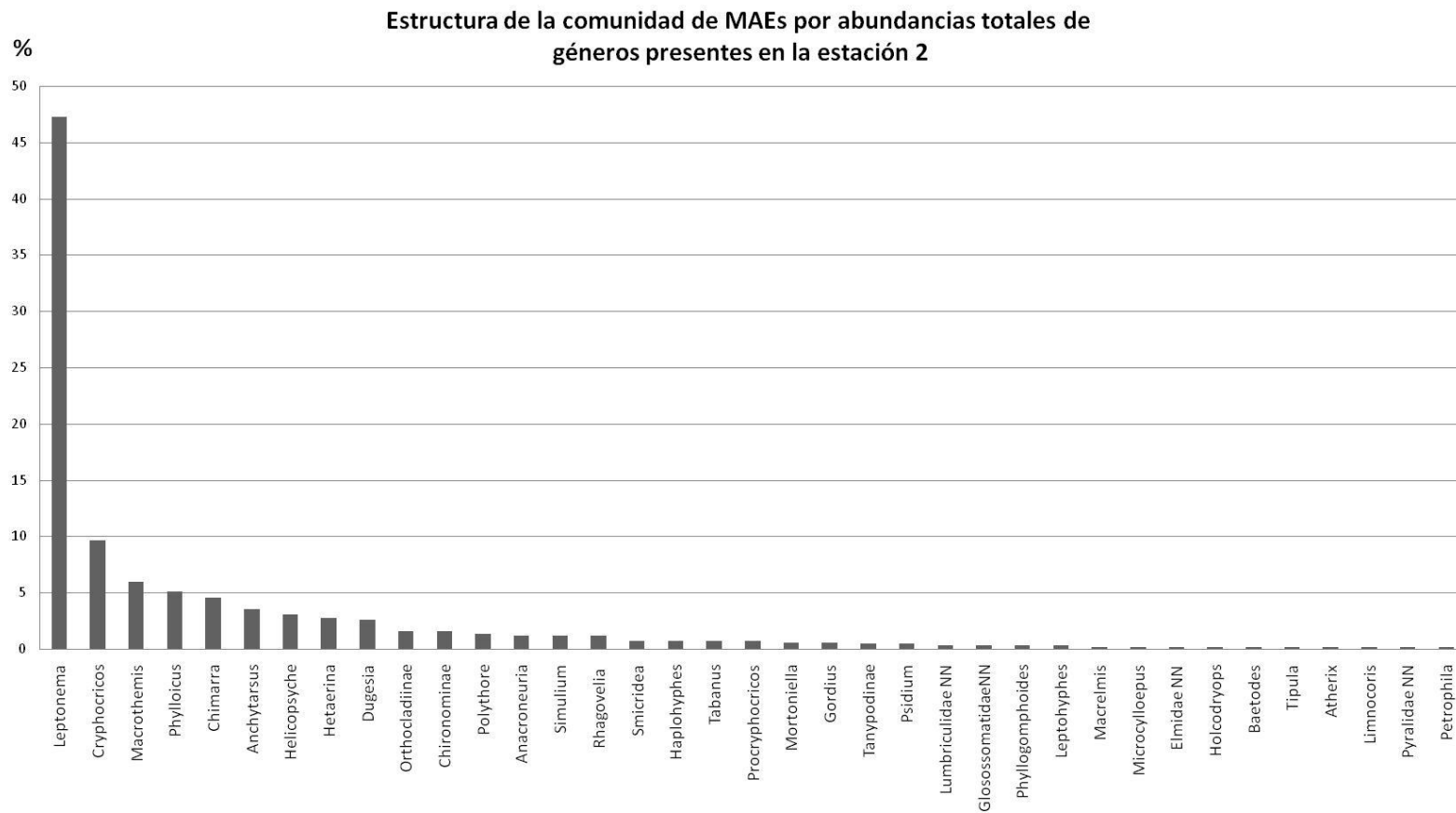


Figura 10. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en la estación 2.

7.2.4. Estación 3

Ubicada en la parte baja de la microcuenca El Quebradón, en esta zona las aguas son más corrientes que en las anteriores estaciones lo que contribuye a oxigenarlas, la vegetación riparia que cae a las aguas es mas abundante en comparación con las anteriores estaciones, lo que ofrece más hábitats a los macroinvertebrados acuáticos.

En la figura 9 se presenta la abundancia de 43 géneros, pertenecientes a 33 familias y 16 órdenes, colectados en la estación 3. Los órdenes presentes con su respectiva riqueza fueron: Diptera con 5 familias y 9 géneros, Trichoptera con 5 familias y 6 géneros, Coleoptera con 4 familias y 4 géneros, Ephemeroptera con 3 familias y 4 géneros, Hemiptera con 3 familias y 6 géneros, Odonata con 2 familias y 3 géneros Lepidoptera y Haploutaxida con 2 familias y 2 géneros, Plecoptera, Megaloptera, Tricladida, Amphipoda, Veneroidea, Gordioidea y Basommatophora con 1 familia y 1 género.

La abundancia a nivel de géneros reportó para *Leptonema sp.* 43.64%, *Helicopsyche sp.* 11.19%, *Macrothemis sp.* 6.43%, *Hetaerina sp.* y *Baetodes sp.* 4.06%, *Rhagovelia sp.* 3.92%, *Smicridea sp.* 3.78%, *Cryphocricos sp.* 3.64%, *Leptohyphes sp.* 2.24%, subfamilia *Orthoclaadiinae* 1.96%, *Corydalis sp.*, *Dugesia sp.* y subfamilia *Chironominae* 1.26%, *Psidium sp.* y *Lymnaea sp.* 1.12%, *Phylloicus sp.* 0.98%, *Simulium sp.* 0.84%, *Mortoniella sp.*, *Limnocoris sp.*, *Lumbriculidae NN* 0.70%, *cf. Brechmorhoga sp.*, *Procryphocricos sp.* y *Gordius sp.* 0.42%, *Anacroneuria sp.*, *Macrelmis sp.*, *Anchytarsus*, *Haplohyphes*, *Tricorythodes*, *Limonia*, *Husseyella*, *Macrobdellidae NN* 0.28%, *Atopsyche sp.*, *Elmoparnus sp.*, *Coleoptera NN*, *Hexatoma sp.*, *Hemerodromia sp.*, *Empididae NN*, *Ceratopogonidae NN*, subfamilia *Tanypodinae*, *Brachymetra sp.*, *Phyeitinae sp.*, *Parapoynx sp.* y *Hyaella sp.* con 0.14%. En total se colectaron 715 individuos.

En esta zona se encontraron géneros como *Leptonema sp.*, *Helicopsyche sp.*, *Baetodes sp.* y *Hetaerina sp.* son habitantes de aguas limpias aunque pueden tolerar un poco de contaminación, géneros como *Lumbriculidae NN*, *Hirudinea NN* y *Lymnaea sp.*, evidencian el impacto negativo que se presenta en esta estación, lo que se puede atribuir a la escasa cobertura vegetal arborea, a los residuos domésticos y al impacto que genera el paso de una carretera por esta zona que aporta material alóctono.

El hecho de haber encontrado una mayor riqueza en esta zona se puede atribuir a la clase de sustrato con piedras de diferente tamaño (Figura 5) que da lugar a zonas de corrientes rápidas, lentas y remansos lo que ofrece diferentes tipos de hábitats y permite la colonización de éstos por diferentes organismos, razón por la que se hallaron ephemerópteros como *Baetodes sp.*, *Leptohyphes sp.*, *Haplohyphes sp.* y *Tricorythodes sp.*, que en general indican aguas corrientes, aguas oxigenadas y limpias (Pinilla, 2000). La presencia de géneros como

Lymnaea sp. y dípteros como los chironómidos e individuos de la familia Tipulidae, se puede explicar por la disposición de abundante materia orgánica (hojarasca y troncos) que para su descomposición requiere gran cantidad de Oxígeno y a la influencia negativa de la vía de transporte que pasa por la estación, lo que queda evidenciado con la presencia de lumbricúlidos que según Pinilla, (2000) indican sedimentos alóctonos y los gastrópodos indican abundancia de materia orgánica, aguas tranquilas y poco profundas (Pinilla, 2000).

Según Pinilla, (2000), el género *Corydalis sp.* indica aguas limpias, género que se halló únicamente en esta estación, lo que permite inferir que el impacto negativo que la zona recibe no es suficiente para desestabilizar el ecosistema y permitir la proliferación de sólo unos pocos géneros, sino que al contrario es una zona con una fauna bentónica diversa, lo que coincide con Roldán, (2008), quien enuncia que ecosistemas oligotróficos se caracterizan por presentar una alta diversidad de especies, pero un bajo número de individuos por cada una de ellas. La producción es baja por la escasez de nutrientes y por una activa depredación de diversas especies. En cambio, en medios eutrofizados, el número de especies es bajo, pero el número de individuos por cada uno de ellas es alto, favorecido por la abundancia de nutrientes y la escasez de depredadores.

