

**EFFECTO DE LA ACTIVIDAD MINERA SOBRE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE AGUA LÉNTICOS Y LÓTICOS
DEL MUNICIPIO DE CONDOTO, CHOCÓ**

FAIRY MARIA MEDINA MOSQUERA
Ingeniera Ambiental

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
MEDELLÍN
2016**

**EFFECTO DE LA ACTIVIDAD MINERA SOBRE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE AGUA LÉNTICOS Y LÓTICOS
DEL MUNICIPIO DE CONDOTO, CHOCÓ**

FAIRY MARIA MEDINA MOSQUERA
Ingeniera Ambiental

Trabajo de Investigación, presentado como requisito parcial para optar el título de
Magister en Ciencias Ambientales

Director.
WILLIAM KLINGER BRAHAN
Ing. Forestal Msc.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
MEDELLÍN
2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Medellín, 22 de junio de 2016

DEDICATORIA

A mi hija por ser mi motor y razón de ser,
A mi familia por ser mi apoyo incondicional,
A la vida por cada oportunidad y por los
Obstáculos que me han forjado el carácter,
Y al IIAP por ser mi casa de formación profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo técnico del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico por el espacio, apoyo y acompañamiento en la ejecución del presente proyecto,

A los Ingenieros Willian Klinger Braham y Helcías José Ayala Mosquera, por su confianza y respaldo incondicional,

A la Bióloga Liliana Córdoba por el valioso aporte en el trabajo de campo realizado,

A la profesora Zuleima Mosquera por la Identificación Taxonómica de los Macroinvertebrados, y

A la Universidad de Cartagena por el soporte brindado en los análisis de Mercurio de este proceso investigativo.

RESUMEN

A partir del análisis de la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos capturados en cuerpos de aguas lóaticos (quebradas) y lenticos (pozas) superficiales intervenidos por minería de oro a cielo abierto en el municipio de Condoto, se evaluaron los efectos de la actividad minera sobre estos organismos. Para lograr esta investigación, se identificaron cuatro fuentes hídricas, con tiempos de intervención entre 0 y más de 30 años, para ambos tipos de cuerpos de agua. La comunidad de macroinvertebrados acuáticos solo estuvo presente en tres de los cuatro cuerpos de agua lóaticos, ya que para la Quebrada Jorobidó (fuente hídrica con recepción de vertimientos mineros), no hubo registros debido posiblemente a la presencia frecuente de vertimientos mineros, los cuales alteran las características fisicoquímicas del agua y por consiguiente las condiciones óptimas que garantizan la presencia de estos organismos. La comunidad de macroinvertebrados tanto por su composición como por su estructura se ve influenciada por el desarrollo de la actividad minera. De los individuos capturados en la Quebrada Pichirí (fuente hídrica sin intervención minera), se resalta una alta presencia del orden Ephemeroptera en asocio con los orden Odonata y Tricoptera; en el caso de las Quebradas Sabaleta (Fuente hídrica entre 5 y 10 años de cese de actividad minera) y Marcos Díaz (con más 30 años), se destaca la alta presencia que se registró con los individuos del orden Diptera. En el caso de los cuerpos de agua lenticos, resalta la presencia del orden Ephemeroptera especialmente en la poza sin minería, y el orden Odonata en las pozas con minería actual, Sabaleta (entre 5 y 10 años de abandono), y Marcos Díaz (con más de 30 años de abandono). Estos resultados evidencian como la actividad minera altera los patrones de distribución de estos organismos independientemente del tipo de cuerpo de agua, pues las variaciones estadísticamente significativas generadas por los vertimientos mineros sobre algunos parámetros fisicoquímicas (Turbiedad, Sólidos Suspendidos, Conductividad y Sólidos Disueltos Totales especialmente), influyen notablemente sobre su presencia o ausencia en los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, los niveles de mercurio registrados en los organismos estudiados indican que efectivamente la actividad minera puede estar generando una influencia directa sobre la presencia de mercurio en dichos organismos, independientemente del tipo de fuente de agua afectado, pues el análisis comparativo entre los resultados obtenidos en las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Días, nos hace sospechar que entre más tiempo de cese de intervención tenga el cuerpo de agua, mayores son los registros de las concentraciones de mercurio, a pesar de que algunos individuos hayan tenido resultados negativos, situación que en ningún momento hace que se descarte la posibilidad de la existencia de este metal en los cuerpos de agua estudiados.

Palabras Claves: Minería de aluvión, Contaminación Hídrica, Macroinvertebrados Acuáticos, Contaminación Mercurial.

TABLA DE CONTENIDO

1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.1	Preguntas de Investigación.....	15
1.2	Hipótesis.....	15
2	JUSTIFICACIÓN	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivo General.....	17
3.2	Objetivo Específicos.....	17
4	MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1	Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ambiental....	18
4.1.1	Contaminación del agua.....	19
4.1.2	Los macroinvertebrados como organismos bioacumuladores.....	19
5	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
5.1	Contexto geográfico de los municipios de Condoto y Cértegui.....	23
5.2	Métodos.....	25
5.2.1	Cuerpos de aguas loticos.....	25
5.2.2	Cuerpos de aguas lenticos.....	26
5.2.3	Trabajo de Campo.....	28
5.2.4	Trabajo de Laboratorio	30
5.2.5	Análisis de la información y tratamiento estadístico	30
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32

6.1	Estructura Ecológica de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos	32
6.1.1	Cuerpos de agua loticos	32
6.1.2	Cuerpos de Agua Lenticos	48
6.2	Análisis de Mercurio Total en Macroinvertebrados Acuáticos	60
6.2.1	Cuerpos de Aguas Lóticos	60
6.2.2	Cuerpos de Aguas Lenticos	65
6.2.3	Análisis Comparativo de la Presencia de Mercurio Total Entre los Macroinvertebrados Capturados en los Cuerpos Loticos y los Lenticos	69
7	CONCLUSIONES.....	71
8	BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de variables físico-químicas medidas en las quebradas Pichirí, Jorobiro, Sabaleta y Marcos Díaz.	32
Tabla 2. Resultados obtenidos en la Prueba de Kruskal-Wallis en cuerpos de agua Lóticos.....	33
Tabla 3. Composición taxonómica de la Comunidad de macroinvertebrados capturados en las fuentes hídricas loticas.	36
Tabla 4. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz.	46
Tabla 5. Promedio de variables físico-químicas medidos en las Pozas Natural, con minería actual, Sabaleta y Marcos Díaz.....	49
Tabla 6. Resultados obtenidos en la Prueba de Kruskal-Wallis en cuerpos de agua lenticos.....	49
Tabla 7. Composición Taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en los cuerpos de agua lenticos.....	52
Tabla 8. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de las pozas sin minería, con minería, Sabaleta y Marcos Díaz.....	58
Tabla 9. Concentraciones de mercurio analizados en cuerpos de agua loticos.....	61
Tabla 10. Análisis de mercurio Total, en macroinvertebrados capturados en cuerpos de agua loticos influenciados por la actividad minera.....	65
Tabla 11. Análisis de mercurio Total, en macroinvertebrados capturados en cuerpos de agua loticos influenciados por la actividad minera.....	67
Tabla 12. Análisis de mercurio Total, en macroinvertebrados capturados en cuerpo de agua lenticos influenciados por la actividad minera.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las muestras en los municipios de Condoto y Cértegui	24
Figura 2. Cuerpos de agua loticos estudiados.....	26
Figura 3. Cuerpos de agua lenticos estudiados	28
Figura 4. Procedimiento metodológico para la captura e identificación de macroinvertebrados acuáticos.....	29
Figura 5. Identificación taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz.	34
Figura 6. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, quebrada Pichirí.....	41
Figura 7. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, quebrada Sabaleta	43
Figura 8. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, quebrada Marcos Díaz.	45
Figura 9. Análisis de Componentes Principales, cuerpos de agua lóticos.	48
Figura 10. Identificación taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en los cuatro cuerpos de agua Lenticos.....	51
Figura 11. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Natural.	55
Figura 12. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Jorobiró o con minería actual.	56
Figura 13. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Sabaleta.....	57
Figura 14. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Marcos Díaz.....	58
Figura 15. Análisis de Componentes Principales, cuerpos de agua lenticos.	60

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las fuentes hídricas, de la subregión del San Juan y de la parte alta y media de la cuenca del Atrato, en el departamento del Chocó, han estado sometidos a una fuerte presión e intervención por la extracción de metales preciosos (oro y platino), afectándose entre otros recursos naturales, la disponibilidad del agua en calidad y cantidad, para el desarrollo de otras actividades asociadas a las cuencas hidrográficas, y las condiciones ambientales naturales para el establecimiento de las comunidades biológicas propias de este tipo de ecosistemas. Por su parte, la actividad minera, es una de las fuentes de perturbación y contaminación de los ecosistemas acuáticos de origen antrópico más importantes, junto con la deforestación y los residuos sólidos y líquidos de origen doméstico, industrial, agrícola, etc. (Roldan,2012). Dichas perturbaciones pueden ser evidenciadas de manera directa sobre los cuerpos de agua superficiales, principalmente con situaciones como: la alteración de las condiciones hidráulicas, fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua, la desviación y sedimentación de los cauces, y entre otros aspectos, en .la destrucción de hábitats y microhabitas.

El grado de intervención o contaminación de cualquier fuente hídrica superficial, puede ser evaluado haciendo uso de diferentes indicadores, entre ellos organismos acuáticos sensibles a cambios en el ambiente. Uno de estos grupos de organismos acuáticos más utilizados para el monitoreo de un cuerpo de agua, son los macroinvertebrados de la comunidad bentónica (Gaboia *et. al.*, 2008), ya que poseen requerimientos particulares con relación a una o a un conjunto de variables físicas o químicas tal, que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indican que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia” (Rosemberg & Resh, 1993). Su presencia en todos los ecosistemas acuáticos y su alta sensibilidad a la ocurrencia de cualquier tipo de contaminación, bien sea antrópico o de tipo natural, hace que estos organismos sean considerados como los mejores bioindicadores de calidad ambiental, por encima de otros grupos faunísticos (Merritt & Cummins, 1996). Estos organismos presentan ventajas respecto a otros componentes de la biota acuática, como algas, micrófitos o peces; por su diversidad, el fácil muestreo, la taxonomía ecológicamente diferente, los protocolos de muestreo; la elaboración de índices bien estandarizados y el tiempo de vida relativamente largo, permitiendo que estos organismos integren los efectos de la contaminación en el tiempo y exhiban respuestas evidentes en el instante desde el punto de vista del manejo de la conservación (Zuñiga, 2000).

Por lo anteriormente expuesto, resulta muy interesante el estudio de la comunidad de macroinvertebrados que habitan cuerpos de aguas loticos presentes en áreas intervenidas por la actividad minera en el municipio de Condoto, logrando de esta manera evaluar y analizar los cambios que podrían presentarse en su estructura ecológica como consecuencia de la degradación ambiental, ya que la minería es

considerada como la principal fuente de ingresos de las poblaciones que integran la subregión del San Juan, de la cual hace parte este municipio en el departamento del Chocó y además es la principal fuente de deterioro de los ecosistemas acuáticos de la zona. Por tanto, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la actividad minera sobre la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados presentes en cuerpos de agua loticos del municipio de Condoto – Chocó.

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La minería en el departamento del Chocó, es desarrollada principalmente en las llanuras aluviales del sistema hídrico que integran la cuenca del San Juan y la parte alta y media del río Atrato a través de la aplicación de los sistemas de extracción artesanal, semi-mecanizado y mecanizado. Esta actividad a través de los años ha sido intensificada drásticamente, logrando la intervención de muchas fuentes hídricas superficiales ubicadas principalmente en los municipios de Condoto, Istmina, Tadó, Unión Panamericana, Medio San Juan, etc., y la creación de innumerables pozas o lagunas que luego son abandonadas sin un adecuado retro llenado. Esta situación ha generado la degradación de más de 62.000has de bosque con una alta diversidad de especies florísticas y faunísticas en el Chocó, además, de la contaminación y alteración de la calidad del agua de las fuentes hídricas antes mencionadas. Esta afectación se genera principalmente por el aporte de sedimentos, cargas orgánicas, metales pesados como el mercurio, grasas, aceites y combustibles que inciden en el deterioro de las condiciones fisicoquímicas y biológicas de las corrientes, limitando el uso del recurso agua para diferentes (MADS – IIAP 2012).

Los efluentes mineros presentan altas concentraciones de sólidos totales calculados en 186.062 ton/año (Vargas, 2012), que al diluirse en los cuerpo de aguas, afectan algunos parámetros físicos como la turbiedad y el color aparente del agua, parámetros que juegan un papel importante en el intercambio gaseoso, en la penetración de los rayos del sol y en la conservación de los ecosistemas acuáticos. Además, contienen concentraciones de grasas y aceites calculadas en 69.783 kg/año (Vargas, 2012), presentes y dispersas en fuentes hídricas en concentraciones hasta de 75.25 mgL⁻¹, superando los criterios de calidad establecidos no solo en aguas para consumo humano, sino también para la conservación de fauna y flora acuática (F. Medina, 2013).

Adicionalmente, la presencia de mercurio se constituye en un aporte contaminante con implicaciones en la salud humana por sus niveles de toxicidad, utilizado con mucha frecuencia en la minería de oro y platino, durante el proceso de beneficio del metal, aplicado en muchos casos directamente en los canalones con el fin de amalgamar las partículas más finas del oro. En las descargas mineras este metal alcanza concentraciones hasta de 30 kg/año por entable en el departamento del Chocó (CODECHOCO, 2010), lo que aumenta los riesgos de contaminación mercurial, bien sea a través de la cadena trófica o por el consumo de alimentos y la ingesta de agua, lo que podría ocasionar graves afectaciones a la salud humana.

Lo anterior dificulta la conservación de la calidad físico-química y biológica del agua y limita la disponibilidad de alimentos para la ictiofauna y otras especies acuáticas, las cuales disminuyen y/o desaparecen por migración a otros ecosistemas, y las

pocas especies que se mantienen, se convierten en un factor de riesgo para la seguridad alimenticia humana toda vez que asimilan y bioacumulan las sustancias tóxicas disueltas en el río, entre ellas el mercurio, sustancia química que al llegar al cuerpo de agua es transformado por los micro-organismos presentes en metilmercurio, compuesto extraordinariamente tóxico que es fácilmente asimilado y concentrado en la cadena alimentaria hasta llegar a la población humana.

El mercurio, es un metal pesado, que se presenta de forma natural en el medio ambiente bajo distintas formas químicas. La forma pura, mercurio elemental, es líquida a temperatura ambiente, aunque lentamente tiende a evaporarse. Las formas que se encuentran más comúnmente en la naturaleza son el mercurio inorgánico (mercurio elemental) y el mercurio orgánico (metilmercurio). Este metal puede ocasionar efectos adversos en seres vivos y en el medio ambiente, aunque dichos efectos dependen de la forma en que se presente, de la dosis, etc. El metilmercurio y el mercurio elemental son las formas de este elemento más preocupantes ya que son perjudiciales para el sistema nervioso. Además, la exposición al metilmercurio durante el embarazo pudiera afectar al feto. Fundamentalmente, las personas que están expuestas al metilmercurio a través de la alimentación (especialmente el pescado) y a los vapores de mercurio elemental a través de los empastes amalgamados y en ciertos puestos de trabajo. (PNUMA, 2002)

Es importante indicar, que cuando el mercurio entra en el medio ambiente acuático, los microorganismos pueden transformarlo en metilmercurio, un compuesto de mercurio que es más tóxico a dosis bajas que el mercurio elemental, que luego es consumido por pequeños organismos acuáticos, quienes a su vez, sirven de alimento a los peces y otros organismos acuáticos más grandes. Como resultado de esto, el metilmercurio se biomagnifica, concentrándose cada vez más a medida que el contaminante asciende por la cadena alimentaria (IPEN, 207).

De igual manera, podrían tener relevancia los vertimientos mineros en términos generales, ya que con la presencia de sedimentos, grasas y aceites se genera la alteración de las características físico-químicas de las fuentes hídricas receptoras y con ello la alteración de la estructura numérica y ecológica de la comunidad de macroinvertebrados allí presentes, pues se reduce la producción y disponibilidad de oxígeno disuelto y de alimento, además de la modificación de los diferentes sistemas de refugio y de protección que estas especies requieran para su supervivencia y normal desarrollo.

Por otro lado, es importante resaltar, que la determinación de la contaminación del agua debido al mercurio y otros metales pesados es complicada, debido a que las técnicas de análisis son específicas y costosas, además de que las concentraciones en el medio suelen ser más bajas que las encontradas en los sedimentos, o en las especies de fauna y flora presentes en los cuerpos de agua (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior y que parte de las investigaciones realizadas en el departamento del Chocó, y en especial en el municipio de Condoto, están relacionadas con la determinación de la calidad del agua con base en análisis de variables físico-químicas y del uso de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, resulta interesante evaluar y analizar los efectos que genera la actividad minera sobre la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados y su participación en la incorporación del metil-mercurio en la cadena trófica.

1.1 Preguntas de Investigación

En concordancia con lo anterior se formularon las siguientes preguntas de investigación:

- ¿De qué manera se modifica la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados que habitan fuentes hídricas superficiales lenticas y loticas influenciadas por la actividad minera en el municipio de Condoto?
- ¿Cómo influye la actividad minera sobre la presencia o ausencia de mercurio total en macroinvertebrados que habitan fuentes hídricas loticas y lenticas del municipio de Condoto?

1.2 Hipótesis

Éste análisis lleva a definir las siguientes hipótesis:

- Con la actividad minera, se producen vertimientos que contienen sustancias contaminantes que, al diluirse con el agua de las fuentes hídricas superficiales lenticas y loticas receptoras, generan alteraciones en las características fisicoquímicas del agua y estas a su vez, modifican la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados allí presentes. Esto hace que se ocasione una disminución de la diversidad y equidad y un aumento en la dominancia de dichas especies.
- Los vertimientos procedentes de la actividad minera, presentan sustancias químicas como el mercurio, que al llegar a los cuerpos de aguas loticos y lenticos se sedimenta y con el transcurrir del tiempo es convertido en mercurio total. Este es consumido por pequeños organismos que viven y se alimentan de sedimentos, entre ellos los macroinvertebrados considerados como parte del grupo de organismos con los cuales se hace la incorporación de metil mercurio en la cadena trófica.

2 JUSTIFICACIÓN

La relevancia que presenta el desarrollo de esta investigación se centra básicamente, en la importancia que tiene para las comunidades rivereñas el recurso hídrico, la generación de conocimiento relacionados con los niveles de contaminación que se pueden presentar en aquellas corrientes de agua intervenidas con minería aluvial en el municipio de Condoto, y el aumento del riesgos de contaminación mercurial a los que se exponen las poblaciones aledañas por el consumo de peces contaminados, esto, teniendo en cuenta que la pesca aún persiste en muchas corrientes receptoras de vertimientos mineros y que los macroinvertebrados acuáticos hacen parte de los organismos con quienes se inicia el proceso de incorporación del mercurio en la cadena trófica, pues hacen parte de la dieta alimenticia de estas especies ictiológicas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de la actividad minera sobre la comunidad de macroinvertebrados presentes en cuerpos de agua lenticos y loticos del municipio de Condoto – Chocó.

3.2 Objetivo Específicos

- Determinar la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados en relación a las variables fisicoquímicas, en cuerpos de aguas superficiales loticos y lenticos influenciados por la actividad minera en el municipio de Condoto, Chocó.
- Determinar la presencia de Mercurio Total en macroinvertebrados que habitan cuerpos de aguas superficiales loticos y lenticos influenciados por la actividad minera en el municipio de Condoto.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ambiental.

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que se pueden ver a simple vista. Incluyen a los invertebrados que miden entre 2.0 milímetros y 30 centímetros. Habitan en superficies colmadas por agua o húmedas, en ambientes como: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos organismos reflejan la calidad del agua de cualquier ecosistema acuático de donde se encuentren, bien sean lóticos o lenticos, sin importar los diferentes rangos altitudinales, ya que la alta sensibilidad que tienen ante la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas hace que sean considerados bioindicadores de la salud ambiental del recurso hídrico, quienes finalmente se constituyen en la radiografía del cuerpo de agua. Es así, como algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, toleran y cumplen su ciclo de vida en medios acuáticos, y prevalecen en cantidades excesivas cuando hay contaminación. Ejemplos de estos son: las moscas de piedra, sólo viven en agua muy limpia y desaparecen cuando el agua está contaminada. Lo que no ocurre con algunas larvas o gusanos de otras moscas que resisten la contaminación y abundan en agua sucia. Estos organismos, al crecer, se transforman en moscas que provocan enfermedades como la malaria, el paludismo o el mal de chagas. Los macroinvertebrados se multiplican en grandes cantidades, se pueden encontrar miles en un metro cuadrado. Son parte importante en la alimentación de los peces. (Carrera R. & Fierro P., 2001)

En este sentido, la importancia de los macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos, radica en que se constituyen en el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de las corrientes de agua superficiales y juegan un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas. Es decir, a nivel de grupo, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el río por los organismos fotosintéticos, como algas o briófitos, y la materia orgánica procedente del ecosistema terrestre, fundamentalmente del bosque de ribera, y la van a transferir a los grandes vertebrados del ecosistema, representando la principal fuente de alimento de éstos, de manera que la alteración de la comunidad de macroinvertebrados de los ecosistemas fluviales va a afectar directamente a animales como peces, aves acuáticas o mamíferos semiacuáticos (Ladrera, *et al.*, 2013).

Su presencia en todos los ecosistemas acuáticos y su alta sensibilidad a la ocurrencia de cualquier tipo de contaminación, bien sea antrópico o de tipo natural, hace que estos organismos sean considerados como los mejores bioindicadores de calidad ambiental, por encima de otros grupos faunísticos (Merritt & Cummins, 1996). Arenas (1993), manifiesta que estos organismos acuáticos son los mejores bioindicadores de la calidad del agua, ya que debido a su capacidad sedentaria los

macroinvertebrados, miembros de la comunidad béntica, permiten evaluar las variaciones temporales de los parámetros físicos y químicos del agua; y por sus formas de vida permiten encontrar cambios en la composición del fondo de lagunas y ríos. (Merritt & Cummins, 1996).

4.1.1 Contaminación del agua

Incorporación al agua de agentes externos; como microorganismos, productos químicos, pesticidas, metales pesados, residuos radioactivos, y el calor que es considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la se abastecen. Estos materiales deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos, muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida acuática (Calderón, 2004).

4.1.2 Los macroinvertebrados como organismos bioacumuladores

Los organismos bioacumuladores entre los cuales se encuentran los macroinvertebrados, son organismos que pertenecen a la comunidad béntica que pueden poseer mercurio acumulado en su interior en relación a sus hábitos alimenticios. Para el caso de invertebrados que se alimentan en el fondo, a partir de materia orgánica en descomposición, existe mayor concentración de mercurio que en invertebrados que se alimentan en cercanías de las plantas (Rosero L., 2002), de igual manera, Clayden, *et al.*, (2014), manifestaron que los macroinvertebrados acuáticos, son un vector clave en la transferencia del metilmercurio en peces, sin embargo, consideran que las concentraciones de metilmercurio en macroinvertebrados acuáticos están determinadas por varios factores entre ellas: las características físicas, químicas y biológicas del agua, resaltando entre estas la importancia que presenta el pH, como factor determinante tanto en organismos depredadores, como en los no depredadores; así mismo, consideraron la ubicación geográfica de las fuentes hídricas, (teniendo en cuenta los resultados de las concentraciones de metilmercurio registradas en los organismos analizados y la ubicación de los lagos incluidos en la investigación). También, consideran que además de la ecología alimentaria, los invertebrados acumulan mayor cantidad de metilmercurio en sistemas ácidos, donde la oferta de este compuesto es generalmente elevada para la red alimentaria.

La comunidad béntica participa en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos de compuestos esenciales y no esenciales, por tanto, puede servir como instrumento de remediación para los sistemas alterados por la presencia de agentes contaminantes. La habilidad de la comunidad béntica para ser determinada como

tal, está relacionada con su capacidad para almacenar los contaminantes acumulándolos en el interior de sus sistemas, ya que la capacidad de acumular mercurio desde la columna de agua y desde el sedimento está determinada por sus hábitos alimenticios (Rosero L., 2002).

4.1.3. Estudios sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en cuerpos de agua intervenidos con minería en el Chocó.

La actividad minera en el departamento del Chocó, especialmente en el municipio de Condoto, ha sido la principal actividad económica desarrollada durante décadas por sus habitantes. Inicialmente se desarrolló de manera artesanal, con la utilización de herramientas manuales, y alternada con otras actividades de subsistencia como la pesca y la agricultura. Entre los diferentes sistemas de extracción minera artesanal presentes en el municipio de Condoto se mencionan el mazamorreo, agua corrida, zambullidero, arrimadero y hoyadero, principalmente en las comunidades de Tajuato, El Paso, Santa Ana, etc. Actualmente esta actividad se realiza de manera semi-mecanizada, y en mayor proporción de manera mecanizada, con la utilización de maquinaria pesada (retroexcavadoras). El sistema de minería con retroexcavadora implementada a partir de los años 80, a diferencia de los otros sistemas de extracción, se caracteriza por el movimiento de grandes volúmenes de tierra y los altos costos de inversión. Este municipio ha sido fuertemente intervenido con la minería, resaltando una mayor presión e intervención en las comunidades de: Aguacate, Opogodó, sectores de la quebrada Los Negros, Barbarita, Hilaria, Platinero, Platinerito, etc. (IIAP-MAVDS, 2011).

A pesar de que en el departamento del Chocó, y en especial en el municipio de Condoto, se han adelantado investigaciones donde involucran las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua de fuentes hídricas afectadas por la actividad minera, y sus efectos sobre la estructura ecológica mediante la aplicación de los diferentes índices bióticos, aún no se conocen estudios que evidencien la presencia de metilmercurio en macroinvertebrados acuáticos presentes en fuentes hídricas loticas y lenticas. Hasta la fecha, se han encontrado muy pocas investigaciones donde se estudian las concentraciones de metilmercurio en macroinvertebrados acuáticos como efecto de dicha actividad, las cuales se presentan a continuación:

Rosero (2012) reportó los resultados obtenidos en la determinación de la habilidad de la comunidad béntica para remover mercurio de la laguna de Aucacocha, Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno, de la ciudad de Quito-Perú; mediante bioacumulación. Este autor, demuestra que la capacidad de la comunidad béntica de macroinvertebrados para acumular mercurio desde la columna de agua y desde el sedimento está determinada por sus hábitos alimenticios. Además, manifiesta que la relación existente entre biota y sedimento demuestra la predominancia de

macroinvertebrados detritívoros que habitan esta área, razón por la cual, las concentraciones de mercurio registradas en los órdenes Díptera y Ephemeroptera, fueron mayores a las concentraciones registradas en los otros organismos capturados, pues su tipo de alimentación, proviene directamente de la concentración de mercurio presente en el sedimento de la laguna.

Por su parte Clayden y colaboradores (2014), manifestaron que los macroinvertebrados acuáticos, son un vector clave en la transferencia del metilmercurio en peces, sin embargo, consideran que las concentraciones de metilmercurio en macroinvertebrados acuáticos están determinadas por varios factores entre ellas: las características físicas, químicas y biológicas del agua, resaltando entre estas la importancia que presenta el pH, como factor determinante tanto en organismos depredadores, como en los no depredadores; así mismo, consideraron la ubicación geográfica de las fuentes hídricas (teniendo en cuenta los resultados de las concentraciones de metilmercurio registradas en los organismos analizados y la ubicación de los lagos incluidos en la investigación). También, consideran que además de la ecología alimentaria, los invertebrados acumulan mayor cantidad de metilmercurio en sistemas ácidos, donde la oferta de este compuesto es generalmente elevada para la red alimentaria.

En cuanto a estudios de calidad de agua con macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos, son muy poco los realizados para esta zona; sin embargo, en el año 2005 la universidad Tecnológica del Choco realizó una expedición investigativa en uno de los municipios que integra el Distrito Minero del San Juan, zona de la cual hace parte el municipio de Condoto, donde se tuvo en cuenta la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Como resultado de esto, en la zona se evaluaron un total de seis microcuencas y una laguna, en la cuales se colectó un total de 208 individuos de macroinvertebrados acuáticos, representados en 2 clases, 9 ordenes, 21 familias y 36 géneros. A nivel de órdenes, Ephemeroptera fue el más representativo en casi todos los sitios, especial mente en Quiadó (60%), San Pablito 58.5%, Pila María 57.9% y la Honda (40.5%), seguidos del orden Tricoptera con 31.6% en Pila María y 10.6% en Quiadó, otros ordenes que presenta buena representación son Coleóptera (29.3%) en San Pablito, Hemíptera (26.1%) en la Honda y en Quiadó Plecóptera (10.6%). El orden Díptera aparece en mayor proporción en la quebrada Raspadura y Quiadó (71.4%) y 4.2%). La clase insecta fue el grupo más predominante en estos sitios.

De las 21 familias encontradas, Baetidae fue dominante en tres de los sitios estudiados 53.6% en San Pablito, 37% en Quiadó y 33% en la Honda; Euthyplociidae con 58% presenta una distribución considerable en Pila María, al igual que Leptophebiidae en Quiadó con 40%. Otras familias que presentan una dominancia considerable son: Psephenidae con un 75% en la Chamba, Chironomidae en la Quebrada Raspadura con 71%, Elmidae en San Pablito con

29.3% y Perlidae en Quiadó con 10.6%. En menor proporción se encuentran otras familias como: Glossosomatidae con 8.7% y Chironomidae con 7.2% en la Honda; Libeluliidae con 15.3% en Pila Maria y Philopotamidae con 8.5% en Quiadó.

Los géneros más representativos en los sitios objeto de estudio fueron *Campylocia* con 57,9%, *Marilia* con 15.8% para Pila Maria, *Cloeodes* con 18.84%, *Limnogonus* con 13.04%, *Harpogobaetis* con 11.59% y *Teprobates* con 10.14% para la Honda; *Metriucnemus* con 71.4% para quebrada Raspadura; *Thraulodes* con 31.6%, *Harpogobaetis* con 21.6% y *Tramea* con 10% en Quiadó; *Cloeodes* con 53.65%, *Cylloepus* con 17.07% y *Macrelmis* con 12.19% en San Pablito; *Psephenos* con un 75% en la Chamba.

En los sitios analizados la diversidad de macroinvertebrados tiende a ser baja con valores por debajo de 1.5. De acuerdo con las escalas establecidas por Wilhm y Dorris (1996), diversidades entre 1.0 y 2.5 son bajas y son representativas de aguas ligeramente contaminadas, estos resultados significarían que los puntos de análisis presentan un alto grado de deterioro ambiental, determinado posiblemente a la alta minería. Los sitios que mejor estado ecológico evidenciaron fueron la Honda, Quiadó, San Pablito y Pila Maria.

De igual manera, el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico - IIAP (2013), en un estudio realizado en la parte alta y media del río Raspadura encontró que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, estaba representada por un total de 49 Individuos, distribuidos en 1 clase, 5 órdenes, 12 Familias y 18 Géneros. Siendo la clase Insecta, la mejor representada con el orden Díptera como el de mayor abundancia, con el 40.82% y Hemíptera el de mayor diversidad con el 38,8% de todos los géneros registrados; mientras que Ephemeroptera es el de menor densidad con el 2,04%. La baja abundancia de la comunidad de macroinvertebrados es producto de las transformaciones morfológicas del río, como resultado de la actividad minera, generalizada en su zona de influencia, que modifica los hábitats, altera la oferta trófica y afecta la dinámica físico-química del sistema, factores que son determinantes para el sostenimiento y permanencia de una comunidad de macroinvertebrados numerosa. Es así como las condiciones fisicoquímicas observadas en el istemas como pH ácido (por debajo de 5), altos valores de turbiedad en la mayoría de las estaciones, así como de Sólidos disueltos y suspendidos, altos valores de las formas de N y P se asocian con sistemas eutrofizados y sujetos a fuertes procesos antrópicos, cuyas condiciones no favorecen a la fauna béntica (Roldan *et al.* 2001; Machado y Roldan 1981). Resultados similares han sido reportados por Baena *et al.* (2010), para el Rio Cauca, en el tramo Salvajina - La Virginia, afectada por minería, con una densidad igualmente baja de macroinvertebrados.

5 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Contexto geográfico de los municipios de Condoto y Cértegui

El municipio de Condoto se encuentra en el extremo sur oriental del departamento del Chocó (Figura 1), el cual a su vez se ubica en el extremo noroccidental de la República de Colombia. Dista de Quibdó capital del Departamento del Chocó a 83 Kilómetros. Posee una extensión superficial de 890 kilómetros cuadrados, ocupando el 5.04% de la territorialidad del Chocó. Teniendo en cuenta el régimen de lluvias, el municipio de Condoto corresponde al “Clima Tropical lluvioso de selva”. Presenta una precipitación promedio anual que varía entre los 7.000 y 8.000 mm. de lluvias, lo cual hace que Condoto se encuentre en una de las zonas más lluviosas del mundo. Los valores medios mensuales de temperatura registrados en la estación del aeropuerto de Condoto muestran un promedio anual de 25,7°C (EOT Condoto, 2005).

El municipio de Condoto, se encuentra circundado por tres ríos o cuencas principales, que son: los ríos Condoto, Tajuato y el Opogodó. Existen otras corrientes de importancia como los ríos Andrápeda, San José, Tapacundó, Soledad y un sinnúmero de corrientes o quebradas menores que confluyen a las tres cuencas principales (EOT Condoto, 2005).