Estructura de la comunidad de MAEs por abundancias totales de géneros presentes en la estación 3

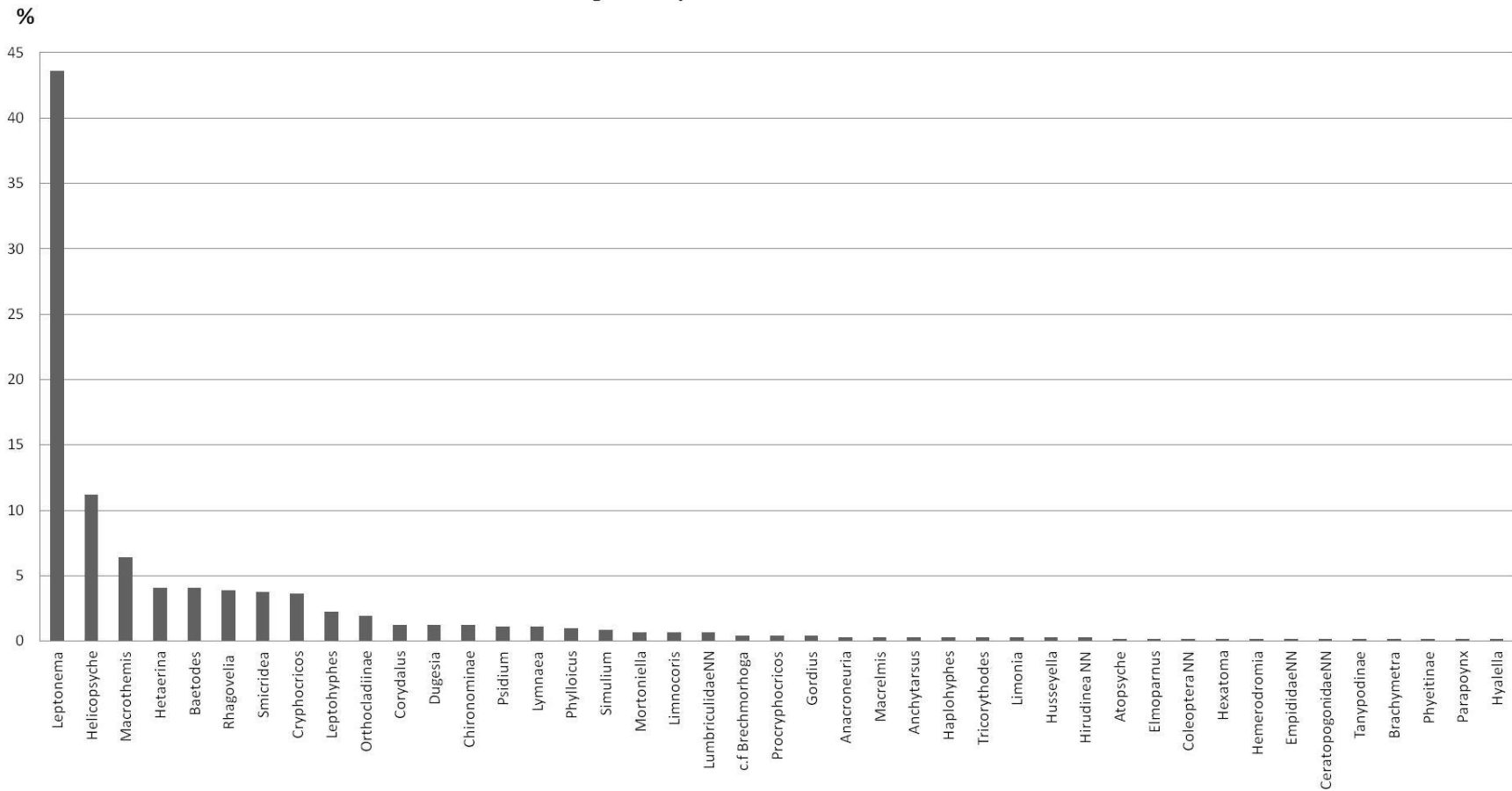


Figura 11. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por abundancia total de géneros presentes en la estación 3

7.3. ÍNDICE DE MONITOREO BIOLÓGICO (BMWP/COL)

A partir de la información sobre las familias de macroinvertebrados acuáticos representadas en las colectas, se aplicó el índice de calidad biológica BMWP adaptado para Colombia por Zamora (2007).

Tabla 4. Registro de las familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en las tres estaciones de muestreo. P= presente, A= ausente.

Familias	E1	E2	E3
Calamoceratidae	P	P	P
Ptilodactylidae	P	P	P
Polythoridae	P	P	A
Sphaeriidae	P	P	P
Glossosomatidae	P	P	P
Perlidae	A	P	P
Philopotamidae	P	P	A
Simuliidae	P	P	P
Gordiidae	P	P	P
Gomphidae	P	P	A
Pyralidae	P	P	P
Hydrobiosidae	A	A	P
Leptoplhebiidae	P	A	A
Hydropsychidae	P	P	P
Helicopsychidae	P	P	P
Calopterygidae	P	P	P
Veliidae	P	P	P
Baetidae	A	P	P
Gerridae	P	A	P
Leptoceridae	P	A	A
Dryopidae	A	A	P
Naucoridae	P	P	P
Leptohyphidae	P	P	P
Elmidae	P	P	P
Tricorythidae	P	A	P
Libellulidae	P	P	P
Hyalellidae	P	A	P
Planariidae	P	P	P
Corydalidae	A	A	P
Tabanidae	P	P	A
Empididae	A	A	P
Tipulidae	P	P	P
Lymnaeidae	A	A	P
Ceratopogonidae	A	A	P
Chironomidae	P	P	P
Lumbriculidae	A	P	P
Athericidae	P	P	A
Crambidae	A	P	P
TOTAL	28	27	31

En la tabla 5 se presentan los resultados que permitieron determinar la calidad del agua de las estaciones.

Tabla 5. Calidad del agua en las estaciones muestreadas según el índice BMWP/Col.

ESTACIONES	VALOR BMWP	CALIDAD DE AGUA	CARACTERISTICAS
E1	145	Muy Buena	Aguas muy limpias
E2	141	Muy Buena	Aguas muy limpias
E3	122	Muy Buena	Aguas muy limpias

Según los resultados del índice biológico BMWP, presentados en la tabla 4, los puntajes obtenidos son:

Estación 1: un valor de 145, con Hydropsychidae, Chironomidae, Calamoceratidae, Hyallellidae, Naucoridae, Ptilodactylidae, Planariidae y Libellulidae como las familias más representativas.

Estación 2: un valor de 141, con Hydropsychidae, Naucoridae, Libellulidae, Calamoceratidae y Philopotamidae, como las familias más representativas.

Estación 3: un valor de 122, con Hydropsychidae, Helicopsychidae, Libellulidae, Naucoridae y Vellidae como las familias más representativas.

En las tres estaciones se obtuvieron valores del BMWP/Col ≥ 121 catalogándolas como clase I, cuya característica son aguas muy limpias o de muy buena calidad, probablemente los vertimientos de tipo doméstico y agropecuarios son muy bajos y el ecosistema acuático se recupera adecuadamente de las perturbaciones que puedan ocasionar estos vertimientos; además los afluentes que aportan sus aguas ayudan a la dilución de la materia orgánica; lo que se puede corroborar con la bibliografía consultada que indica que familias como Helicopsychidae se encuentra en altos niveles de oxígeno disuelto, lo que la ubica como indicador de aguas limpias a ligeramente contaminadas (Pinilla, 2000).

La familia Hydropsychidae tolera bajos niveles de contaminación, se sabe que esta es una de las familias más diversas del orden Trichoptera en Colombia (Rivera, 2008, Muñoz, 2000, Zúñiga, 1985), y está ampliamente distribuida en todo tipo de corrientes de agua (Mc Cafferty, 1981; Merritt & Cummins, 1996) citado por Hahn-vonHessberg *et al.* 2009, filtran las partículas del seston para ello construyen redes, además la presencia de ganchos le facilita la colonización de ambientes correntosos (González *et.al.*, 1984). Lo que sugiere que la familia Hydropsychidae, la más abundante hallada en este estudio, lo es porque presenta un amplio rango de distribución, habita sustratos pedregosos, hay disponibilidad de alimento y porque la calidad del agua es óptima para su desarrollo.

Las familias Naucoridae y Veliidae indican aguas limpias, Libellulidae aguas limpias a ligeramente contaminadas, Hyallelydae indicadora de enriquecimiento con materia orgánica (Pinilla, 2000).

La familia Planariidae se encuentra en mayores valores de oxígeno. A pesar de que ésta se ha considerado dentro de un rango de tolerancia ecológica relativamente estrecho (Guerrero *et. al*, 2003).

La presencia de la familia Chironomidae agrupa a especies presentes en casi todos los tipos de ecosistemas lóticos y/o lenticos bajo diferentes condiciones ambientales, y los cuales han sido reportados como tolerantes a los efectos de contaminación (Merrit & Cummins, 1996).

Otras familias encontradas en menor proporción como Simuliidae, Baetidae, indican aguas limpias; Tipulidae, aguas lentas, limpias a ligeramente contaminadas, y con sedimentos.

Los bivalvos indican aguas limpias y mesosapróbicas (Pinilla, 2000).

De acuerdo al valor del índice BMWP/Col, a las familias encontradas y a sus características se puede concluir que la calidad biológica del agua en las estaciones muestreadas es buena y permite el desarrollo de una comunidad diversa.

A las familias Athericidae (colectada en estación 1 y 2) y Crambidae (colectada en la estación 2 y 3) se les asignó un puntaje de 9 y 7 respectivamente, teniendo en cuenta las condiciones biológicas y físico-químicas de las estaciones en las que se hallaron ya que no se reportan en la modificación del índice BMWP realizada por Zamora (2007).

7.4. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD

7.4.1. Índice de Margalef

Según el índice de Margalef, valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Se reportan los valores de los cuatro meses muestreados para las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, M1 (Junio): 2.8, 4.3 y 2.6; M2 (Agosto): 4.3, 3.3, 5.8; M3 (Septiembre): 4.5, 3.4 y 4.2; M4 (Octubre): 4.6, 4.5 y 3.2. Con un promedio de 3.96 para el total de muestreos.

Se obtuvieron valores de mediana diversidad en todos los meses y estaciones muestreadas, a excepción de Agosto E3M2 (5.8) el único valor que corresponde a alta diversidad, los valores más bajos se obtuvieron en Junio con 2.8 (E3M1) y 2.6 (E1M1) mes de las mayores precipitaciones, dos de los valores más altos: 4.6 y 4.5 se registraron en Octubre, mes en el que las precipitaciones habían disminuido un poco. Figura 12.

La diversidad en la microcuenca es media, y esto probablemente se deba a la perturbación del ecosistema acuático por efecto de las lluvias, ya que los cambios pluviométricos en los ecosistemas loticos neotropicales representan factores determinantes en la composición y abundancia de los insectos acuáticos; el aumento de las precipitaciones ocasiona la disminución en la riqueza y la abundancia, situación reportada por Rincón (1996, 2002).

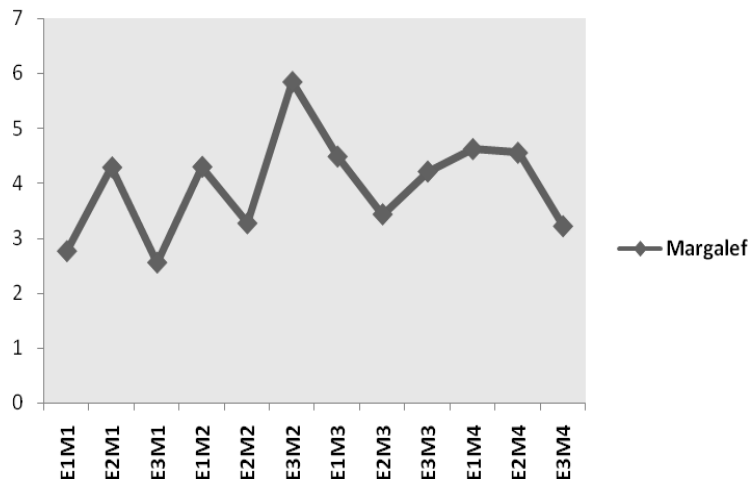


Figura 12. Valores del índice de Margalef en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.4.2. Índice de Shannon-Weaver

El índice de Shannon permitió determinar la diversidad teniendo en cuenta la composición de la comunidad y el número de especies, siendo sensible a los cambios en la abundancia de las especies raras o no dominantes presentes en la muestra.

A continuación se relacionan los valores obtenidos del índice de Shannon en los cuatro meses muestreados y en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

M1 (Junio): 1.1, 2.1 y 1.4; M2 (Agosto): 2.3, 1.5 y 2.3; M3 (Septiembre): 2.5, 2.2 y 2.4; M4 (Octubre): 2.3, 2.2 y 1.7. con un promedio de 2.02 . Figura 13.

Según el índice de Shannon-Weaver la estación 1 presentó poca diversidad únicamente en el M1 con 1.14; en los demás muestreos se obtuvieron valores de mediana diversidad, con valores de 2.3 en M2 y M4, y de 2.5 en M3.

En la estación 2 se obtuvieron valores de poca diversidad únicamente en el M2 con 1.5, en los otros muestreos los valores corresponden a mediana diversidad en M1 con 2.1; M3 y M4 con 2.2.

En la estación 3 se presenta baja diversidad en M1 con 1.4 y M4 con 1.7, y en M2 y M3 con valores de 2.3 presentan diversidad media.

Las medianas y bajas diversidades en las estaciones se podrían explicar por un lado, por factores como la precipitación pues las lluvias se presentaron todo el periodo de muestreo con una leve tendencia a disminuir un poco en Septiembre y Octubre, las corrientes producidas por éstas arrastran diferentes tipos de materiales vegetales que son utilizados como fuente de alimento y como hábitat, y por otro lado, a partir del gran crecimiento del trichoptero *Leptonema sp.* que constituye el género dominante en las 3 estaciones. sin embargo los resultados de los parámetros físicos y químicos como gases disueltos, sistema buffer (pH, alcalinidad, acidez, durezas, etc), nutrientes (nitritos, nitratos y amonio) y iones como (hierro, calcio), indican una buena calidad del agua.

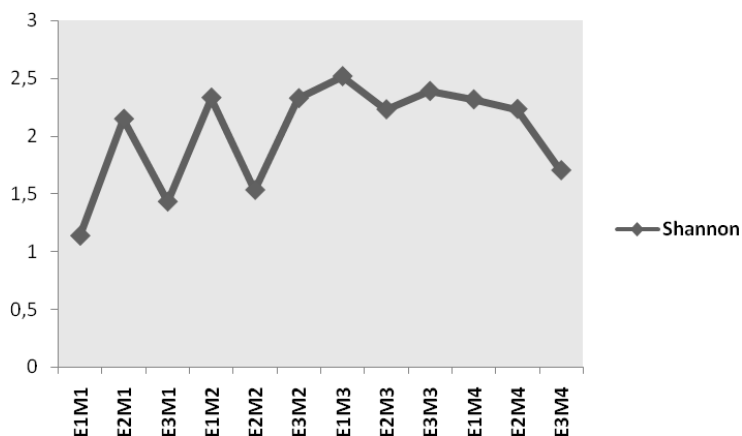


Figura 13. Valores del índice de Shannon en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.4.3. Índice de Simpson

Para el índice de Simpson se obtuvieron los siguientes valores: en M1 (Junio) 0.42, 0.79 y 0.59, M2 (Agosto): 0.79, 0.57 y 0.75; M3 (Septiembre): 0.82, 0.82, 0.86, M4 (Octubre): 0.79, 0.80 y 0.64, y un promedio de 0.7.

De acuerdo a la figura 14, para los valores de dominancia se obtuvo un máximo valor de de 0.86 en E3M3 y 0.8 en E1M3, E2M3, E2M4; un mínimo valor de 0.4 en E1M1; valores que indican que hay dominancia por parte de unos géneros que encuentran condiciones óptimas para su desarrollo lo que refleja una comunidad no tan diversa, por ejemplo en la estación 1: *Leptonema sp.*, *Phylloicus sp.*, *Hyalella sp.*, y *Anchytarsus sp.*, estación 2: *Leptonema sp.*, *Cryphocricos sp.*, *Macrothemis sp.*, y *Phylloicus sp.*, estación 3: *Leptonema sp.*, *Helicopsyche sp.*, *Macrothemis sp.* y *Hetaerina sp.* En general estos géneros indican aguas poco alteradas, de buena calidad, frías y oxigenadas, habitan aguas con sustrato pedregoso y con abundante material vegetal (Pinilla, 2000).

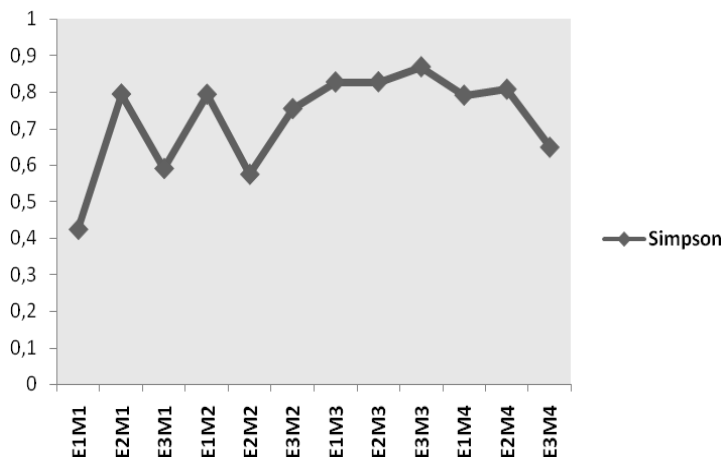


Figura 14. Valores del índice de dominancia de Simpson en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.4.4. Índice de equidad de Pielou

Se empleó el índice de equidad de Pielou, para medir la proporción de la diversidad observada en cada estación de muestreo con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

A continuación se relacionan los valores desde el primer hasta el cuarto mes de muestreo para las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

M1(Junio) se obtuvieron los siguientes valores: 0.42, 0.70, 0.59. Para el M2 (Agosto): 0.71, 0.52 y 0.65; M3 (Septiembre): 0.77, 0.77, 0.76; M4 (Octubre): 0.68,

0.69, 0.58. Se obtuvo un valor promedio en las tres estaciones 0.66, los valores arrojados por el índice de Pielou para cada una de las estaciones demuestran que las zonas presentan una distribución de las abundancias de los organismos repartida de manera medianamente homogénea. Figura 15.

De acuerdo con los resultados es evidente que esta homogeneidad en la distribución de las abundancias de las especies en las tres estaciones se debe a condiciones semejantes en el tipo de sustrato, disponibilidad de alimento, altitud, distancia entre las estaciones y condiciones físico-químicas.

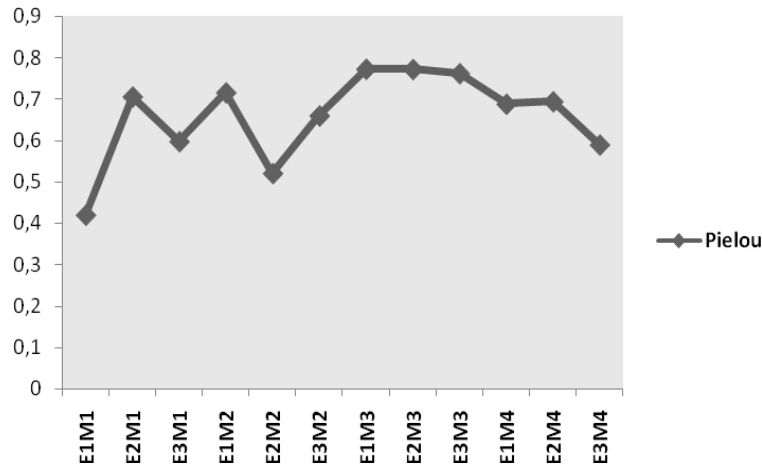


Figura 15. Valores del índice de Pielou en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.4.5. Análisis de diversidad entre estaciones

Se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los índices de diversidad entre meses y estaciones, la cual no registró diferencias significativas ($P < 0.05$); indicando que las actividades humanas no afectan de manera considerable la distribución de los macroinvertebrados acuáticos. Igualmente para los parámetros físico-químicos estadísticamente no hubo diferencias significativas permitiendo determinar que los tensores antrópicos no afectan la calidad físico-química del agua. Los datos se presentan en el anexo 2.