El municipio de Cértegui, Por su parte, se encuentra localizado en la región Pacífica Colombiana, en el departamento del Chocó, en la Subregión del Atrato. Tiene una extensión de 342 Km². La cabecera Municipal se encuentra a los 5°41'41'' de latitud norte y los 76°39'40'' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 43 metros aproximadamente, localizada en la confluencia de los ríos Quito y Cértegui, al final de un desvío en el corregimiento de la variante en la vía Quibdó Animas, y dista de la capital del departamento 46 Kilómetros por vía terrestre. (PDM Cértegui, 2012)

Con excepción de la Cabecera Municipal, los asentamientos están localizados a las márgenes de las vías (La Toma y La Variante) y a lo largo de las márgenes del río Quito (Paredes y Parecito). La cabecera municipal se localiza en las coordenadas 5°41'41'' de latitud norte y los 76°39'40'' de longitud oeste, en un área de 7Km², en la confluencia de los ríos Cértegui y Quito. (PDM Cértegui, 2012)

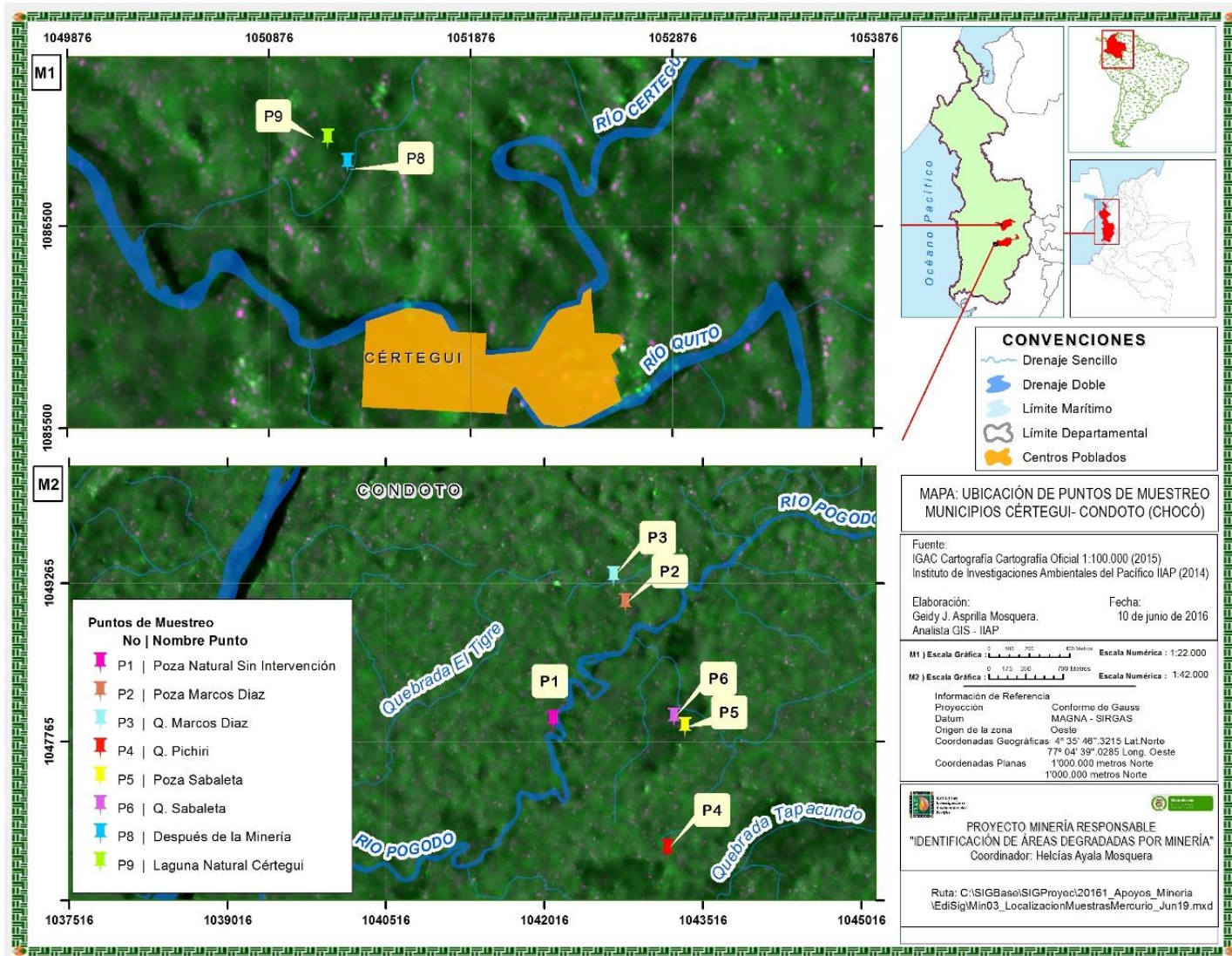


Figura 1. Ubicación geográfica de las muestras en los municipios de Condoto y Cértegui

Fuente: IIAP

5.2 Métodos

Para determinar los efectos de la minería, sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en cuerpos de agua superficiales lenticas (pozas o lagunas abandonadas, aisladas de las fuentes hídricas, con proyecciones a ser utilizadas por la comunidad para la producción de peces) y loticas (quebradas) del municipio de Condoto, se identificaron 4 escenarios de muestreo por cada tipo de fuente hídrica, con una temporalidad de intervención que va desde 0 hasta más de 30 años.

Las fuentes hídricas loticas, fueron identificadas y priorizadas teniendo en cuenta su grado de intervención y su importancia socioeconómica y cultural para la población del municipio de Condoto, especialmente para la que habita el corregimiento de Jigualito. Para el caso de las lagunas o cuerpos de aguas lentos, se tuvo en cuenta su cercanía a los asentamientos humanos, facilidad de acceso, y las proyecciones de usos posteriores. A continuación, se hace una descripción de los escenarios de intervención correspondientes a los cuerpos de aguas objeto de estudio.

5.2.1 Cuerpos de aguas loticos

Escenario 1. Fuente hídrica sin intervención. Quebrada Pichirí. Constituye la única fuente hídrica de la zona que no ha sido intervenida por la actividad minera, presenta aguas corrientes y limpias. Vierte sus aguas directamente a la quebrada Tapacundó. (Ver figura 2)

Escenario 2. Fuente hídrica con recepción actual de vertimientos mineros. Quebrada Jorobido. Localizada en las coordenadas N 5°22'51.8" y W 76°36'53.8". Corresponde a una fuente hídrica con un ancho de cauce de 1,5m, aguas turbias y corrientes. Vierte sus aguas directamente al río Quito en jurisdicción del municipio de Cértégui. (Ver figura 2)

Escenario 3. Fuente hídrica que presenta entre 5 y 10 años de cese de la actividad minera. Quebrada Sabaleta. Se localiza en las coordenadas N 5°1'49.9" y W 76°41'14.5". Está caracterizada por presentar un cauce desviado e interrumpido en varios tramos que han sido convertidos en lagunas conectadas o desconectadas del cauce principal. Presenta sectores con diferentes temporalidades de intervención de ahí la variabilidad en las condiciones de caudal, ancho, presencia de vegetación de ribera y turbiedad en cada uno. Algunos de estos sectores presentan aguas corrientes muy cristalinas y otras aguas lentas y turbias. La quebrada Sabaleta recibe aguas provenientes de la quebrada Santa Ana y vierte sus aguas al río Opogodó. (Ver figura 2)

Escenario 4. Fuente hídrica con más de 30 años de cese de la actividad minera. Quebrada Marcos Díaz. Se localiza en las coordenadas N 5° 02'31,8" y W 76°41'34.0". Presenta un cauce modificado e integrado por sectores naturales conectados con un canal artificial. Los sectores que conservan características del cauce natural presentan aguas rápidas y transparentes con un ancho aproximado de 4m, con presencia de vegetación de ribera tipo arbórea. Por su parte, los tramos artificiales o creados por el paso de la draga durante el proceso de extracción, se caracterizan por presentar flujos muy lentos, con condiciones inundables y aparente eutrofización, colonizada por abundantes macrófitas y riberas con abundante vegetación. (Ver figura 2)



(a) Q. Pichiri



(b) Q. Jorobiró



(c) Q. Sabaleta



(d) Q. Marcos Díaz

Figura 2. Cuerpos de agua loticos estudiados.

5.2.2 Cuerpos de aguas lentícos

Escenario 1. Poza Natural o sin intervención minera. La cual está localizada en el corregimiento de Jigualito. En una poza que se encuentra al interior de un boque secundario, bordeada de una exuberante vegetación, la cual le proporciona

sombrío, alimentos y aporta un alto contenido de materia orgánica, a este cuerpo de agua, este cuerpo de agua tiene un área de 27,3 m². (Ver figura 3)

Escenario 2. Poza con minería actual o Jorobiro. Localizada en las coordenadas N 5° 22' 55.7" y W 76° 36' 57.03". Presenta aguas turbias. Se encuentra desprotegida, es decir no hay presencia de vegetación a sus alrededores. Sus aguas vierten a la quebrada Jorobiro, quien a su vez desemboca en el río Quito, jurisdicción del municipio de Cértégui y tiene un área de 188,4 m². (Ver figura 3)

Escenario 3. Poza que presenta entre 5 y 10 años de cese de la actividad minera. Poza Sabaleta. Se localiza en las coordenadas N 5°1'49.9" y W 76°41'14.5". Cuenta con la presencia de vegetación de a sus alrededores y con un agua aparentemente clara. Es alimentada por una corriente de agua que tiene como destino final esta poza. Este cuerpo de agua tiene un área de 3566,7 m². (Ver figura 3)

Escenario 4. Poza con más de 30 años de cese de la actividad minera. Poza Marcos Díaz. Se localiza en las coordenadas N 5° 02'31,8" y W 76°41'34.0". Presenta un cauce modificado e integrado por sectores naturales conectados con un canal artificial. Cuenta con la presencia de vegetación de a sus alrededores y con un agua aparentemente clara. Es alimentada por una corriente de agua que tiene como destino final esta poza y tiene un área de 618,3 m². (Ver figura 3)



(a) Poza Natural



(b) Poza Jorobiro



(c) Poza Sabaleta



(d) Poza Marcos Díaz

Figura 3. Cuerpos de agua lenticos estudiados

5.2.3 Trabajo de Campo

5.2.3.1 Metodología de muestreo Macroinvertebrados

Siguiendo el protocolo ECOBILL (útil para estudios rápidos, especialmente en ríos con piedras abundantes y para realizar comparaciones entre antes y después de una alteración en el río), propuesto por Ladrera, *et al.*, (2013), en cada uno de las fuentes hídricas loticas estudiadas se delimitó un tramo de 100m de longitud aproximadamente, sitio donde se seleccionaron tres zonas, para la captura de los macroinvertebrados acuáticos, cada uno de los cuales representan un micro hábitat, que en este caso corresponden a: rápidos, mansos y corrientes, esto teniendo en cuenta los distintos tipos de sustratos presentes en los cuerpos de aguas estudiados. En cada una de estas micro hábitas se realizó un cubrimiento de un área de 2m² aproximadamente. En los cuerpos de agua lenticos, (pozas abandonadas), se ubicaron cinco puntos de muestreos distribuidos de la siguiente manera: cuatro en los extremos y uno en el centro de la poza o laguna. En cada extremo se cubrió un área de 1m² aproximadamente, y de 0,5m² en el centro.

Luego, siguiendo la metodología propuesta por Rodan (1999), haciendo uso de la red surber, se realizó un barrido por 18 veces consecutivas en cada uno de los micro hábitas de las zonas de estudio, correspondientes a los cuerpos de agua loticos. En el caso de los cuerpos de aguas lenticos, siguiendo el protocolo ECOBILL ajustado para trabajar en fuentes hídricas lenticas, se ubicaron cinco puntos de muestreo, donde en cuatro de ellos (en los cuatro extremos) se muestreo un área de 1m², y en el otro (centro de la laguna) se cubrió un área de 0,5m². Los muestreos en estos cuerpos de aguas, se realizaron haciendo uso de la red surber en los extremos y una draga ekman para muestrear el fondo. (Ver figura 4)



Figura 4. Procedimiento metodológico para la captura e identificación de macroinvertebrados acuáticos.

Cada estación de muestreo fue descrita teniendo en cuenta variables ecológicas como: el tipo de fondo o de sustrato, margen del río, vegetación aledaña, profundidad, velocidad de la corriente y tipo de corriente según la clasificación de Roldán (1996).

Los organismos encontrados fueron retirados cuidadosamente con pinzas entomológicas de puntas fina y depositados en recipientes plásticos de 50ml de capacidad, rotulados con fecha y sitio de recolección y refrigerados como medida de preservación para los análisis de metil mercurio. Luego, fueron identificados taxonómicamente en el laboratorio de limnología de la Universidad Tecnológica del Chocó.

5.2.3.2 Medición de variables Físico-Químicas

En cada uno de los cuerpos de agua analizados se realizaron mediciones *in situ* de las siguientes variables físico-químicas: turbiedad y sólidos suspendidos con la utilización de un Colorímetro portátil HACH 850; y pH, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura con un Multiparámetro YSI PROFESIONAL PLUS QUICK 1700/1725. (Ver figura 5)



Figura 5. Procedimiento metodológico para la medición de las variables físico-químicas

5.2.4 Trabajo de Laboratorio

5.2.4.1 Identificación Taxonómica

La clasificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos capturados, se realizó en el laboratorio de Limnología de la Universidad Tecnológica del Chocó, hasta el nivel de género, haciendo uso de un estéreo microscopio Olympus SZ40, y de las claves taxonómicas de Roldán, (1996), Merritt & Cummins, (1996); Domínguez, (2009), entre otras.

5.2.4.2 Análisis de las variables físico-químicas

Los resultados de cada una de las variables físico-químicas analizadas, fueron comparados con los parámetros de calidad de agua establecidos por el Decreto 1594 del 1984, para la destinación del recurso hídrico para conservación de flora y fauna acuática.

5.2.4.3 Análisis de Mercurio Total

El análisis de mercurio total, se realizó a nivel de orden. Los órdenes analizados corresponden a aquellos que en la colecta se obtuvo la cantidad de 15 gr peso húmedo. Este ejercicio fue realizado por la Universidad de Cartagena. Para determinar la concentración de mercurio (Hg) total en el músculo de los macroinvertebrados se empleó un Analizador Directo de Mercurio - DMA-80 TriCell. Milestone®. En el análisis de mercurio, el espectrómetro realiza combustión térmica de la muestra, amalgamación y detección por espectrometría de absorción atómica a una longitud de onda de 254 nm. Los estándares son pesados en una balanza analítica (OHAUS Pioner PA214) que posee una precisión de $\pm 0.0001\text{g}$.

Para iniciar la cuantificación de los niveles de mercurio total fue necesario construir una curva de calibración utilizando estándares o muestras certificadas: DORM-3 (concentración de 0.382 ± 0.060 mg de Hg/kg), de acuerdo con el método de la EPA 7473. Esta se considera óptima cuando el valor de R es 0.99. Una vez verificada la curva bajo los parámetros de calidad se procedió a realizar las mediciones de las muestras de macroinvertebrados.

5.2.5 Análisis de la información y tratamiento estadístico

La estructura ecológica de las comunidades bénticas capturadas en los cuerpos de agua estudiados, se emplearon los Índices de Diversidad: Shannon – Wiener (H'), Dominancia (Simpson), Equidad (Pielou), y Riqueza (Margalef).

Para determinar la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados en relación a las variables fisicoquímicas, en los cuerpos de aguas superficiales lenticos y loticos, realizó la aplicación de un ANOVA Simple, seguido del análisis de Componentes Principales. Las variables incluidas en este análisis fueron:

- Variables dependientes o respuesta: Diversidad (Shannon – Wiener (H'), Dominancia (Simpson), Equidad (Pielou), Riqueza (Margalef).
- Variables independientes o covariables: Conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos suspendidos.
- Variables independientes o Tratamiento: Nivel de intervención (Sin minería, con minería, con abandono de 5-10 años, con abandono de más de 30 años).
- Factores: Fuentes hídricas loticas y fuentes hídricas lenticas.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Estructura Ecológica de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos

6.1.1 Cuerpos de agua loticos

6.1.1.1 Variación de las características físico-químicas del agua en los cuatro ecosistemas lóticos analizados.

Los resultados obtenidos en cuanto a las características físicas y químicas de las fuentes hídricas muestran su comportamiento, antes de la actividad minera (Q. Pichirí), durante la actividad minera (Q. Jorobiró), y después de la actividad minera (Q. Sabaleta y Q. Marcos días). Parámetros como el oxígeno disuelto en la quebrada Marcos Díaz, la turbiedad y los sólidos suspendidos en la quebrada Jorobiró, superaron los estándares de calidad establecidos por la normatividad ambiental nacional, en agua para conservación de flora y fauna acuática y otros como el pH, conductividad y la temperatura, registraron valores aceptables según el Decreto 1594 de 1984. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Promedio de variables físico-químicas medidas en las quebradas Pichirí, Jorobiro, Sabaleta y Marcos Díaz.