7.5. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS CON LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Los resultados del análisis de correspondencia canónica (figura 16), muestran que los géneros *Dugesia sp.* y *Chimarra sp.* se correlacionan de forma positiva con la variable nitritos.

El género *Mortoniella* muestra una correlación positiva con la dureza total (DT) y el pH. *Raghovelia sp.*, *Helicopsyche sp.* y *Smicridea sp.* se correlacionan positivamente con las variables dureza carbonácea y calcio, los géneros ubicados casi sobre la estación 3 (E3) son propios de esta zona: *Limnocois sp.*, *Corydalis sp.*, *Lymnaea sp.*, y *Hirudinea NN*. *Procryphocricos sp.* se correlaciona positivamente con las variables oxígeno, % saturación oxígeno y alcalinidad.

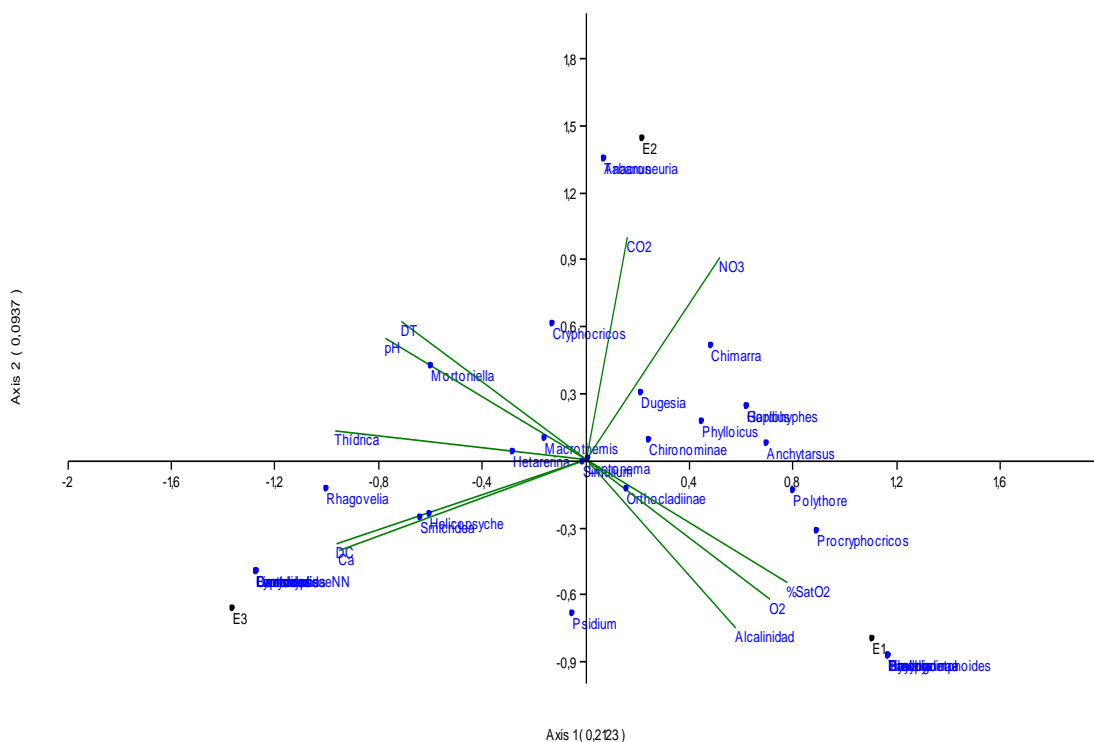


Figura 16. Correlación entre las estaciones de muestreo con algunas variables físico-químicas y las abundancias de macroinvertebrados con respecto a la estación de muestreo.

7.6. ANÁLISIS DE SIMILITUD DE BRAY-CURTIS POR PORCENTAJE DE ABUNDANCIA

De acuerdo con el dendrograma de similitud de Bray-Curtis (figura 17) para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en las 3 estaciones muestreadas en la microcuenca El Quebradón; se observa que el grupo formado por E1M2 y E1M3 tienen una similitud del 81%, luego E1M4 con 75% con respecto al grupo E1M2 y E1M3, el muestreo menos similar para la estación 1 es E1M1 con 58%, por influencia de las altas lluvias en el mes de Junio que arrastraban los sustratos como la hojarasca y troncos, disminuyendo habitats y alimento. La similitud en los muestreos de la estación 1 se atribuye a que es una zona poco intervenida y aunque se presentan actividades ganaderas en las dos margenes de la microcuenca, el impacto es bajo.

En la estación 2, los muestreos más similares son E2M3 y E2M4 con 66%, E2M2 con 62% respecto al grupo E2M3, E2M4, E1M4 y E1M2, E1M3, y finalmente con el menor porcentaje E2M1 con 54%, el mínimo valor se atribuye a la época de altas precipitaciones del mes 1 (Junio).

Los menos similares son los muestreos de la estación 3, E3M2 y E3M4 con 59% E3M3 con 56%, respecto al grupo E3M2 y E3M4, E3M1 con el menor porcentaje 35% de similitud respecto a las demás estaciones, debido a que en esta zona se presentan géneros exclusivos como: *Lymnaea sp.*, *Hirudinea NN*, *Brechmorhoga sp.*, *Elmoparnus sp.*, *Hexatoma sp.*, *Hemerodromia sp.*, *Empididae NN*, *Ceratopogonidae NN*, *Husseyella sp.*, *Parapoynx sp.*, *Atopsyche sp.*, *Corydalus sp.*, y *Coleoptera NN*, lo que cambia la estructura de la comunidad biótica.

En general la estación 1 y 2 son las más similares presentando un 58% de similitud en la estructura de los macroinvertebrados acuáticos, probablemente debido a que las zonas presentan características comunes como: rangos de altitud semejantes, disposición de abundante materia vegetal, la clase de sustratos, y la capa del dosel densa que impide una mayor penetración de luz solar al agua, factores determinantes para el establecimiento de la entomofauna acuática.

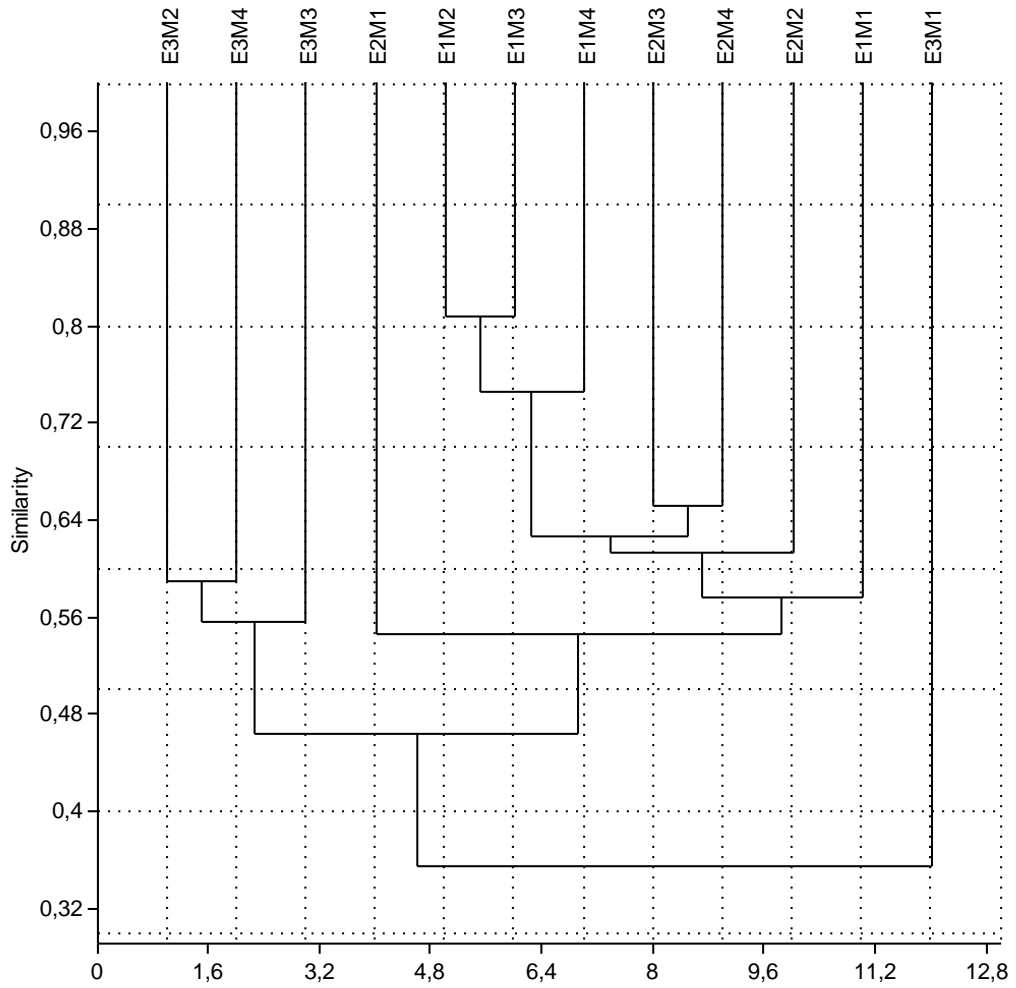


Figura 17. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis para los géneros de macroinvertebrados acuáticos en cada una de las estaciones y meses de muestreo. E: estación, M: mes.