Fuentes Hídricas	Temp. (°C)	Conduct. (us/cm)	SDT (mg/l)	OD (mg/l)	pH (Unidad)	Turbiedad (FAU)	SS (mg/l)
Quebrada Pichirí	25,88	13,18	8,33	4,45	6,27	1,92	1,33
Quebrada Jorobiró	26,88	11,77	7,68	5,93	7,20	126,25	120,25
Quebrada Sabaleta	27,74	13,33	8,15	5,25	5,83	15,00	12,00
Quebrada Marcos Díaz	26,43	35,50	22,53	1,85	6,21	8,42	7,00
Valores de referencia			4.0		4,5 - 9,0		

Por otro lado, a partir del análisis de varianza, se observó que solo la variable pH registró un valor-P a partir de la prueba de Kruskal-Wallis mayor a 0,05, y las variables temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, turbiedad y sólidos suspendidos, registraron valores por debajo de 0,05, lo que indica que estas variables presentaron diferencias estadísticas significativas entre algunas de las cuatro fuentes hídricas loticas estudiadas como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la Prueba de Kruskal-Wallism en cuerpos de agua Loticos.

Comparación	Turbiedad (FAU)	O.D (mg/l)	pH (Unidad)	Temperatura (°C)	Sólidos suspendidos (mg/l)	Conductividad (us/cm)	SDT (mg/l)
1 – 2	-125,583	-0,5	3,87	-1,05	-118,917	-4,66667	-3,24417
1 – 3	-14,3333	0,175	5,23917	-1,91667	-10,6667	-6,23333	-3,70667
1 – 4	-7,75	3,575	4,85583	-0,6	-5,66667	-28,4	-18,0858
2 – 3	111,25	0,675	1,36917	-0,866667	108,25	-1,56667	-0,4625
2 – 4	117,833	4,075	0,985833	0,45	113,25	-23,7333	-14,8417
3 – 4	6,58333	3,4	0,383333	1,31667	5,0	-22,1667	-14,3792

Las mayores variaciones se presentaron entre la quebrada Pichirí (fuente hídrica de referencia por no tener presencia de minería ni vertimientos mineros en su cauce) y las quebradas: Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz. Por otro lado, también hubo una marcada diferencia entre Jorobiró y las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz, pues la presencia de vertimientos mineros continuos altera variables como turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad y sólidos disueltos totales especialmente. Por tanto, se considera que los vertimientos mineros influyen estadísticamente y de manera significativa sobre las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua loticos durante y después de la presencia de vertimientos, especialmente entre parámetros como: sólidos suspendidos, turbiedad, temperatura, conductividad, solidos disueltos totales, y oxígeno disuelto, ya que al comparar los resultados de las quebradas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz frente a los reportados en la quebrada Pichirí, se observó que los mejores resultados se registraron en la quebradas Sabaleta, fuente hídrica con un tiempo de cese de actividad minera entre 5 y 10 años, pues la quebrada Jorobiro presentó altos niveles de sólidos suspendidos y de turbiedad producto de la presencia de vertimientos mineros y la quebrada Marcos Díaz registró bajos niveles de Oxígeno, producto posiblemente de los procesos de eutrofización que tienen esta fuente hídrica en gran parte de su cauce principal, situación que podría influenciar directa o indirectamente la densidad de macroinvertebrados presentes en los cuerpos de agua estudiados, ya que la alta sensibilidad que presentan algunas de las especies que la integran hacen que sus niveles de tolerancia a las perturbaciones ambientales influyan para que en este tipo de cuerpos de agua predominen unas especies más que otros, o que en su defecto no existan. (Ver Tabla 1 y

Tabla 2).

6.1.1.2 *Composición Taxonómica de la Comunidad de Macroinvertebrados de Cuerpos de Agua Lóticos.*

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos en estas fuentes hídricas estuvo representada por 2019 individuos, los cuales fueron capturados en 3 de los 4 cuerpos de aguas lóticos analizados, distribuidas de la siguiente manera: Q. Pichirí se encontraron 842 individuos, distribuidos en 1 clase, 7 órdenes, 25 familias y 37 géneros, resaltando el orden Ephemeroptera como el más abundante con 454 individuos, seguido de los orden Odonata y Tricoptera ambos con 96 individuos; Q. Sabaleta, se colectaron 153 individuos, representados en 1 clase, 6 órdenes, 11 familias y 14 géneros, resaltando el orden Díptera como el de mayor representatividad con 109 individuos; Q. Marcos Díaz, 1024 individuos, distribuidas en 1 clase, 6 órdenes, 18 familias y 20 géneros, siendo el orden Díptera el más abundante con 767 individuos, seguido del orden Odonata con 187 individuos. Para el caso de la quebrada Jorobido, no hubo registros posiblemente debido a la presencia continua de vertimientos mineros, los cuales alteran las características fisicoquímicas del agua y por consiguiente las condiciones óptimas para el desarrollo de los procesos hidrobiológicos. (Ver Figura 5, Tabla 3)

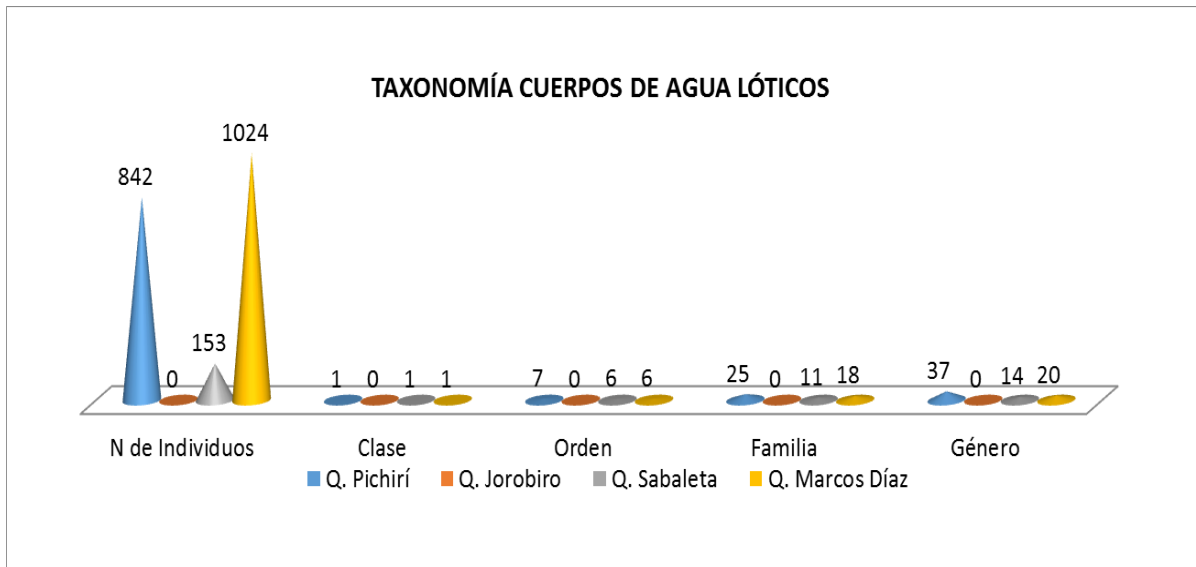


Figura 5. Identificación taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz.

Las familias más representativas fueron: Para la quebrada Pichirí Polymitarcidae con 274 representantes (Ephemeroptera); en la quebrada Sabaleta la familia Chironomidae con 108 individuos (Díptera); y para la quebrada Marcos Díaz la familia Chironomidae con 761 representantes. Esta situación evidencia no solo la variación que se da entre las familias por la mayor densidad poblacional, sino

también como durante el disturbio desaparecen hasta aquellas con mayor tolerancia a las condiciones extremas en cuanto a la calidad fisicoquímica del agua por la presencia de vertimientos mineros como ocurrió en la quebrada Jorobiró; y por otro lado como al no existir dicho disturbio, aumentan paulatinamente hasta alcanzar cantidades considerables de aquellas con menos sensibilidad, así como se observa en las quebradas Sabaleta y Marcos Díaz.

La alta presencia de organismos pertenecientes al orden Ephemeroptera, especialmente representantes de la familia Polymitarcidae en la Quebrada Pichirí, podría estar relacionada con los altos niveles de oxígeno reportados y las características fisicoquímicas analizadas, pues las ninfas de los efemerópteros por lo regular viven en aguas claras, bien oxigenadas con bajo contenido de carga orgánica de desecho, razón por la cual estos organismos se consideran indicadores de aguas de buena calidad. Por consiguiente, estas ninfas en términos generales habitan aguas no poluídas y bien oxigenadas (Domínguez, 2009). Estos requerimientos de oxígeno principalmente dificultan la presencia de este tipo de organismos en fuentes hídricas fuertemente afectadas e intervenidas por la actividad minera, y aun que logren hacer presencia su densidad poblacional será relativamente más baja que la que se podría presentar en las fuentes hídricas no intervenidas, como se observó con la captura de los organismos de esta familia en la quebrada Pichirí, frente aquellos de la quebrada Marcos Díaz, pues en la quebrada Sabaleta no hicieron presencia.

Es posible que la alta presencia de larvas de Chironómidos en las quebradas Sabaleta y Marcos Díaz, frente a la densidad de organismos pertenecientes a otras familias, se deba a que posiblemente sean quienes tengan mayor representación en fuente hídricas fuertemente afectadas, pues estos organismos presentan un tipo de hemoglobina que funciona eficientemente en ambientes con bajas concentraciones de oxígeno (Roldan P., 1999). Las larvas acuáticas pueden utilizar el aire atmosférico, el aerénquima de las plantas o el oxígeno disuelto del agua pues están dotadas de ciertas estructuras adaptativas para obtener el aire de la superficie del agua o bien a partir de lagunas internas de los tejidos de angiospermas acuáticos. (Angrisano, 1995).

En cuanto a género, se tiene que los más representativos para estos cuerpos de agua fueron: Para la quebrada Pichirí, *Campsurus* con 274 representante (Polymitarcidae), acompañado del género *Farrodes* (79 individuos) de la familia Leptophlebiidae; en la quebrada Sabaleta por el género *Ablabesmyia* (77 individuos) de la familia Chironomidae; y para la quebrada Marcos Díaz fue el género *Ablabesmyia* (687 individuos) de la familia Chironomidae. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Composición taxonómica de la Comunidad de macroinvertebrados capturados en las fuentes hídricas loticas.

CLASE	ÓRDEN	FAMILIA	GÉNERO	Q. Pichirí		Q. Sabaleta		Q. Marcos Díaz		TOTAL	
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
INSECTA	Odonata	Platyschetidae	<i>Palaemnema</i>	19	2,26	0	0,00	0	0,00	19	0,94
			<i>Hetererum</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
		Gomphidae	<i>Desmogophus</i>	18	2,14	0	0,00	0	0,00	18	0,89
			<i>Phyllogomphoides</i>	3	0,36	0	0,00	0	0,00	3	0,15
			<i>Drogomplus</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
			<i>Stylogomplus</i>	32	3,80	0	0,00	0	0,00	32	1,58
		Protoneuridae	<i>Protoneura</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05
		Protoneulidae	<i>Protonema</i>	0	0,00	0	0,00	18	1,76	18	0,89
		Libellulidae	<i>Tramea</i>	0	0,00	5	3,27	43	4,20	48	2,38
			<i>Elasmothermis</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
			<i>Dythemis</i>	2	0,24	8	5,23	77	7,52	87	4,31
			<i>Perithemis</i>	1	0,12	0	0,00	19	1,86	20	0,99
		Perilestidae	<i>Perssolestes</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
		Coralulidae	<i>Neucordulia</i>	2	0,24	1	0,65	0	0,00	3	0,15
		Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>	6	0,71	0	0,00	0	0,00	6	0,30
		Endulidae	<i>Naendilia</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
		Coenagrionidae	<i>Argia</i>	7	0,83	4	2,61	29	2,83	40	1,98
Plecóptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	42	4,99	0	0,00	0	0,00	42	2,08	
Trichóptera	Hydropsychidae	<i>Macronema</i>	22	2,61	0	0,00	0	0,00	22	1,09	

CLASE	ÓRDEN	FAMILIA	GÉNERO	Q. Pichirí		Q. Sabaleta		Q. Marcos Díaz		TOTAL		
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	
			<i>Macrostemun</i>	5	0,59	0	0,00	0	0,00	5	0,25	
			<i>Smicridea</i>	56	6,65	9	5,88	1	0,10	66	3,27	
		Odontoceridae	<i>Marilia</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	
		Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i>	12	1,43	0	0,00	0	0,00	12	0,59	
			<i>NN</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	
		Elmidae	<i>Cylloepus</i>	9	1,07	2	1,31	0	0,00	11	0,54	
			<i>Macrelmis</i>	0	0,00	2	1,31	0	0,00	2	0,10	
			<i>Laccophilus</i>	0	0,00	4	2,61	0	0,00	4	0,20	
	Coleóptera	Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	0	0,00	0	0,00	2	0,20	2	0,10	
				<i>Gyrinus</i>	0	0,00	5	3,27	6	0,59	11	0,54
		Gyrinidae	<i>Dneutus</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05	
			<i>Scirtes</i>	0	0,00	0	0,00	5	0,49	5	0,25	
			<i>Farrodes</i>	79	9,38	0	0,00	0	0,00	79	3,91	
			<i>Terpides</i>	3	0,36	0	0,00	0	0,00	3	0,15	
			<i>Thraulodes</i>	46	5,46	0	0,00	0	0,00	46	2,28	
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>NN</i>	7	0,83	0	0,00	0	0,00	7	0,35	
				<i>Americabaetis</i>	11	1,31	0	0,00	0	0,00	11	0,54
				<i>Callibaetis</i>	0	0,00	0	0,00	2	0,20	2	0,10
				<i>Clocodes</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05

CLASE	ÓRDEN	FAMILIA	GÉNERO	Q. Pichirí		Q. Sabaleta		Q. Marcos Díaz		TOTAL	
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
		Caenidae	<i>Caenis</i>	0	0,00	0	0,00	17	1,66	17	0,84
		Polymitarcidae	<i>Campsurus</i>	274	32,54	0	0,00	0	0,00	274	13,57
		Euthyplocidae	<i>Campylocia</i>	33	3,92	0	0,00	0	0,00	33	1,63
	Arcluogustrapoda	Neritidae	<i>Neritina</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05
	Glossiphoniiformes	<i>Glossiphoniidae</i>		0	0,00	0	0,00	3	0,29	3	0,15
		Simulidae	<i>Simulium</i>	54	6,41	0	0,00	0	0,00	54	2,67
			<i>Chironomus</i>	0	0,00	24	15,69	74	7,23	98	4,85
		Chironomidae	<i>Pentaneura</i>	0	0,00	7	4,58	0	0,00	7	0,35
			<i>Ablabesmyia</i>	10	1,19	77	50,33	687	67,09	774	38,34
	Díptera		<i>Culicoides</i>	0	0,00	0	0,00	2	0,20	2	0,10
		Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i>	0	0,00	1	0,65	1	0,10	2	0,10
		Culícidae	<i>Culiseto</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05
		Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	3	0,36	0	0,00	2	0,20	5	0,25
		Belostomidae	<i>Belostoma</i>	0	0,00	0	0,00	11	1,07	11	0,54
		Notonectidae	<i>Notonecta</i>	0	0,00	0	0,00	5	0,49	5	0,25
		Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
			<i>Neosigara</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	Hemíptera	Coryxidae	<i>Tenagobia</i>	0	0,00	2	1,31	15	1,46	17	0,84
		Naucoridae	<i>Pelocoris</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05

CLASE	ÓRDEN	FAMILIA	GÉNERO	Q. Pichirí		Q. Sabaleta		Q. Marcos Díaz		TOTAL	
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
			<i>Criphocricos</i>	24	2,85	0	0,00	0	0,00	24	1,19
			<i>Ambrysus</i>	15	1,78	0	0,00	0	0,00	15	0,74
	Neuróptera	Corydalidae	<i>Corydalum</i>	38	4,51	2	1,31	0	0,00	40	1,98
TOTAL				842	100	153	100	1024	100	2019	100

Estos resultados son una muestra de cómo la actividad minera altera la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados en fuentes hídricas lotica de origen natural, pues las variaciones que se observaron entre los organismos capturados, en términos generales indican que las condiciones ambientales y la calidad del agua varía con el tiempo, una vez desaparece el disturbio, como lo muestra las Tablas 1 y 3 y se aprecia en la Figura 5. Es importante mencionar, que a pesar de que la mayor cantidad de organismos no fue registrada para la quebrada Pichirí, como era de esperarse, fue esta quien registró la mayor cantidad de géneros, aunque con pocas variaciones entre sus representantes, condiciones que según (Roldan P., 1999), son propias de una comunidad natural, la cual se caracteriza por tener una alta diversidad o riqueza y un bajo número de individuos por especie. (Ver Figura 6)

De igual manera, se observa que dentro de los órdenes identificados taxonómicamente, en las 4 fuentes hídricas, los diferentes géneros muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales, entre ellos *Caenis*, de la familia Caenidae, taxa registrada especialmente en la quebrada Marcos Díaz. Este género puede soportar un amplio rango de condiciones ambientales y puede vivir en aguas contaminadas y eutrofizadas, con altas temperaturas y bajos niveles de oxígeno donde muchas otras efímeras no pueden sobrevivir (Flowers R, *et al.*, 2010). Esta variedad de rangos de tolerancia a las perturbaciones significa que ante una alteración hay especies muy sensibles que pueden desaparecer o reducir su abundancia, mientras que las más tolerantes pueden incrementar sus densidades cuando otras ya han desaparecido, (Alonso *et al.*, 2005), posiblemente esta sea la razón por las que no se registraron otros individuos del orden Ephemeroptera principalmente en las quebradas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz, ya que estos junto con las larvas acuáticas de los insectos pertenecientes a los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, y las larvas y adultos de los coleópteros acuáticos se encuentran entre los grupos más sensibles a las alteraciones del ecosistema (Alonso & Camargo, 2005)

La quebrada Pichirí, fuente hídrica no intervenida con la actividad minera, registró la mayor cantidad de organismos del orden Ephemeroptera, en asocio con el orden Tricoptero y el orden Plecoptera, (Ver Figura 6) organismos propias de fuentes hídricas bien conservadas o poco intervenidas, pues hay quienes afirman como (Flowers & De la Rosa, 2010) y (Alonso & Camargo, 2005) que el orden Ephemeroptera ha sido considerado por muchos autores como uno de los más sensibles a la contaminación del agua, junto con Plecoptera y Trichoptera (“EPT” taxa), de igual manera Roldan manifiesta que en general, estos organismos son buenos indicadores de aguas oligotróficas, cuando se encuentran junto con Trichoptera y plecópteros, no hay duda de que se trata de ecosistemas en buenas condiciones (Roldán, 1996); lugar que además se encuentra favorecida por una diversidad de sustratos (refugios) y oferta de alimento, dos condiciones esenciales que garantizan e influyen en la presencia de estas especies.

De las familias identificadas en la quebrada Pichirí, se resalta la presencia de las familias Polymitarcidae (274 ind.), Leptophlebiidae (128 ind) del orden Ephemeroptera e Hydropsychidae (83 ind) del orden Tricoptera. De los géneros identificados se resaltan Campsurus con 274 individuos de la familia Polymitarcidae, Farrodes con 79 (Leptophlebiidae), Smicridea con 56 (Hydropsychidae), Simulium con 54 ind (Simulidae del orden Díptera). (Ver Figura 6)

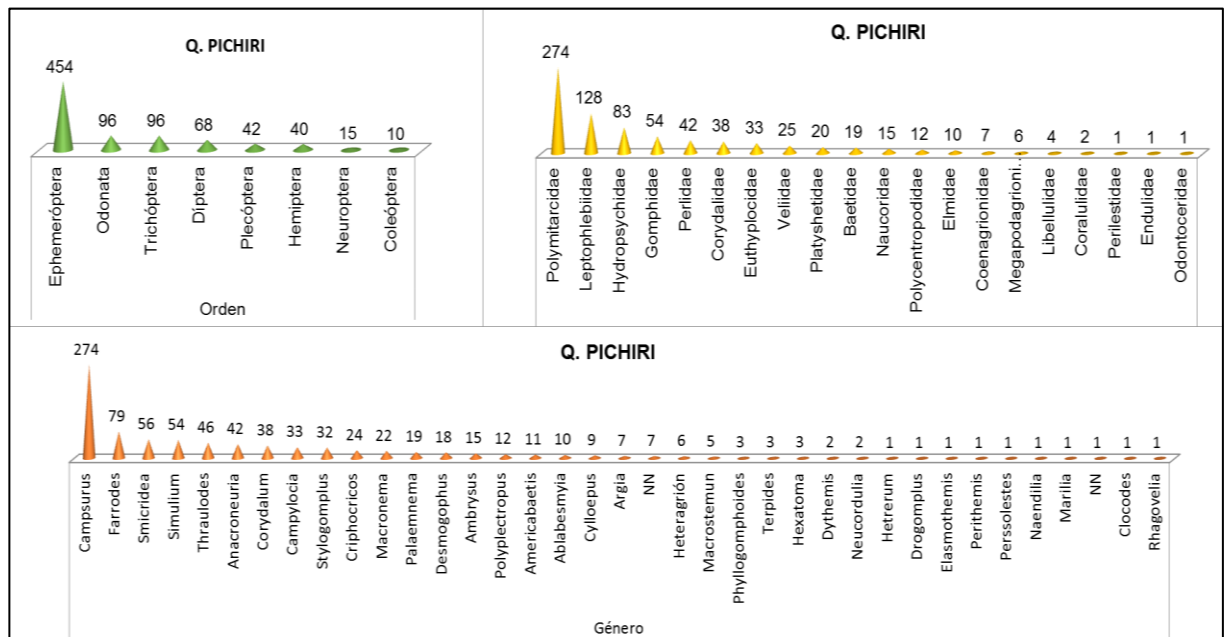


Figura 6. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, quebrada Pichirí.

A diferencia de la quebrada Pichirí, en la quebrada Jorobiro, no hubo reportes de ningún tipo de individuos, pues las descargas continuas de efluentes mineros con presencia de sedimentos principalmente afectan la respiración de los organismos acuáticos entre ellos los macroinvertebrados, taponan los intersticios de troncos de los diferentes sustratos y reducen la presencia y producción de oxígeno, así como lo afirma (Brack, *et al.*, 2011) quien manifiesta que el incremento de sólidos en suspensión en el agua por la acción de las dragas, que no es diferente al aporte de sedimentos por parte de las operaciones mineras con retroexcavadoras, reducen la transparencia del agua y la penetración de la luz solar, disminuyendo la tasa de fotosíntesis en el fitoplancton y de las plantas sumergidas, que son la base de la cadena trófica, así como la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, altera seriamente el sustrato del cauce aguas abajo, y obstruye los intersticios entre las gravas y troncos sumergidos, reduciendo el hábitat para pequeños peces e invertebrados. De igual manera (Brack, *et al.*, 2011), manifiesta que la grave alteración del cauce que produce el dragado también afecta seriamente los lugares de alimentación, refugio y reproducción de muchas especies acuáticas, incluyendo peces, quelonios acuáticos, moluscos y crustáceos, así como de los invertebrados que les sirven de alimento, situación que de manera similar se presenta, en fuentes hídricas con presencia de retroexcavadoras que trabajan directamente sobre su cauce principal. Por tanto, se deduce que lo expuesto anteriormente es una de las razones

por las cuales la minería presente en cuerpos de aguas superficiales dificulta la permanencia, desarrollo y por consiguiente la disponibilidad de estos organismos.

En el caso de la quebrada Sabaleta, donde la comunidad de macroinvertebrados estuvo representada principalmente por organismos de los órdenes Díptera (109 ind), Odonata (18 ind) y Coleóptera (13 ind), como se muestra en la Figura 7, se observa que aún después del tiempo de intervención transcurrido la comunidad de macroinvertebrados tiene muy poca representatividad en variedad y cantidad de organismos por género; y aunque el agua presentó buenas condiciones ambientales en cuanto a la presencia de sólidos suspendidos y disueltos, oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, conductividad y pH, es muy posible que la falta de oferta de alimentos y variedad de sustratos hallan influenciado para que la diversidad de género en este tipo de fuentes hídricas sea más bajo que en aquellas poco intervenidas, pues según (Alonso, 2005), el análisis de las variables físico-químicas solo proporcionan una valoración instantánea de la calidad del agua, mientras que los efectos de un vertido sobre la comunidad biótica pueden persistir mucho después de que los valores de los parámetros físico-químicos hayan vuelto a la normalidad, por tanto se considera que según afirmaciones de (Hanson, *et al.*, 2010), la pérdida de diversidad es generalmente una de las principales consecuencias de las actividades antrópicas.

Las familias mejores representadas fueron Chironomidae (108 ind), Libellulidae (13) y Hydropsychidae (9 ind) y en cuanto a los géneros mejor representados están *Ablabesmyia* con 77 ind (Chironomidae), *Chironomus* con 24 ind (Chironomidae), *Smicridea* con 9 ind (Hydropsychidae).

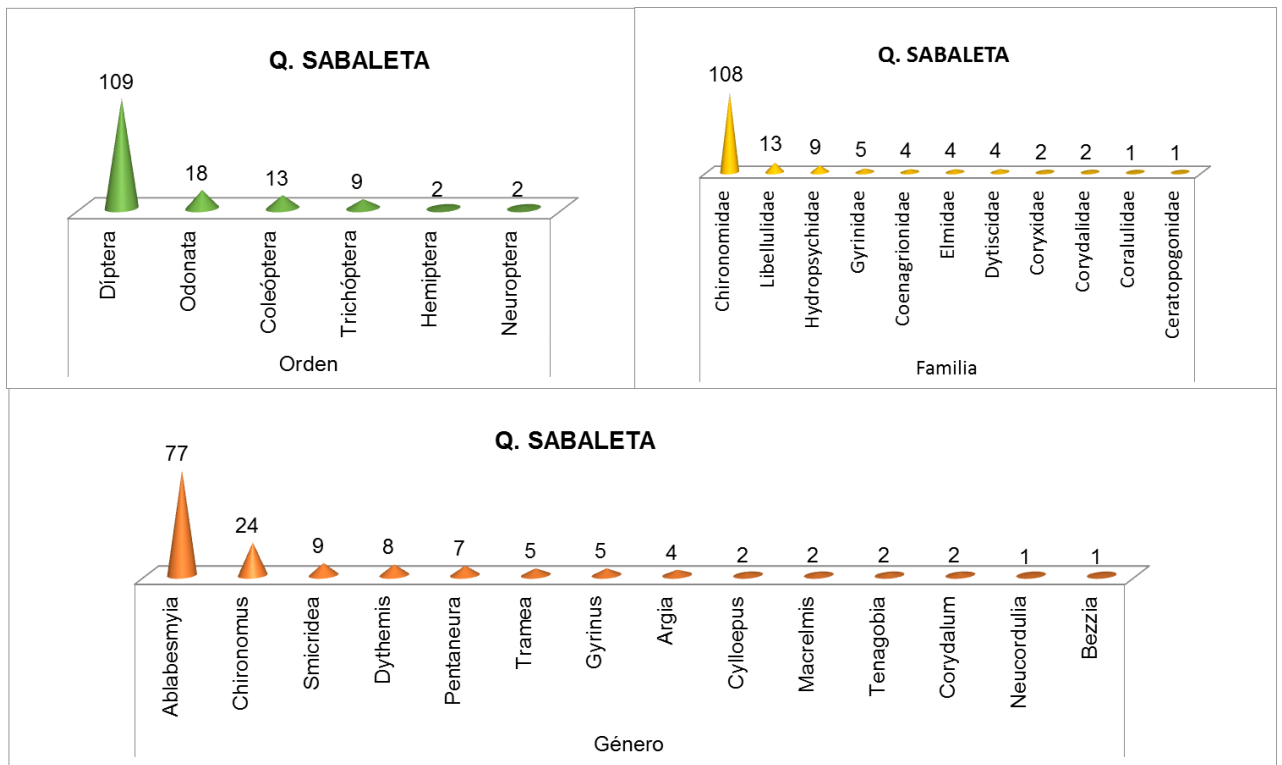


Figura 7. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, quebrada Sabaleta

A pesar de lo anterior, se considera que la presencia de estos organismos, especialmente aquellos de los órdenes Odonatos y Tricoptera, son una muestra del nivel de recuperación que presenta la quebrada Sabaleta, luego de pasar más de cinco años de intervención minera, pues la ausencia total de estos organismos en la quebrada Jorobiro durante la recepción de vertimientos mineros y la poca representación de las especies encontradas en la quebrada Sabaleta, evidencian como la desaparición del disturbio, en los cuerpos de agua superficiales directamente afectados, se convierte en un factor determinante para el repoblamiento de estos organismos, aunque este proceso inicialmente se dé con aquellos que por su alta tolerancia a la presencia de sustancias contaminantes y adaptaciones fisiológicas pueden habitar ambientes mediana o altamente contaminados e intervenidos, con presencia de procesos hidrobiológicos en recuperación. Por tanto, aunque se sabe todavía poco sobre la respuesta al medio ambiente de los organismos del orden Odonata (Simaika & Samways, 2009) especialmente, y han sido utilizada poco como indicadores de calidad de agua con relación otros organismos acuáticos como por ejemplo los Ephemeroptera, se espera que sean sensibles a la contaminación y que sean buenos indicadores de la recuperación de los cuerpos de agua (D'Amico, et al., 2004). Mientras que los organismos del orden Tricoptera, están dentro de los grupos más sensibles a las alteraciones del ecosistema, junto con las larvas acuáticas de los insectos

pertenecientes a los órdenes, Ephemeroptera, Plecoptera, y las larvas y adultos de los coleópteros acuáticos, (Alonso & Camargo, 2005), lo que hace deducir que efectivamente esta fuente hídrica, se encuentra en proceso de recuperación.

En lo que respecta a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en la quebrada Marcos Díaz, intervenida hace más de 30 años se refiere, los órdenes mejor representados fueron Díptera con 767 ind, Odonata con 187 y Hemíptera con 32 individuos. (Ver Figura 8) La alta presencia de organismos del orden Díptera, podría indicar que ésta quebrada tienen una alta cantidad de materia orgánica, posiblemente producto de la descomposición de macrófitas y vegetación riparia circundante tanto en los tramos naturales, como en los tramos artificiales conectados y alimentados por dicha quebrada. Esto reduce la disponibilidad de oxígeno y favorece la presencia de organismos altamente resistentes a dichos contaminantes, como ocurre en fuentes hídricas eutrofizadas, conocidas según (Hanson, et al., 2010), por su alta presencia de nutrientes y una alta productividad primaria (mucho crecimiento de algas) que a menudo genera niveles bajos de oxígeno durante la noche. Por otro lado, la alta presencia de organismos, pertenecientes a los géneros Odonata, Coleópteras, Ephemeroptera, y Hemíptera, se evidencia el grado de recuperación que presenta esta fuente hídrica.

Las familias mejores representadas fueron Chironomidae con 761 ind (Díptera), Libellulidae con 139 y Coenagrionidae (29 ind), ambos del orden Odonata, (Ver Figura 8). Los organismos de la familia Chironomidae son propios de aguas muy contaminadas y aguas pobres o ricas en oxígeno (Menjívar Rosa, 2010). Por tanto, dadas las concentraciones de oxígeno registrados en esta fuente hídrica, los cuales no superaron los 2,2mg/l de Oxígeno, se deduce que los organismos capturados corresponden a aquellos que viven en agua pobres de este elemento, quienes según (Menjívar Rosa, 2010), contienen hemoglobina, por tanto almacenan oxígeno dentro de sus cuerpos y les permite existir, al menos temporalmente, en ambientes con poco o sin oxígeno y adquieren una coloración rojo brillante, por causa de dicha sustancia. En este sentido, se considera que la comunidad de macroinvertebrados presentes en la quebrada Marcos Díaz, tiene comportamientos propios de fuentes hídricas altamente intervenidas, pues según (Roldan P., 1999), estas se caracterizan por poseer un bajo número de especies, pero muchos individuos por especies. Situación que es provocada también por condiciones naturales extremas. Por consiguiente, la diversidad de la comunidad se toma como una medida de la calidad del agua de una corriente superficial, (Roldan P., 1999).

En cuanto a los géneros mejor representados están *Ablabesmyia* con 687 ind (Chironomidae), *Dythemis* con 77 inv. de la familia Libellulidae con 77 ind (Chironomidae) y entre otros por *Smicridea* con 9 ind (Hydropsychidae)(Ver Figura 8).