7.7. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO HÍDRICO

Los parámetros físico-químicos hídricos demuestran cambios en el agua en función de pisos altitudinales, zonas fitogeográficas, dinámica del cuerpo de agua, que condicionan la adaptación y distribución de la biota acuática en general. Así mismo este análisis permite un enfoque preliminar preciso sobre las condiciones del ecosistema acuático (Vásquez, 2001).

7.7.1. Gases disueltos: Oxígeno disuelto, Dióxido de Carbono y % de saturación de Oxígeno

▪ Oxígeno disuelto

Los valores más altos para oxígeno se registraron en E1M2 con 7.0 mg/L, E2M1 y E2M2 con 6.5 mg/L, los valores más bajos se obtuvieron en E2M3 con 3.1 mg/L, E2M4 con 3.5 mg/L, E3M4 con 3.8 mg/L y en cuanto a mes de muestreo fue en el mes 4 que se obtuvieron los valores más bajos en oxígeno disuelto para todas las estaciones. Figura 18.

Cuando se presentan valores bajos en oxígeno disuelto, según Adamus y Brandt, (1990), (citado por Arango et al. 2008), se tendrían que relacionar con incremento de gusanos acuáticos (oligochaeta) sobre los insectos acuáticos y de chironómidos, en este caso el número de individuos de oligochaeta y chironómidos no presenta un incremento significativo que apoye lo expuesto por Adamus y Brandt, probablemente el bajo nivel de oxígeno disuelto se deba a el aumento de la temperatura ambiental en los últimos muestreos (Figura 19). Los valores de oxígeno a pesar de ser bajos en estos puntos no afectan de manera considerable el desarrollo de la vida acuática, pues el número total de macroinvertebrados indicadores de buena calidad que se colectan, mantiene una constante entre muestreo y muestreo a excepción del mes 1 que por efectos de las corrientes producidas por las lluvias tuvo un menor número de individuos, también influye el tipo de pendiente (ligeramente inclinado) en las estaciones 1 y 2 que producen una suave corriente en el agua que no permite que haya una mayor oxigenación. De acuerdo con Palacio (1990), un rango entre 4.0 mg/L y 8.0 mg/L de O₂ ha sido considerado normal en los ecosistemas acuáticos.

La microcuenca El Quebradón registra una concentración de oxígeno disuelto promedio de 5.2 mg/L y un porcentaje de saturación promedio de 74.2 %, estos resultados se podrían interpretar como consecuencia de una baja productividad que no permite que hayan valores más altos de oxígeno ya que la fotosíntesis es limitada por la sombra producida por el dosel (Allan, 1995; Vannote *et. al.*, 1980); además de la alta demanda de oxígeno disuelto por los organismos acuáticos.

Dióxido de Carbono

En la microcuenca El Quebradón, se registró una concentración promedio de CO₂ de 1.8 mg/L, con un mínimo de 1.5 mg/L y un máximo de 2.5 mg/L, valores que se encuentran muy por debajo del máximo que se considera limitante para la biota acuática (20 mg/L) (Vásquez, 2001).

De acuerdo con los anteriores resultados (figura 18) es evidente que las actividades antrópicas (ganadería, agricultura y aguas residuales) no provocan una fuerte perturbación, o no tienen una fuerte incidencia para que los niveles de CO₂ aumenten.

Según Carmouze, (1994) (citado por Roldán, 2008), el CO₂ por representar el mejor precursor de la fotosíntesis y el producto final de la degradación de materia orgánica, se denota como el mejor indicador para determinar el metabolismo del ecosistema. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede determinar que en el ecosistema hay un bajo metabolismo, una baja tasa de degradación de materia orgánica, lo que mantiene la calidad físico-química del agua.

▪ Porcentaje de saturación de Oxígeno

En cuanto al porcentaje de saturación de Oxígeno se obtuvo un promedio de 74.16%, un mínimo valor de 49 % y un máximo de 97%, mostrando tendencia a disminuir a medida que avanzaban los muestreos, es decir en el muestreo 3 y 4, meses en los que se dio un incremento de la temperatura ambiental e hídrica (Figura 19), el incremento en la temperatura afecta el nivel de saturación de Oxígeno en el agua, debido a que los gases se disuelven más rápidamente en agua fría, sin embargo la mayoría de los muestreos se obtuvieron valores mayores al 80% (figura 18).

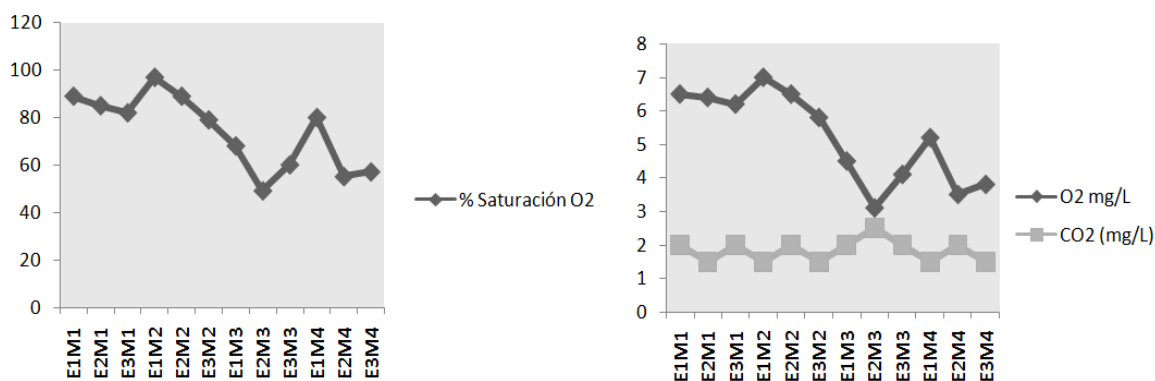


Figura 18. Comportamiento de los gases disueltos en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.7.2. Temperatura ambiental e hídrica:

En el primer mes de muestreo la temperatura ambiental es más elevada con relación a la hídrica, en el segundo muestreo los valores de las temperaturas son uniformes, en el tercer mes tienen un ligero incremento a medida que se desciende en la microcuenca, en el último mes se presenta un incremento de la temperatura ambiental y por ende de la hídrica debido a que las lluvias habían disminuido.

En el total de los muestreos la temperatura hídrica presenta valores que oscilan entre 16 a 21°C, valores comunes para ecosistemas acuáticos localizados a estas altitudes (Machado y Roldán, 1981). Figura 19.

La temperatura del agua y el ambiente no presentaron mayores diferencias (temperatura del agua 16-21°C, temperatura ambiente 17-26°C), esta es una característica de los ecosistemas tropicales donde las temperaturas no sufren grandes variaciones como las que ocurren en las zonas templadas debido a los cambios estacionales (Roldán, *et al.*, 2001).

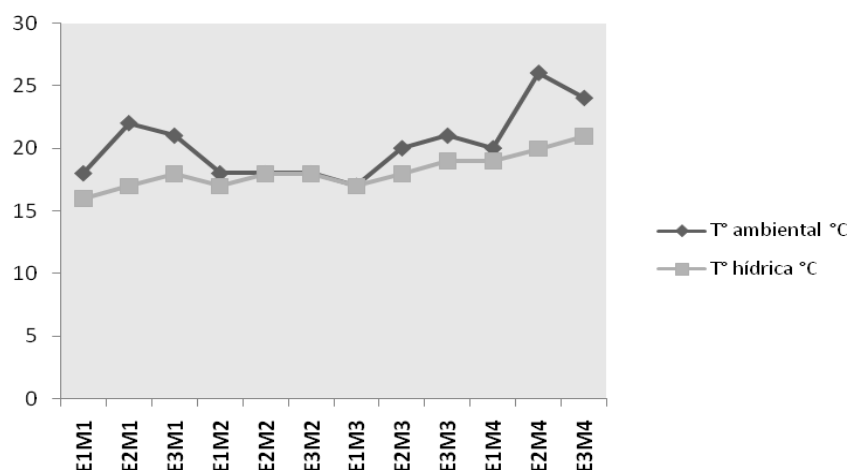


Figura 19. Comportamiento de la temperatura ambiental e hídrica en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.7.3. Compuestos nitrogenados

▪ Amonio

A lo largo del estudio los valores para amonio fueron bajos, en E1M1 y E3M1 con 0.4 mg/L y en las demás estaciones con cero mg/L. Los valores de amonio no afectan el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos y muestran que la intervención antrópica no es relevante. Figura 20.

- **Nitritos**

Los valores registrados para nitritos no mostraron variaciones su valor fue de 0 mg/L en todos los muestreos. Figura 20.

Para Marín, 2003, valores de cero en Nitritos indican que no hay contaminación por materia fecal reciente, determinando así que el agua está en buenas condiciones.

Los nitratos y el amonio son las fuentes principales en que es asimilado el Nitrógeno por las plantas y otros organismos, entonces es indispensable para la producción primaria y el desarrollo de las comunidades, en medios oligotróficos se encuentra en pocas cantidades, por el contrario en medios eutróficos se puede encontrar varios mg/L (Vasquéz, 2001).

- **Nitratos**

En cuanto a los nitratos también presentan un valor constante (25mg/L), a excepción de E3M3 que registró un valor de 10mg/L, (figura 20) valores provenientes de la disolución de rocas y minerales (muy frecuentes), de la descomposición de materias vegetales y animales, de efluentes industriales y de lixiviado de tierras de labor en donde se utilizan abonos que los contienen profusamente como componentes en sus formulaciones (Marín, 2003).