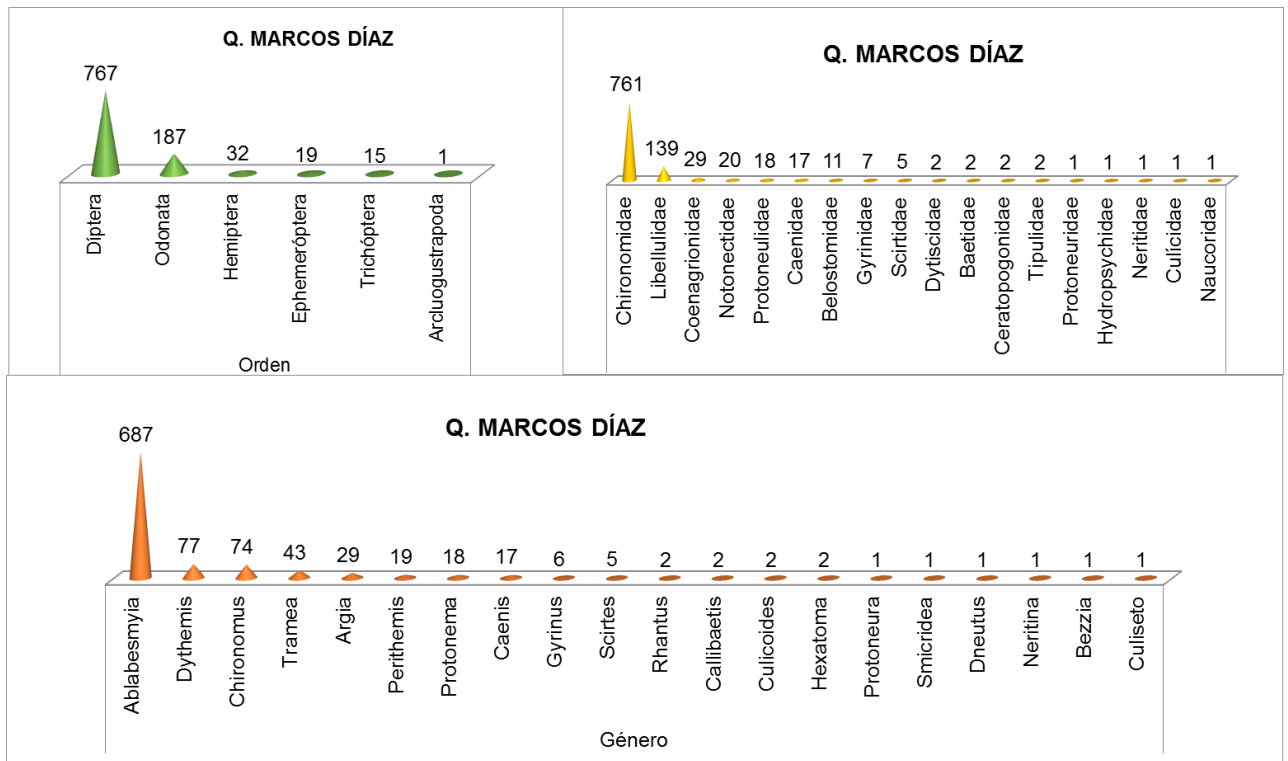


Figura 8. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, quebrada Marcos Díaz.

Dado las condiciones ecológicas y los niveles de tolerancia que presentan los diferentes individuos que integran la comunidad de macroinvertebrados capturados en las cuatro fuentes hídricas estudiadas, se concluye que uno de los efectos que genera la actividad minera se evidencia en el cambio de las características y patrones de distribución de estos organismos, a medida que las condiciones físico-químicas del agua, la oferta de alimento y la posibilidad de refugios se modifica inicialmente, durante el tiempo en que se da la minería y como estas condiciones van variando a través del tiempo, modificando igualmente, los patrones de distribución y cantidad de individuos por especies. Por otro lado, se considera que la relativamente escasa capacidad de desplazamiento de los macroinvertebrados permite un efectivo análisis espacial de la contaminación, que unido a los largos ciclos de vida de algunos grupos (existen especies de plecópteros que pueden permanecer hasta 2 años en fase larvaria) permiten también el análisis temporal de las perturbaciones (Rosenberg & Resh, 1993). En este sentido, el estudio de estos organismos se convierte en una de las mejores herramientas con las cuales se pueden evaluar el estado de la salud ambiental de cualquier cuerpo de agua superficial y sus condiciones de recuperación.

La quebrada Pichirí como era de esperarse presentó una alta riqueza de géneros con respecto a las otras tres fuentes hídricas estudiadas, y aunque no registró el mayor número de especies capturadas, estas tuvieron la distribución más uniforme

del grupo de fuentes hídricas loticas analizadas, así como lo muestra la figura 9. Esta situación es una forma de evidenciar como la comunidad de macroinvertebrados de las corrientes de agua loticas se alteran con la presencia de la actividad minera, pues durante el disturbio estas pueden llegar hasta desaparecer, y con el pasar del tiempo, comenzar su proceso de colonización nuevamente. (Melcalfe, 1989), supone el planteamiento de que la diversidad en los ambientes acuáticos no alterados se caracteriza por ser alta, con una distribución uniforme de individuos entre las especies y con una moderada a alta cantidad de individuos.

Tabla 4. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz.

FUENTES HÍDRICAS	TAXA	INDIVIDUOS	DOMINIO	DIVERSIDAD DE SHANNON	SIMPSON	MARGALEF	EQUIDAD
Q. PICHIRI	37	842	0,1374	2,612	0,8626	5,345	0,7234
Q. SABALETA	15	153	0,2904	1,805	0,7096	2,783	0,6665
Q. MARCOS DÍAZ	25	1024	0,4649	1,405	0,5351	3,462	0,4366

Al hacer un análisis comparativo del comportamiento de la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Pichirí, con respecto a las quebradas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz, se observó que la fuente hídrica con mayor diversidad (H') fue la quebrada Pichirí, donde se registró un valor de 2,612 (Ver Tabla 4). En el caso de la quebrada Marcos Díaz el Índice de Diversidad arrojó un valor de 1,405, a pesar de que se colectaron 10 géneros más por encima del reporte obtenido en la quebrada Sabaleta. Estos resultados podrían estar relacionados con la distribución de los individuos capturados por género, comportamiento que no fue diferente con los valores de Equidad, pues el valor más cercano al obtenido en la quebrada Pichirí (0,7234), fue el de la quebrada Sabaleta (0,6665), ya que en esta fuente hídrica hubo una distribución más uniforme entre los representantes capturados por géneros; pues, posiblemente la alta densidad poblacional que registró el género *Ablabesmia*, de la familia Chironomidae, del orden Díptero, quien tuvo un registro de 687 individuos frente a 77 individuos capturados del género *Dythemis*, lo que posiblemente influyó la equidad en este cuerpo de agua. Según Melcalf (1989), en ambientes contaminados con desechos orgánicos degradables, la comunidad de macroinvertebrados generalmente responde con un descenso de la diversidad con pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de los organismos tolerantes y por supuesto, con un descenso de la equidad. Por otro lado, afirma que la respuesta de estos organismos a la presencia de tóxicos no degradables o polución acida, se traduce en un descenso tanto de la diversidad como de la abundancia, así como en la eliminación de organismos sensibles, además que no hay fuentes adicionales de alimento para las formas tolerantes.

Con respecto a la dominancia, el reporte más cercano al de la quebrada Pichirí, nuevamente fue el de la quebrada Sabaleta, y el más distante el de Marcos Díaz, resultados que podrían estar relacionado principalmente con los registros obtenidos durante las mediciones de las variables físico – químicas, pues estas al parecer ejercen una influencia directamente proporcional sobre la diversidad y riqueza de especies de un cuerpo de agua, así mismo influyen en la presencia o ausencia de algunas especies, pues dichas condiciones físico-químicas, junto con los niveles de tolerancia hacen que algunas especies presenten mayores densidades poblacionales que otras que en casos extremos tienden hasta a desaparecer. La pérdida de diversidad es generalmente una de las principales consecuencias de los impactos antropogénicos. Relativo a ecosistemas terrestres, la pérdida de la biodiversidad es más alta en los ecosistemas dulceacuícolas (Hanson, *et al.*, 2010).

6.1.1.3 *Análisis de Componentes Principales*

El Análisis de Componentes Principales, aplicado para establecer las relaciones entre la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados y las condiciones físico-químicas en las cuatro fuentes hídricas loticas analizadas, logró explicar el 86,9% de la variación de los datos en los dos primeros ejes (Ver Figura 9). El primer componente explica el 58,2% de dicha variación y agrupa las variables Temperatura, pH, SS y Turbiedad como aquellas de mayor peso para la quebrada Jorobiró y separa la variable Oxígeno, como una variable independiente de las demás. El segundo componente con una explicación del 28,7%, agrupa las variables dominancia, conductividad y los sólidos disueltos como las variables de mayor peso para el caso de la quebrada Marcos Díaz; y las separa de las variables Riqueza, Dominancia de Simpson, Equidad y Diversidad de Shannon como aquellas de mayor peso para las quebradas Pichirí y Sabaleta. Por otro lado, se observa que las variables Temperatura, pH, Sólidos Suspendidos y Turbiedad juegan un papel importante en los índices de Diversidad de Shannon y Simpson, así como en la Riqueza y Equidad de especies presentes en una comunidad de macroinvertebrados acuáticos. De igual manera ocurre con el Oxígeno y la Dominancia.

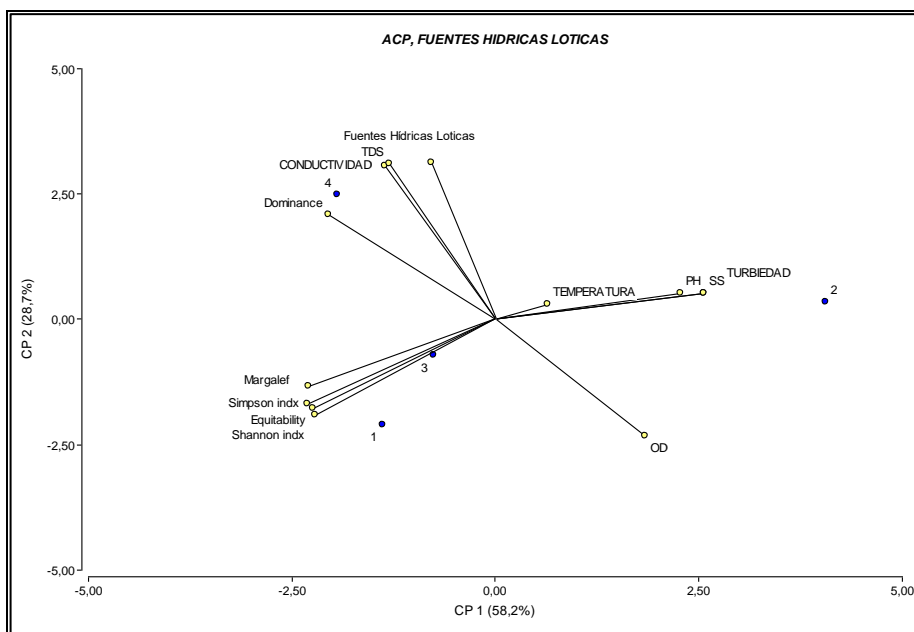


Figura 9. Análisis de Componentes Principales, cuerpos de agua lóaticos.

6.1.2 Cuerpos de Agua Lenticos

6.1.2.1 Variación de las características Físico-Químicas del Agua de los Cuatro Cuerpos de Aguas Lenticos Analizados

Los resultados obtenidos en las Pozas Natural o sin minería, con minería, en la Poza de Sabaleta y en la Poza Marcos Díaz, en términos generales presentaron condiciones que evidencian el comportamiento de las variables fisicoquímicas en pozas o lagunas naturales o sin ningún tipo de intervención antrópica, durante el momento en que son adecuadas y comienza la recepción de vertimientos mineros, y después de un tiempo de haber sido intervenido y empiezan su proceso de incorporación a la dinámica biológica que tiene lugar en los sitios intervenidos y abandonados luego del desarrollo de proceso extractivos auroplatínicos. De igual manera, se observa que los resultados obtenidos en las Pozas Natural, con minería actual, Sabaleta (entre 5 y 10 años de abandono) y Marcos Díaz (con más de 15 años de abandono), muestran que los parámetros con mayores reportes fueron la turbiedad y los sólidos suspendidos, especialmente en la Poza como minería actual; por tanto, algunos de estos parámetros presentaron concentraciones que no superaron los estándares de calidad establecidos por la normatividad ambiental nacional en agua para conservación de flora y fauna acuática, y otros como el oxígeno disuelto especialmente en la Poza con minería y la turbiedad y los sólidos suspendidos en la Poza con minería actual y en la natural, registraron valores que estuvieron por fuera de los rangos con los cuales se podrían garantizar buenas condiciones en cuanto a calidad fisicoquímica del agua para el desarrollo de los

procesos hidrobiológicos según el Decreto 1594 de 1984. De igual manera es importante anotar que los valores de turbiedad y de sólidos suspendidos registrados en la poza Natural o sin minería podrían estar relacionados con la presencia de lluvias durante los momentos de muestreo, lo que posiblemente pudo haber alterado las condiciones naturales en que se encuentra permanentemente este cuerpo de agua. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Promedio de variables físico-químicas medidos en las Pozas Natural, con minería actual, Sabaleta y Marcos Díaz.

Fuentes hídricas	Temp. (°C)	Conduct. (us/cm)	TDS (mg/l)	OD (mg/l)	pH (Unidad)	Turbiedad (FAU)	SS (mg/l)
1	26	15,1	9,0	3,2	6,3	77,75	81
2	28,1	22,4	14	1,9	7,3	625,05	604
3	27,1	15,5	10,0	3,4	8,0	7,83	7,0
4	28,4	9,5	6,3	3,1	6,0	1,75	2,1

Por otro lado, a partir del análisis de varianza, se observó que las variables turbiedad, sólidos suspendidos y oxígeno disuelto registraron un valor P a partir de la prueba de Kruskal-Wallis mayor a 0,05%, es decir sin diferencias estadísticamente significativas; y las variables pH, temperatura, conductividad, y los sólidos disueltos totales, registraron valores por debajo de 0,05% como lo indica la Tabla 6, lo que indica que estas variables presentaron diferencias estadísticas significativas entre algunas de las cuatro fuentes hídricas lénticas estudiadas.

Tabla 6. Resultados obtenidos en la Prueba de Kruskal-Wallis en cuerpos de agua lénticos

Comparación	Turbiedad (FAU)	O.D (mg/l)	pH (Unidad)	Temperatura (°C)	SS (mg/l)	Conductividad (us/cm)	SDT (mg/l)
1 – 2	-547,3	1,365	-0,9775	-2,12083	-	-7,3	-4,64083
1 – 3	69,925	-0,218333	-1,69983	-1,1375	523,267 73,7333	-0,349167	-1,0625
1 – 4	76,0	0,120417	0,550542	-2,49	78,4833	5,59083	2,70875
2 – 3	617,225	-1,58333	-0,722333	0,983333	597,0	6,95083	3,57833
2 – 4	623,3	-1,24458	1,52804	-0,369167	601,75	12,8908	7,34958
3 – 4	6,075	0,33875	2,25038	-1,3525	4,75	5,94	3,77125

Las mayores variaciones se presentaron entre la Poza Natural y las Pozas con minería, Sabaleta y Marcos Díaz, Poza natural o de referencia por no tener presencia de minería ni vertimientos mineros. Por otro lado, también hubo una marcada diferencia entre la poza con minería y las pozas de Sabaleta y Marcos Díaz; y por último se presentaron diferencias entre la poza Sabaleta y Marcos Díaz. Estas diferencias están dadas especialmente por las variaciones que presentaron entre pozas las variables turbiedad, pH, sólidos suspendidos y conductividad, ya que la presencia de vertimientos mineros continuos altera variables como turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad y sólidos disueltos totales especialmente (Medina 2013). Por tanto, se considera que los vertimientos mineros influyen estadísticamente y de manera significativa sobre las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua lenticos durante y después de la presencia de vertimientos, especialmente entre las medianas de los parámetros como: sólidos suspendidos, turbiedad, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, y oxígeno disuelto, ya que al comparar los resultados de las pozas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz frente a los reportados en la , se observó que los mejores resultados se registraron en la poza de Sabaleta, cuerpo de agua con un tiempo de cese de actividad minera entre 5 y 10 años, pues la poza Jorobiro presentó altos niveles de sólidos suspendidos y de turbiedad producto de la presencia de vertimientos mineros y la Poza de Marcos Díaz registró bajos niveles de oxígeno, producto posiblemente de los procesos de eutrofización que tienen esta fuente hídrica en gran parte de su cauce principal, situación que podría influenciar directa o indirectamente la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados presentes en los cuerpos de agua estudiados, ya que la alta sensibilidad que presentan algunas de las especies que la integran hacen que sus niveles de tolerancia a las perturbaciones ambientales influyan para que en este tipo de cuerpos de agua predominen unas especies más que otros, o que en su defecto no existan. (Ver Tabla 5 y Tabla 6).

En conclusión, se considera que los vertimientos mineros si influyen estadísticamente y de manera significativa sobre las características fisicoquímicas del agua de los cuerpos de agua lenticos durante y después de la presencia de vertimientos, especialmente entre las medianas de los parámetros como: sólidos suspendidos, turbiedad, pH y conductividad.

6.1.2.2 Composición Taxonómica y Estructura Ecológica de la Comunidad de Macroinvertebrados Capturados en los Cuerpos de Aguas Lenticos Analizados.

En los cuerpos de agua lenticos se tuvo una captura de 822 individuos. Para cada uno de estos sitios la comunidad estuvo representada de la siguiente manera: Para la poza sin minería por 506 individuos, distribuidos en 1 clase, 7 órdenes, 9 familias y 11 géneros, resaltando el orden Ephemeroptera (457) como el más abundante;

para la poza con minería actual por 51 individuos, distribuidos en 1 clase, 4 órdenes, 5 familias y 6 géneros, resaltando el orden Odonato (36) como el más abundante. Para la poza Sabaleta (entre 5 y 10 años de abandono), se capturaron 88 individuos, distribuidos en 1 clase, 5 órdenes, 11 familias y 13 géneros, resaltando el orden Odonato como el más abundante con 63 individuos. Y para la poza Marcos Díaz, con más de 30 años de abandono, se capturaron 177 individuos, representados en 1 clase, 6 órdenes, 12 familias y 12 géneros, resaltando el orden Odonato como el más abundante con 94 individuos. (Ver Figura 10)

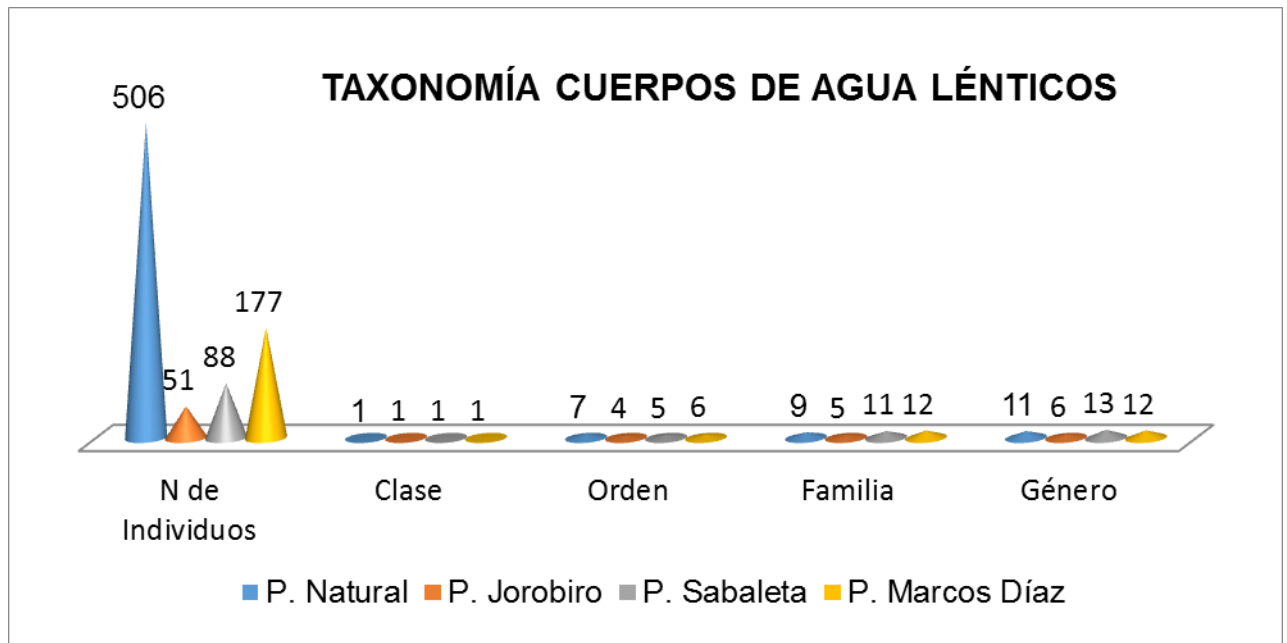


Figura 10. Identificación taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en los cuatro cuerpos de agua Lénticos.

Las familias mejores representadas fueron: En la Poza sin minería la familia Leptophlebiidae con 399 individuos (Ephemeroptera); en la Poza con minería actual fue la familia Libelulidae con 36 individuos (Odonata), para la poza con un tiempo de abandono entre 5 y 10 años la familia Protoneulidae con 43 individuos (Odonata), y para la poza con más de >30 años fue la familia Protoneulidae con 47 individuos (Odonata). Los géneros mejor representados fueron: En la Poza sin minería actual por Thraulodes (399 individuos) de la familia Leptophlebiidae; en la Poza con minería actual por Tramea (33 individuos) de la familia Libelulidae; para la poza con un tiempo de abandono entre 5 y 10 años también por el género Perithemis (27 individuos) de la familia Protoneulidae; y para la poza con más de >30 años fue por el género Protonema con 47 individuos (Protoneulidae). (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Composición Taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en los cuerpos de agua lenticos.

CLASE	ÓRDEN	FAMILIA	GÉNERO	Poza sin minería		Poza con minería actual (Cértegui)		Poza Sabaleta		Poza Marcos Díaz		Total			
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%		
INSECTA	Odonata	Gomphidae	Aphyla	0	0,00	0	0,00	1	1,14	0	0,00	1	0,12		
		Protoneuridae	Protoneura	1	0,20	0	0,00	1	1,14	12	6,78	14	1,70		
		Protoneulidae	Protonema	0	0,00	0	0,00	0	0,00	47	26,55	47	5,72		
			Tramea	13	2,57	33	64,71	15	17,05	10	5,65	71	8,64		
		Libellulidae	Dythemis	14	2,77	3	5,88	27	30,68	0	0,00	44	5,35		
			Perithemis	0	0,00	0	0,00	15	17,05	17	9,60	32	3,89		
		Coralulidae	Neucordulia	0	0,00	0	0,00	4	4,55	0	0,00	4	0,49		
		Aesnidae	Boyería	0	0,00	0	0,00	0	0,00	8	4,52	8	0,97		
		Coenagrionidae	Argia	4	0,79	0	0,00	8	9,09	0	0,00	12	1,46		
	Trichóptera	Hydropsychidae	Macrostemun	1	0,20	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,12
		Polycentropodidae	Polyplectropus	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,56	1	0,12		
		Noteridae	Hydrocanthus	0	0,00	0	0,00	1	1,14	0	0,00	1	0,12		
	Coleóptera	Dytiscidae	Laccophilus	2	0,40	0	0,00	1	1,14	1	0,56	4	0,49		
		Hydrophilidae	Tropisternus	0	0,00	1	1,96	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,12
	Ephemeroptera		Terpides	399	78,85	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	399	48,54
		Leptophlebiidae	Thraulodes	57	11,26	0	0,00	2	2,27	0	0,00	0	0,00	59	7,18
		Caenidae	Caenis	0	0,00	1	1,96	1	1,14	1	0,56	3	0,36		

CLASE	ÓRDEN	FAMILIA	GÉNERO	Poza sin minería		Poza con minería actual (Cértegui)		Poza Sabaleta		Poza Marcos Díaz		Total	
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
		Polymitarcidae	Campsurus	1	0,20	4	7,84	0	0,00	0	0,00	5	0,61
	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae		1	0,20	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,12
			Chironomus	0	0,00	9	17,65	8	9,09	12	6,78	29	3,53
	Díptera	Chironomidae	Pentaneura	0	0,00	0	0,00	0	0,00	7	3,95	7	0,85
			Ablabesmyia	6	1,19	0	0,00	4	4,55	9	5,08	19	2,31
		Culícidae	Culiseto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	40	22,60	40	4,87
		Belostomidae	Belostoma	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,56	1	0,12
	Hemíptera	Notonectidae	Notonecta	0	0,00	0	0,00	0	0,00	10	5,65	10	1,22
		Coryxidae	Neosigara	7	1,38	0	0,00	0	0,00	0	0,00	7	0,85
		Naucoridae	Pelocoris	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,56	1	0,12
		TOTAL		506	100	51	100	88	100	177	100	822	100

Estos resultados evidencian cómo a través del tiempo cuerpos de agua lenticos (pozas) producto de la actividad minera, presente en zonas abandonadas, se van incorporando a la dinámica ecológica que se desarrolla en los sitios intervenidos a medida que estos se van recuperando principalmente por procesos naturales luego de pasar el disturbio, aumentando la presencia de especies y la cantidad de sus representantes.

Es importante resaltar que a pesar del promedio de Sólidos Suspendidos y de Turbiedad registradas en la poza natural, se evidencia que la comunidad de este cuerpo de agua se encuentra bien estructurado numéricamente, por tanto es muy posible que dichos parámetros en épocas de sequías o temporadas de bajas lluvias registre valores muchísimos más bajos que aquellos registrados en este estudio, lo que favorece que una buena representación de diferentes géneros, con una distribución relativamente uniforme de sus individuos. En este cuerpo de agua se resalta la alta presencia de organismos del orden Ephemeroptera, lo que nos llevaría a inducir que este cuerpo de agua tiene buenas condiciones ambientales. El orden Ephemeroptera ha sido considerado por muchos autores como uno de los órdenes más sensibles a la contaminación del agua, junto con Plecoptera y Trichoptera ("EPT" taxa). Sin embargo, dentro del orden, los diferentes géneros muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales (Flowers *et al.*, 2010).

De las familias identificadas en la Poza Natural, se resalta la presencia de las familias Leptophlebiidae con 399 ind, Baetidae con 57 individuos, del orden Ephemeroptera. El orden Ephemeroptera ha sido considerado por muchos autores como uno de los órdenes más sensibles a la contaminación del agua, junto con Plecoptera y Trichoptera ("EPT" taxa). Sin embargo, dentro del orden, los diferentes géneros muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales (Flowers *et al.*, 2010). De los géneros identificados se resaltan *Thraulodes* con 399 individuos de la familia Leptophlebiidae, *Mayobaetis* con 57 (Baetidae) (Ver Figura 11).

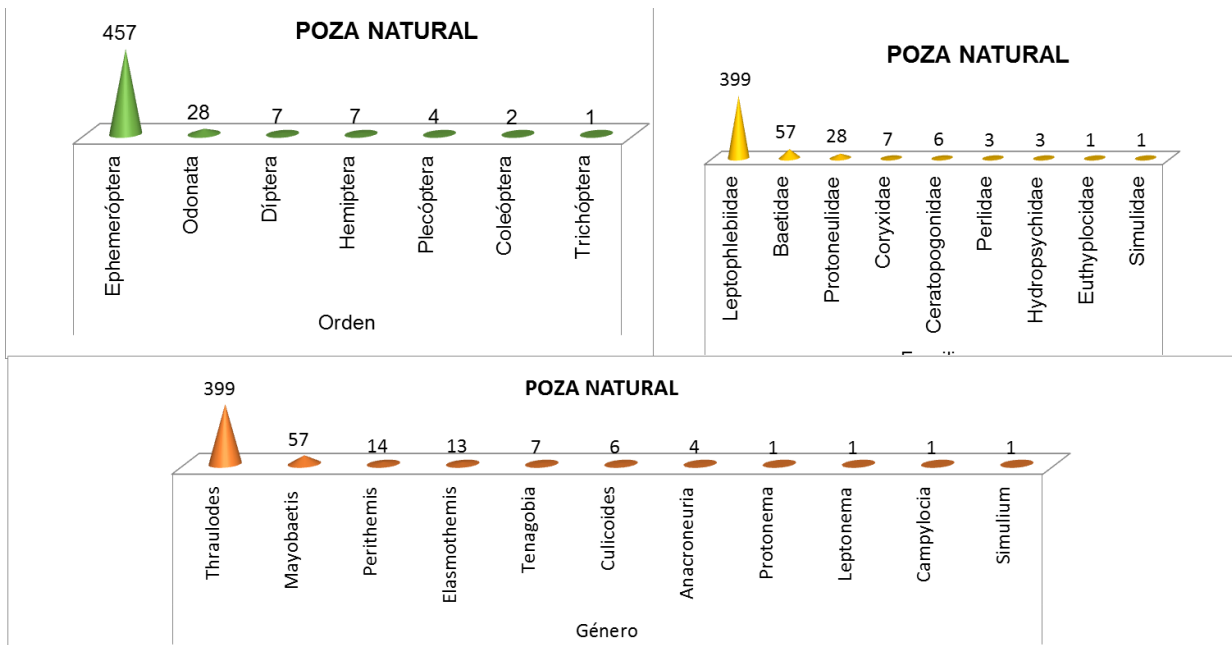


Figura 11. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Natural.

En el caso de la poza con minería actual donde se registraron muy pocos individuos, posiblemente sobrevivientes provenientes del lugar de abastecimiento de agua para las labores mineras, fue quien presentó menos registros, frente los realizados en las otras pozas. Es muy posible que estos resultados estén influenciados por las condiciones ambientales registrada en esta poza, pues las continuas descargas de efluentes mineros hacen que el agua aquí almacenada presente altas concentraciones de sólidos suspendidos, las cuales podrían alcanzar hasta 1067mg/l, parámetro que por su relación directa con la turbiedad, y con repercusión en la absorción de calor y producción de oxígeno, podría afectar el desarrollo de procesos hidrobiológicos y por consiguiente la presencia y permanencia de organismos pertenecientes a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Por su parte (Ramírez, et al., 1998) manifiestan que aguas con valores mayores a 150 mgL⁻¹ indican la presencia de una fuerte contaminación, la que podría dificultar la penetración de la luz, el desarrollo de procesos químicos en presencia de oxígeno requeridos por organismos acuáticos específicos, además de contribuir en el aumento de la temperatura del agua.

De las familias identificadas en la poza con minería, se resalta la presencia de las familias Libellulidae (36 ind.), del orden Ephemeroptera y Chironomidae (9 ind) del orden Díptera. En cuanto a géneros identificados se resaltan *Tamea* con 33 individuos de la familia Libellulidae y *Chironomus* con 9 (Díptera) (Ver Figura 12).

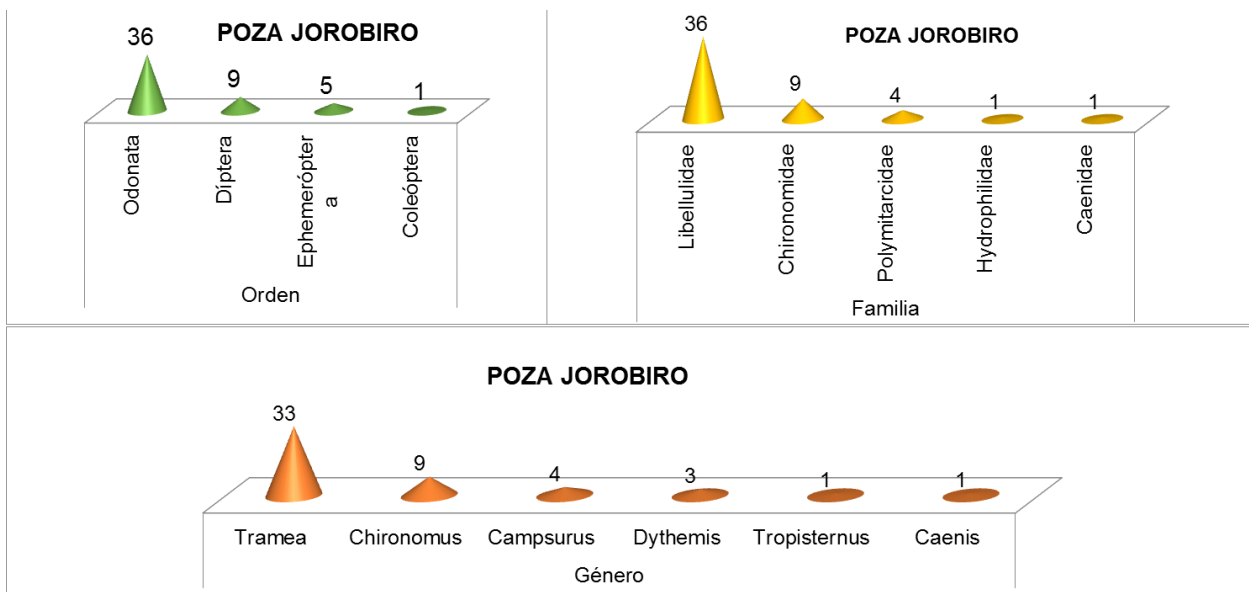


Figura 12. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Jorobiró o con minería actual.

Los resultados obtenidos en la poza Sabaleta, lugar con un tiempo de intervención entre 5 y 10 años, evidencian un aumento en la riqueza de tasas, aunque sean propias de agua con algún nivel de contaminación, como aquellas representantes de las familias Libellulidae y Chironomidae, de los órdenes Odonatos y Dípteros respectivamente. Aunque se sabe todavía poco sobre la respuesta al medio ambiente de los organismos del orden Odonata (Simaika & Samways, 2009) y han sido utilizada poco como indicadores de calidad de agua con relación otros organismos acuáticos como por ejemplo los Ephemeroptera, se espera que sean sensibles a la contaminación y que sean buenos indicadores de la recuperación de los cuerpos de agua (D'Amico, et al., 2004). Por tanto, su presencia en esta poza se deba posiblemente a los cambios principalmente en las características fisicoquímicas que tienen estas pozas durante el desarrollo de las operaciones mineras, pues con un periodo de cese de actividad entre 5 y 10 años, es un tiempo suficiente como para alcanzar la precipitación del 100% de las partículas sólidas suspendidas en el agua provenientes del lavado de la grava auroplatínifera, lo que generará menos niveles de turbiedad, actividad aeróbica, la posible reactivación de los procesos hidrobiológicos, repoblamiento y aparición de vegetación circundante en los bordes de la poza y con el tiempo mejores concentraciones de disponibilidad de oxígeno disuelto.