Según Vasquéz, 2001, la concentración de nitratos en aguas no intervenidas va de 0.3 a 0.5 mg/L, mientras que en la mayoría de los sistemas hídricos intervenidos los rangos van de 10 a 60 mg/L, lo que indica que hay alteración en el ecosistema acuático.

El valor promedio registrado para nitratos en el estudio es de 23.7 mg/L con un máximo valor de 25 mg/L y un mínimo de 10 mg/L, estos valores indican perturbación en el ecosistema acuático.

De acuerdo a lo anterior, en la microcuenca hay un grado bajo-medio de contaminación orgánica proveniente de las actividades agropecuarias y ganaderas, sumado a la descomposición de la materia orgánica autóctona.

Estos resultados también permiten determinar el alto metabolismo de los microorganismos quienes transforman el amonio en nitratos.

La degradación de la materia orgánica causa una disminución de oxígeno disuelto y aumento de los niveles de nitrógeno (Rueda *et. al.*, 2002), las variaciones observadas en estos parámetros pueden deberse a la contaminación orgánica proveniente del aporte de hojarasca del dosel, de la ganadería y cultivos.

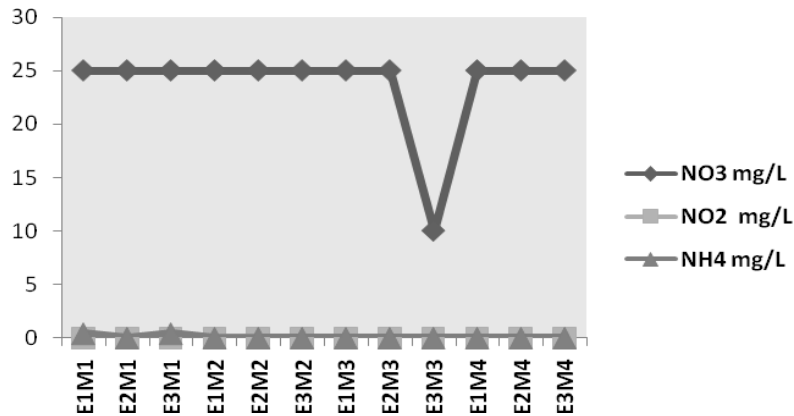


Figura 20. Comportamiento de los compuestos nitrogenados en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.7.4. Iones disueltos: Hierro y Calcio

- **Hierro**

En general, el hierro se encuentra en forma trivalente en las aguas naturales superficiales, variando su concentración típicamente entre 0.01 mg/L y 0.30 mg/L, no superándose estos niveles, ya que a valores de pH en torno a la neutralidad (pH = 7.5, que son los habituales en cualquier agua natural) ya se produce la precipitación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ hidratado, que es la sal más común en medios hídricos oxigenados.

Según los registros mensuales los valores de hierro se mantuvieron constantes con un máximo de 0.3 mg/L y un mínimo de 0.1 mg/L, valores que se encuentran dentro de los niveles normales para aguas naturales. Figura 21.

- **Calcio**

Según los resultados, el Calcio no tuvo variaciones importantes, mantuvo un rango de 6 mg/L a 8 mg/L, de acuerdo con Marín (2003), es el catión mayoritario de las aguas, superando como media los 20 mg/L, y en el presente estudio se halló en muy baja cantidad. Figura 21.

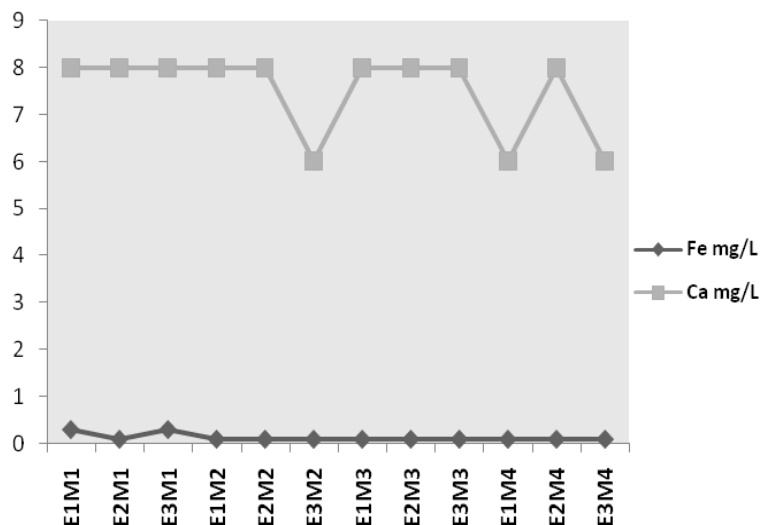


Figura 21. Comportamiento de los iones Hierro y Calcio en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.7.5. pH:

De acuerdo con los resultados se concluye que mientras el máximo promedio mensual para pH se registró en E3M1 y E2M3 con 7.5, el mínimo correspondió al resto de los muestreos con un valor constante de 7.0 (figura 22). De esta forma los valores promedios mensuales no representan amplias variaciones para los tres sitios de muestreo y según Vázquez (2001), los valores de pH son óptimos para el desarrollo normal de la biota acuática; los valores limitantes están en el rango 4.5-8.5, siendo el pH fisiológicamente óptimo entre 7.0-7.4.

Para Marín (2003), el valor de pH de las aguas superficiales se encuentra en el intervalo de 6.0 a 8.5, pudiendo las aguas subterráneas presentar valores más bajos que las superficiales.

El pH fluctuó entre 7.0-7.5, este rango corresponde a sistemas oligotróficos con valores cercanos a la neutralidad para todas las estaciones y no es limitante para la vida (Roldán, *et al.*, 2001).

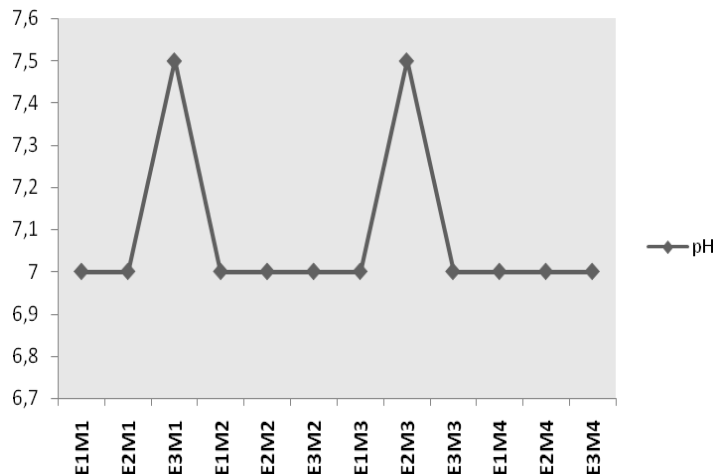


Figura 22. Comportamiento del pH en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.7.6. Alcalinidad:

Los valores de alcalinidad están asociados a las formas en las cuales se encuentra el gas carbónico en el agua y es una manera para indicar la presencia de iones bicarbonato y carbonato (Vásquez, 2001).

Los datos obtenidos de alcalinidad fueron de 0.2 - 0.8 mg/L, con un valor promedio para la zona estudiada de 0.37mg/L, se puede determinar que la microcuenca presenta bajos valores de alcalinidad, lo cual es normal para sistemas acuáticos naturales tropicales (<70mg CaCO₃/L). Figura 23.

7.7.7. Acidez:

La acidez en aguas naturales es debida principalmente por el CO₂ y el comportamiento de éste en el sistema buffer por los iones Hidrógeno libres y por la presencia de acidez mineral (Roldán, 1992).

Teniendo en cuenta los resultados de las zonas estudiadas el valor promedio de acidez fue de 0.27 mg de CaCO₃/L, con un valor mínimo de 0.1mg de CaCO₃/L y un máximo de 0.4 mg de CaCO₃/L, valores que no están por fuera de los límites normales para aguas naturales, determinando así un desarrollo normal de los organismos en las aguas y una buena producción primaria (Vásquez, 2001). Figura 23.

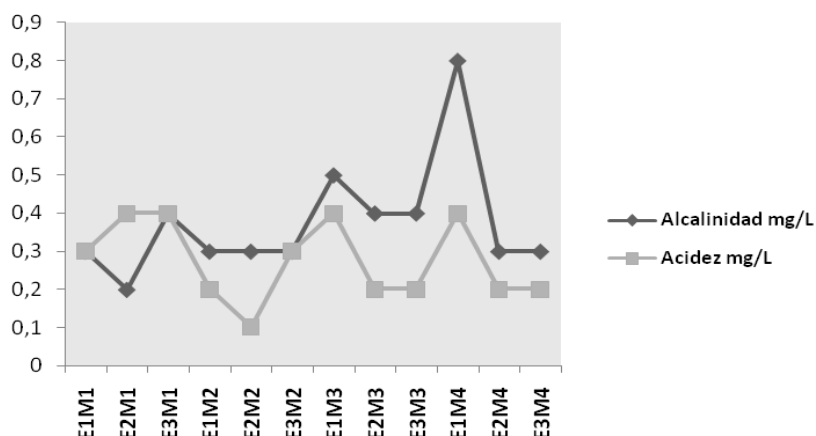


Figura 23. Comportamiento de la alcalinidad y acidez en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

7.7.8. Dureza total y carbonácea

- **Dureza total**

Este parámetro está asociado a la presencia de iones Calcio y Magnesio, los cuales se combinan principalmente con los carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) y con sulfatos y cloruros (dureza permanente), la suma de estos dos corresponde a la dureza total (Vásquez, 2001).

Se obtuvo un promedio de dureza total de 9.6 mg CaCO₃/L, un mínimo valor de 0.9 mg CaCO₃/L en E2M2 y un máximo de 14 mg CaCO₃/L en E3M3 (figura 24), lo que las clasifica como aguas blandas, adecuadas para propósitos acuícolas y sanitarios (Vásquez, 2001).

La dureza total y los valores de Calcio tienen una muy buena correlación que de acuerdo a Ohle (1934), (citado por Roldán, 1992), las aguas se clasifican como poco productivas.

- **Dureza carbonácea:**

Los valores registrados no tuvieron grandes variaciones y no superaron 1 mg CaCO₃/L, con un promedio de dureza carbonácea para la zona estudiada de 0.4 mg CaCO₃/L, con un mínimo 0.3 mg CaCO₃/L en la mayoría de los muestreos y un máximo registrado sólo en E3M3 con 0.8 mg CaCO₃/L. En general los resultados de dureza carbonácea son bajos debido a una baja cantidad de iones calcio y magnesio. Figura 24.

En general las durezas son bajas debido al tipo de suelos que poseen rocas ígneas pobres en carbonatos, además las precipitaciones presentes a lo largo del estudio contribuyen a la disolución de los iones que se relacionan con las durezas.

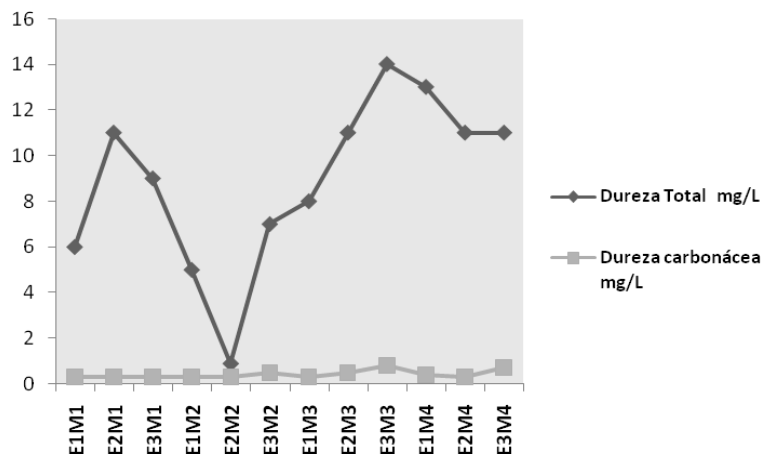


Figura 24. Comportamiento de la dureza total y carbonácea en las 3 estaciones y en los meses de muestreo.

8. Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los parámetros físico-químicos

Se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis la cual indicó que estadísticamente no hay diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las variaciones registradas de las variables físico-químicas. Anexo 2.

9. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados biológicos y físico-químicos, se concluye que la calidad del agua de la microcuenca El Quebradón en general es de buena calidad lo que se refleja en la estructura de las comunidades, diversas y con individuos propios de aguas limpias a medianamente contaminadas y aunque hay presencia de géneros como Lymnaea, Lumbriculidae NN y Dipteros, se encuentran en muy baja abundancia porcentual.

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca El Quebradón, está constituida por 16 órdenes, 42 familias y 63 géneros, siendo el orden Trichoptera el de mayor riqueza, seguido por Odonata y Hemiptera.

Según el índice BMWP/Col, la calidad del agua de las estaciones muestreadas corresponde a aguas muy limpias y de muy buena calidad, hecho que se corrobora con los parámetros físico-químicos evaluados y con la fauna colectada.

El análisis físico-químico determinó aguas con buenas condiciones para el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, además las variaciones entre muestreos y estaciones no presentaron diferencias significativas. Sin embargo la única variable que superó el límite admisible para aguas naturales fueron los nitratos evidenciando la alteración del ecosistema por la intervención humana.

Las estaciones 1 y 2 presentan la mayor similitud con base en el clúster de Bray-Curtis, debido a que comparten una comunidad de macroinvertebrados acuáticos con composición y estructura similar.

Se presenta uniformidad en cuanto a la riqueza de órdenes, familias y géneros en las 3 estaciones lo que evidencia una similitud en las condiciones biológicas y físico-químicas para el desarrollo y distribución de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

10. RECOMENDACIONES

Realizar estudios futuros de los ecosistemas de la zona, ya que el presente estudio puede ser tomado como base para desarrollar acciones que permitan obtener conocimiento de los aspectos biológicos, físico-químicos y ecológicos de los diversos ecosistemas; incluidos los acuáticos.

Socializar el estudio con las comunidades beneficiadas para que conozcan las condiciones actuales de la microcuenca, la diversidad biológica que alberga y desarrollar campañas de educación ambiental para que conozcan, se apropien y cuiden sus recursos.

Implementar programas de conservación y restauración con especies nativas en las márgenes de las quebradas principalmente en el nacimiento, donde tengan participación las comunidades aledañas incentivando el cuidado del medio ambiente.

Realizar un estudio con base a los macroinvertebrados acuáticos en la parte más alta de la microcuenca ya que en el actual estudio la primera estación se ubicó a una gran distancia del nacimiento.

Hacer un estudio con base a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la época de lluvias bajas para realizar una comparación y determinar las diferencias que se puedan hallar en cuanto a la estructura, composición de los macroinvertebrados acuáticos, variables físico-químicas y los valores del índice BMWP/Col, ya que el presente estudio correspondió a temporada de lluvias altas.

Ejecutar estudios microbiológicos que complementen el presente estudio teniendo en cuenta que la microcuenca abastece el acueducto del municipio de San Agustín y el de la vereda La Estrella.

11. BIBLIOGRAFIA

- ALLAN, J.D.** 1995. Stream ecology; Structure and Function of Running Waters. Londres, Inglaterra: 388 p.
- ALBA-TERCEDOR, J.**, 1996. Macroinvertebrados acuáticos y la calidad de las aguas de los ríos, IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, Vol II, 203-213, ISBN 84- 7840-262-4.
- ALONSO A.**, 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Ecosistemas. 2006/2.
- ALONSO A., CAMARGO J.A.**, 2005. 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.
- ARANGO M. C., ALVAREZ L.F.**, et al. 2008. Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 9, p. 121-141. Escuela de ingeniería de Antioquía, Medellín, Antioquia.
- ARCE, O.**, 2006. Indicadores Biológicos de la Calidad del Agua. [Fecha de consulta Octubre 2010], disponible en: <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/documentos/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf>
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN AGUSTÍN**, 2010.
- CONSEJO MUNICIPAL DE SAN AGUSTÍN**, 2009.
- CUATRECASAS, J.**, 1958, Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Rey. Acad. Col. Cs. Ex. Fis. Nat.
- CHÁVEZ R., ROCHA A., RAMIREZ A.**, 2005.; Cambios en los ensamblajes de peces del sistema lagunar de Alvarado (sla), Veracruz, México Revista Digital Universitaria Vol.6, No.8 ISSN: 1607 – 6079.
- DOMÍNGUEZ, E., FERNÁNDEZ, H. R.**, 2009. Macroinvertebrados bentónicos de Suramérica. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lilio. Tucumán, Argentina. 2009. ISBN 978-950-668-015-2.
- EPLER, J. H.**, 1996. Identification manual for the water Beetles of Florida. Editorial Florida-Department of environmental protection. Research Associate, Florida State Collection of Arthropods. Gainesville, FL. United State of American.
- ESTEVEZ, F. A.** 1988. Fundamentos de limnología. Ed. Interciencias. FINEP. Rio de Janeiro, Brasil.
- GARCIA, M., SANCHEZ, F.**, et. al. El Agua. [Fecha de Consulta Septiembre de 2010], Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/publica/index4.htm>
- GUERRERO, F., MANJARRES, A. & NUÑEZ, N.**, 2003. Los macroinvertebrados acuáticos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Tesis: Universidad del Magdalena, Facultad de Ciencias Básicas, Santa Marta.

- GONZÁLEZ, M. & GARCÍA D.**, 1984. Restauración de ríos y riberas. Escuela técnica superior de ingenieros. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid (España). p. 319.
- HAHN-VONHESSBERG, C.M.**, *et. al.* 2009. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de Caldas, municipio de Palestina Colombia. Boletín científico centro de museos, museo de historia natural. ISSN 0123-3068 bol.cient.mus.hist.nat 13 (2): 89-105.
- HALFFTER, G.**, 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International*, 36: 3-17.
- HOFSTEDE, R.**, *et. al.* 1998. Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador. Revisión de Literatura. Editorial Abya Yala, Ecuador. 242 p.
- HOLDRIDGE, L. R.**, 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).
- LIDLAW, T.**, 1996. Manual de adopte una quebrada. [Fecha de Consulta Septiembre de 2010] Disponible en: <http://www.rivercenter.uga.edu/international/wfl/manual4espanol.htm#analisis>
- LUDWIG, J. A., REYNOLDS. J. F.**, 1988. Statistical Ecology. John Wiley & Sons, Nueva York. 337 p.
- MACHADO, T. A.**, 1989. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín.
- MACHADO, T., ROLDÁN, G.** 1981. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas*, 10(35) 3 - 19.
- MAGURRAN, A. E.**, 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- MARGALEF, R.**, 1983. Ecología, editorial Paneta S.A. 1010 p.
- MARGALEF, R.**, 1958. Information theory in ecology. *General systematics*, 3:36-71.
- MARIN, R.**, 2003. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, tratamiento y control de la calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos, España, 311 p.
- MERRIT, R W. y CUMMINS, K.W.**, 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North American. Michigan State University, Oregon State University. Editorial Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa, United State of American.
- MORENO, C.**, 2001. Métodos para medir la Biodiversidad. 1ª edición, Zaragoza (España): CYTED, ORCYT/UNESCO y SEA, 84p.
- MUÑOZ, Q.**, 2000. Especies del orden Trichoptera (insecta). *Biota col.*, 1 (3):267-288.
- NEEDHAM, J. G., NEEDHAM, P. R.** 1982. Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. (Versión española y adaptación por: ALTAMIRA, C., *et al.*). 5a edición. Editorial Reverté, S. A. España.

- PALACIO, J. A.**, 1990. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación acuática, Centro de investigaciones ambientales, Universidad de Antioquia. 110p.
- PIELOU, E.C.**, 1984. The interpretation of ecological data. Wiley, New York.
- PIELOU, E.C.**, 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience John Wiley & Sons. 258 p.
- PRAT, N., ACOSTA, R., RÍOS, B., RIERADEVALL, M.**, 1998. Los Macroinvertebrados Como Indicadores de Calidad de las Aguas. 1-4.
- PINILLA, G.**, 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Santa Fe de Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. 67p.
- RESH, V.H., BROWN, A., et al.**1988. The role of disturbance in stream ecology. Journal of North America Benthological society. 7:433-455.
- RINCON, M.E.**, 1996. Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la Quebrada Carrizal (Boyacá, Colombia). Revista Colombiana de Entomología 22 (1): 53-60.
- RINCON, M.E.**, 2002. Comunidad de insectos de la quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia). Revista Colombiana de Entomología. 28 (1): 1001-108.
- RIVERA, J., CAMACHO, D.**, 2008. Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del Departamento del Quindío-Colombia. Vol. 13 N° 2, 133-146.
- ROLDÁN, G.**, 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín (Antioquia): Universidad de Antioquia.
- ROLDÁN, G.**, 1996. Guía Para el estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN- Colombia. Colciencias-Universidad de Antioquia. Ed. Presencia Ltda, Santa Fe de Bogotá.
- ROLDÁN, G., POSADA, J., GUTIERREZ, J.**, 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas, Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras N° 18, Guadalupe LTDA, 152p.
- ROLDÁN, G.**, 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical, 2ª edición, Medellín, Universidad de Antioquia. 440p.
- RUEDA, J. A., et. al.** 2002. Effect of episodic and regular sewage discharges on the water chemistry and macroinvertebrate fauna of a mediterranean stream. Water, Air and Soil Pollution, 140: 425-444.
- SHANNON, C.E. & WEAVER W.**, 1949. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Urbana, IL.
- SIMPSON, E.H.**,1949. Measurement of diversity. Nature, 163: 688.
- SMITH, R. L., et. al.** 2005. Ecología, Pearson Addison Wesley. España.
- TEBBUTT, T.H.Y.**, 1995. Fundamentos de control de la calidad del agua. Limusa, 3ª edición, México, 329 p.
- VANNOTE, R.L., et. al.** 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science.
- VÁSQUEZ, G.**, 2001. Evaluación de la calidad de las aguas naturales. Popayán (Cauca): Universidad del Cauca.

- WHITTAKER, R. H.**,1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3): 213-251.
- ZAMORA, H.**, 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia, *Unicauca ciencia*, N° 47, 59p.
- ZAMORA, H.**, 2007 "El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia". En: *Colombia Revista De La Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas* /ISSN: 0120-4173 ed: Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas v.19 *fasc.* p.73 – 81.
- ZÚÑIGA M.C.**, 1985. Estudio de la ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico. *Revista Ainsa*. 8:63-85.

ANEXOS

1. Parámetros físico-químicos hídricos de la microcuenca El Quebradón

Variable	Media	Desviación típica	Error típico
O ₂ (mg/L)	5.217	1,3610	0,3929
%Sat. O ₂	74,17	15,759	4,549
T ambiental °C	20,25	2,734	0,789
T hídrica °C	18,17	1,403	0,405
% Humedad Relativa	92,00	5,752	1,661
CO ₂ (mg/L)	1,833	,3257	0,0940
NO ₃ (mg/L)	23,75	4,330	1,250
NO ₂ (mg/L)	0	0	0
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,067	0,1557	0,0449
Fe (mg/L)	0,133	0,0778	0,0225
pH	7,083	0,1946	0,0562
Dureza total (mg/L)	9,58	2,746	0,793
Dureza carbonácea (mg/L)	0,417	0,1749	0,0505
Ca (mg/L)	7,50	0,905	0,261
Alcalinidad (mg/L)	0,375	0,1545	0,0446
Acidez (mg/L)	0,275	0,1055	0,0305

1.1. Parámetros físico-químicos hídricos en la estación 1.

Variable	E1M1	E1M2	E1M3	E1M4	Promedio
O ₂ (mg/L)	6.5	7	4.5	5.2	5.8
% Saturación O ₂	89	97	68	80	83.5
T° Ambiental (°C)	18	18	17	20	18.25
T° Hídrica (°C)	16	17	17	19	17.25
% Humedad relativa	98	96	95	93	95.5
CO ₂ (mg/L)	2	1.5	2	1.5	1.75
NO ₃ (mg/L)	25	25	25	25	25
NO ₂ (mg/L)	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0.4	0	0	0	0.1
Fe (mg/L)	0.3	0.1	0.1	0.1	0.15
pH	7	7	7	7	7
Dureza total (mg/l)	6	5	8	13	8
Dureza carbonácea (mg/L)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.32
Ca (mg/L)	8	8	8	6	7.5
Alcalinidad (mg/L)	0.3	0.3	0.5	0.8	0.5
Acidez (mg/L)	0.3	0.2	0.4	0.4	0.32

1.2. Parámetros físico-químicos hídricos en la estación 2.

Variable	E2M1	E2M2	E2M3	E2M4	Promedio
O ₂ (mg/L)	6.4	6.5	3.1	3.5	4.9
% Saturación O ₂	85	89	49	55	69.5
T° Ambiental (°C)	22	18	20	26	21.5
T° Hídrica (°C)	17	18	18	20	18.2
% Humedad relativa	94	98	92	79	90.75
CO ₂ (mg/L)	1.5	2	2.5	2	2
NO ₃ (mg/L)	25	25	25	25	25
NO ₂ (mg/L)	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0	0	0	0	0
Fe (mg/L)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
pH	7	7	7.5	7	7.12
Dureza total (mg/l)	11	9	11	11	10.5
Dureza carbonácea (mg/L)	0.3	0.3	0.5	0.3	0.35
Ca (mg/L)	8	8	8	8	8
Alcalinidad (mg/L)	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3
Acidez (mg/L)	0.4	0.1	0.2	0.2	0.22

1.3. Parámetros físico-químicos hídricos en la estación 3.

Variable	E3M1	E3M2	E3M3	E3M4	Promedio
O ₂ (mg/L)	6.2	5.8	4.1	3.8	4.97
% Saturación O ₂	82	79	60	57	69.5
T° Ambiental (°C)	21	18	21	24	21
T° Hídrica (°C)	18	18	19	21	19
% Humedad relativa	90	96	89	84	89.75
CO ₂ (mg/L)	2	1.5	2	1.5	1.75
NO ₃ (mg/L)	25	25	10	25	21.25
NO ₂ (mg/L)	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0.4	0	0	0	0.1
Fe (mg/L)	0.3	0.1	0.1	0.1	0.15
pH	7.5	7	7	7	7.125
Dureza total (mg/l)	9	7	14	11	10.25
Dureza carbonácea	0.3	0.5	0.8	0.7	0.575
Ca (mg/L)	8	6	8	6	7
Alcalinidad (mg/L)	0.4	0.3	0.4	0.3	0.35
Acidez (mg/L)	0.4	0.3	0.2	0.2	0.275

2. Estadístico de contraste para índices de diversidad por estaciones

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Shannon	Dominancia	Margalef	Pielou
Chi-cuadrado	0.962	0.183	0.615	0.462
Gl	2	2	2	2
Sig. asintót.	0.618	0.912	0.735	0.794

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Estación

2.1. Estadístico de contraste para índices de diversidad por meses

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Shannon	Dominancia	Margalef
Chi-cuadrado	5.872	6.523	3.359
Gl	3	3	3
Sig. asintót.	.118	.089	.340

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Mes

2.2. Estadístico de contraste para parámetros físico-químicos por estación y por mes.

Prueba de Kruskal-Wallis

Estadísticos de contraste^{a,b}

	CO ₂	NH ₄	Fe	DurezaT	DurezaC	Alcalinidad	Acidez	OD	%Saturación
Chi-cuadrado	.000	1.100	1.100	.907	3.999	1.915	1.823	1.631	2.113
Gl	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	1.000	.577	.577	.635	.135	.384	.402	.442	.348

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Estación

Estadísticos de contraste^{a,b}

	CO ₂	NH ₄	Fe	DurezaT	DurezaC	Alcalinidad	Acidez	OD	%Saturación
Chi-cuadrado	1.222	6.600	6.600	7.134	3.475	4.557	3.796	6.267	7.501
gl	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sig. asintót.	.748	.086	.086	.068	.324	.207	.284	.099	.058

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Mes

3. Imágenes de macroinvertebrados acuáticos

3.1 Clase Insecta Orden Trichoptera



Género *Mortoniella* sp.



Género *Leptonema* sp.



Género *Chimarra* sp.

Orden Diptera



Subfamilia Tanyptodinae



Género *Tabanus* sp.



Género *Hexatoma* sp.

Orden Ephemeroptera



Género *Leptohyphes* sp.



Género *Tricorythodes* sp.



Género *Thraulodes* sp.

Orden Coleoptera



Género *Heterelmis* sp.



Género *Disersus* sp.



Género *Anchytarsus* sp.

Orden Odonata



Género *Polythore* sp.



Género *Phyllogomphoides* sp.

**3.2. Clase Crustacea
Orden Amphipoda**



Género *Hyalella* sp.

**3.3. Clase Gastropoda
Orden Basommatophora**



Género *Lymnaea* sp.