De las familias identificadas en la poza Sabaleta, se resalta la presencia de las familias Protoneulidae (43 ind.) y Perilestidae (15 ind) del orden Odonato e Hydropsychidae (83 ind) del orden Tricoptera. Los individuos de la familia Chironomidae, del orden Díptero, son posiblemente el grupo más ampliamente adaptado de todos los insectos acuáticos. Los hábitats acuáticos van desde aguas litorales marinas, pantanos, lagos y aguas muy contaminadas; hasta aguas pobres o ricas en oxígeno. Las que viven en aguas pobres en oxígeno, contienen

hemoglobina, la cual, almacena oxígeno dentro de sus cuerpos y les permite existir, al menos temporalmente, en ambientes con poco o sin oxígeno y adquieren una coloración rojo brillante, por causa de dicha sustancia. La mayoría de especies son bentónicas y muchas viven dentro de tubos o estuches libres de seda construidos en el sustrato. Estas formas bentónicas pueden aparecer en densidades extremadamente altas. (Menjívar Rosa, 2010). De los géneros identificados se resaltan *Perithemis* (27 ind.) y *Elasmothermis* (15 ind.) de la familia Protoneulidae, y *Perssolestes* con 15 (Perilestidae) (Ver Figura 13).

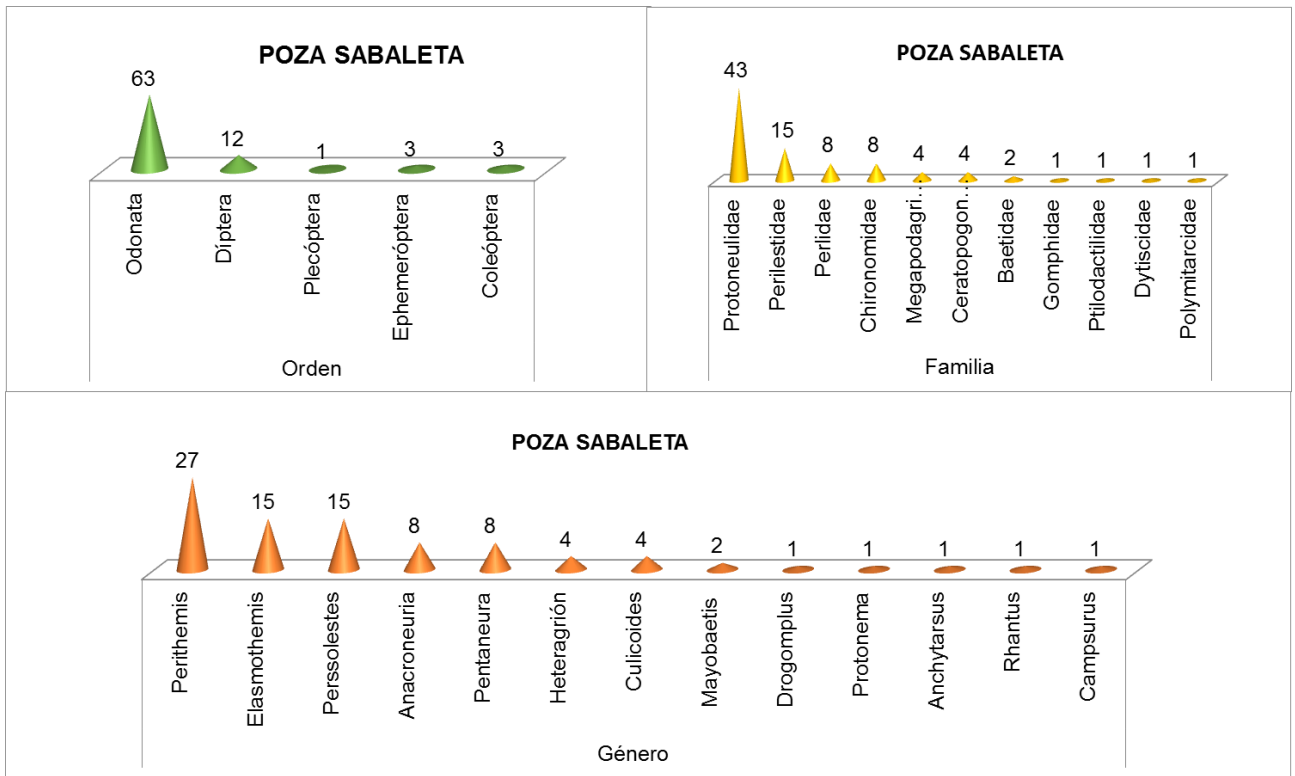


Figura 13. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Sabaleta.

Finalmente, en la poza con más de 30 años de haber sido intervenida, se reportó un aumento en la variedad de géneros, así como en la densidad de sus representantes. Estos organismos son propios de aguas contaminadas (Dipteros), así como de cuerpos de agua en procesos de recuperación, resaltando entre estos aquellos pertenecientes al orden Odonatos, quienes fueron los mejores representados. De las familias identificadas en esta poza, se resaltan Protoneulidae (47 ind.) y Culicidae (40 ind) de los órdenes Odonato y Díptero respectivamente. De los géneros identificados se resaltan Protonema con 47 individuos de la familia Protoneulidae, Culiseto con 40 individuos (Simulidae del orden Díptera). (Ver Figura 14)

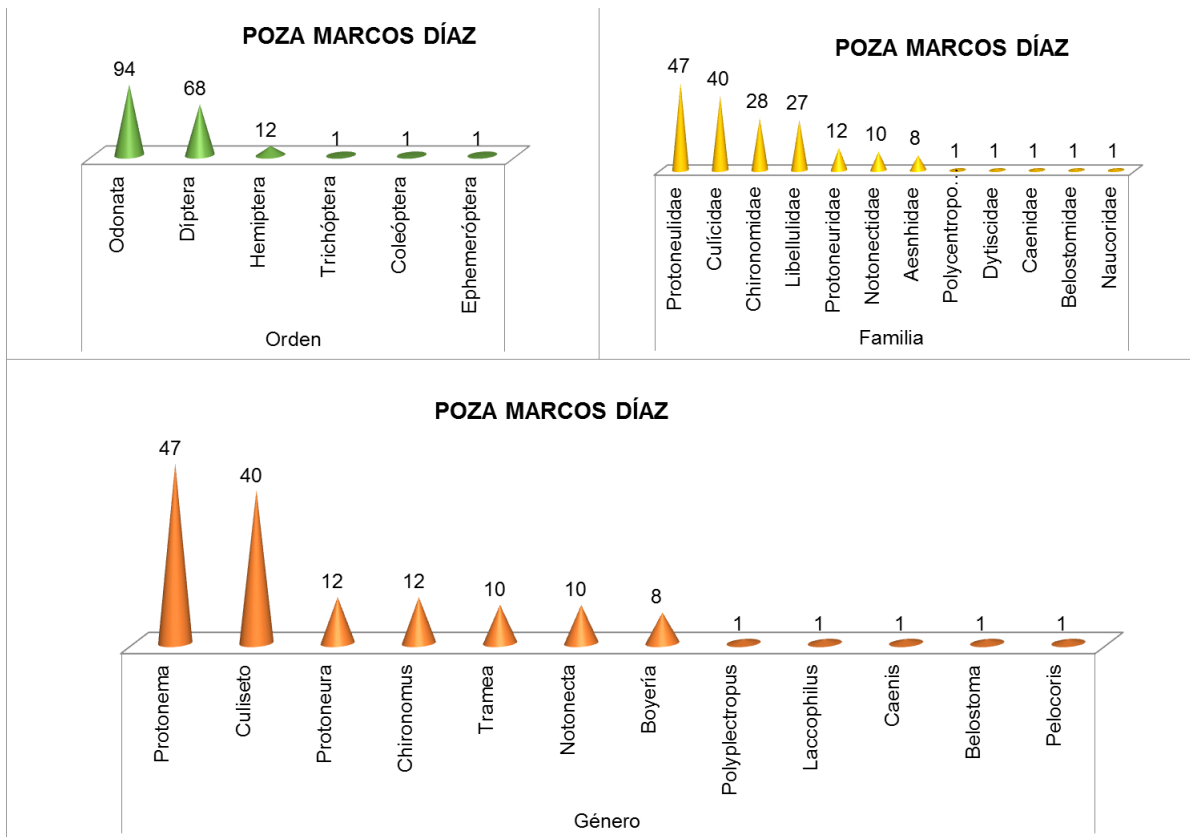


Figura 14. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados, Poza Marcos Díaz.

Al hacer un análisis comparativo del comportamiento de la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de la Poza Natural, con respecto a las Pozas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz, se observó que la poza con mayor Diversidad (H') fue la de Marcos Díaz, donde se registró un valor de 2,168 (Ver Tabla 8). En el caso de las Pozas Sabaleta y Jorobiró el Índice de Diversidad arrojó valores de 2,023 y 1,108 respectivamente.

Tabla 8. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de las pozas sin minería, con minería, Sabaleta y Marcos Díaz.

Cuerpos de agua bénticos	Taxa	Individuos	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef	Equidad
Poza sin Minería	12	506	0,6363	0,8478	0,3637	1,767	0,3412
Poza con Minería	6	51	0,4602	1,108	0,5398	1,272	0,6185
Poza Sabaleta	13	88	0,1741	2,023	0,8259	2,68	0,7887
Poza Marcos Días	15	177	0,1527	2,168	0,8473	2,705	0,8007

Lo anterior evidencia que, en este tipo de cuerpos de agua, producto de la falta de planificación y ejecución de programas de cierre y abandono durante los procesos de extracción minera, con el pasar del tiempo mejoran sus características

fisicoquímicas y con ello, aumentan las posibilidades de su incorporación a los procesos y dinámicas biológicas que tienen presencia en sus alrededores y por consiguiente en su interior. Por consiguiente, como consecuencia de lo anterior, se observa cómo se genera un aumento progresivo tanto en la riqueza de género y de sus representantes, como en la equitatividad y se produce una disminución en la Dominancia. (Ver Figura 17)

Igualmente, se considera, que así como la pérdida de diversidad en los cuerpos de agua superficiales lóticos generalmente es una de las principales consecuencias de los impactos antropogénicos (Hanson, et al., 2010), el aumento de esta en los cuerpos de agua lénticos, es un indicador de la recuperación o mejoramiento de las condiciones ambientales, de manera que dichos cuerpos de agua pasen de constituirse en una amenaza a ser un elemento más y funcional del ecosistema. Posiblemente, esta sea la razón por la cual en la quebrada Marcos Díaz se logró la captura de organismos del orden Ephemeroptera, pues, aunque este orden en términos generales predomina en aguas limpias y bien oxigenadas, también pueden llegar a habitar ambientes poco alterados o en procesos de recuperación, donde las características fisicoquímicas del agua, especialmente el oxígeno se lo permita, ya que algunos representantes toleran cierto grado de impacto. Este hecho hace que se maximice su capacidad colonizadora y que se conviertan en componentes conspicuos del bentos (Roldán, 1996).

6.1.2.3 Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales, aplicado para establecer las relaciones entre la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados y las condiciones fisico-químicas en las cuatro fuentes hídricas lénticas analizadas, logró explicar el 100% de la variación de los datos en dos ejes (Ver Figura 15). El primer componente explica el 64,7% de dicha variación y agrupa las variables Temperatura, Equidad, Dominancia de Simpson y Diversidad de Shannon, separándolas del índice de Riqueza de Margalef, al igual que del Oxígeno, estas dos últimas como variables independientes. El segundo componente con una explicación del 35,3% y agrupa las variables Sólidos Suspendidos, Turbiedad, pH, Sólidos Disueltos y Conductividad. Por otro lado, se observa que las variables pH, Sólidos Suspendidos, Turbiedad, Sólidos Disueltos y Conductividad generan una influencia inversamente proporcional a las concentraciones de Oxígeno Disuelto.

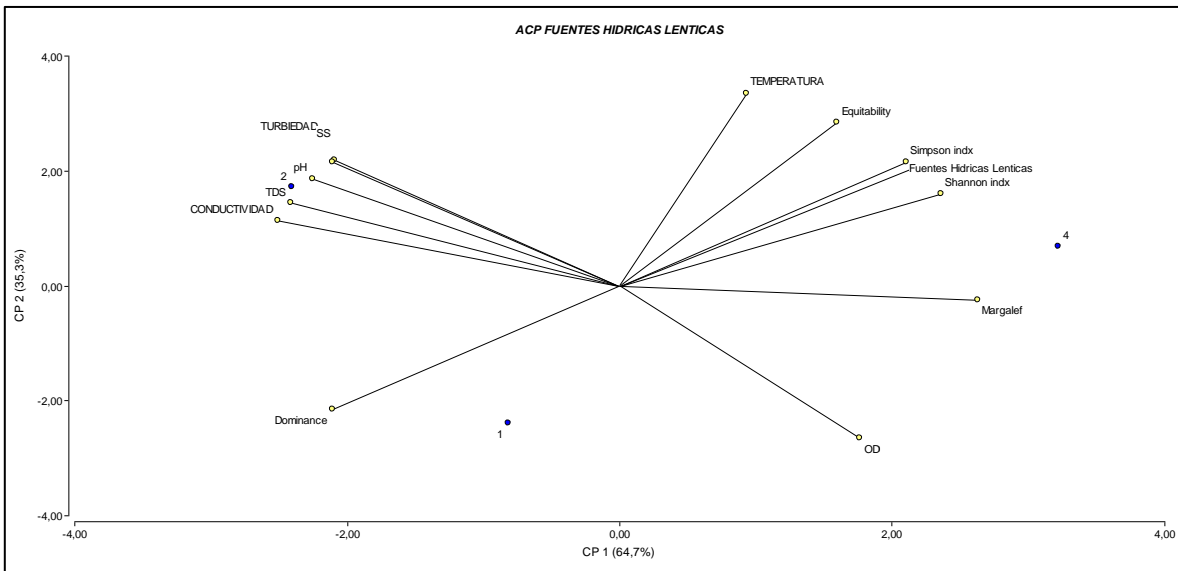


Figura 15. Análisis de Componentes Principales, cuerpos de agua lenticos.

6.2 Análisis de Mercurio Total en Macroinvertebrados Acuáticos

6.2.1 Cuerpos de Aguas Lóticas

El promedio de las concentraciones de Mercurio Total analizadas en algunos ordenes de la comunidad de macroinvertebrados presentes en tres (3) de los cuatro (4) cuerpos de agua loticos estudiados, fluctuaron de la siguiente manera: Para la quebrada Pichirí, se presentaron valores promedios en la concentración de mercurio que oscilaron entre 0,0 y 15,4231 mg/kg, registrando los valores más bajos los órdenes Coleóptera, Tricoptera y Plecóptera; así mismo, el orden Plecóptera fue quien registro los valores más altos para este cuerpo de agua. Para el caso de la quebrada Sabaleta estas concentraciones oscilaron entre 0,0 y 30,52675 mg/kg, los valores más bajos corresponden al orden Neuróptera y el más alto al Coleóptero. En lo que a la quebrada Marcos Díaz se refiere, las concentraciones de mercurio total oscilaron entre 0,0 y 10,3715 mg/kg, obteniendo los valores más bajos los órdenes Ephemeroptera y Odonato, y los más altos, al igual que los bajos el orden Ephemeroptera. En estas fuentes hídricas se analizó un total de 65 individuos distribuidos así: En la quebrada Pichirí, cinco (5) Tricoptera, seis (6) Odonata, diez (10) Coleóptera y cinco (5) Hemíptera; en la quebrada Sabaleta (5) cinco Odonato, dos (2) Coleóptera y un (1) Neuróptera; y en la quebrada Marcos Díaz, seis (6) Odonata y veinticinco (25) Ephemeroptera. (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Concentraciones de mercurio analizados en cuerpos de agua loticos.

<i>Cuerpo de agua Lotico</i>	<i>Código</i>	<i>Concentración</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>
Q. Pichirí	Hemíptera	0 0,0145	0,00725	141,4
	Hemíptera	0,0991 0,134	0,11655	*21,2
	Hemíptera	0,0793 0,1675	0,1234	50,5
	Hemíptera	0,1676 Fuera de rango	0,1676	*#¡DIV/0!
	Hemíptera	0,4949 0,1218	0,24745	141,4
	Coleóptera	0 0	0	*#¡DIV/0!
	Coleóptera	0,0001 0	0,00005	141,4
	Coleóptera	0,0001 0	0,00005	141,4
	Coleóptera	0,0001 0,0001	0,0001	*0,0
	Coleoptera-4-5	0,0001 0,0001	0,0001	*0,0
	Plecoptera-2-1	0 0	0	*#¡DIV/0!
	Plecoptera-2-2	0 0	0	#¡DIV/0!
	Plecoptera-2-3	0 4,9569	2,47845	141,4
	Plecoptera-2-4	0,0001 21,6366	10,81835	141,4
	Plecoptera-2-5	29,9679 0,9255	15,4231	133,4
	Odonata-1-1	0,8783 0,4622	0,67025	43,9
	Odonata-1-2	0,1272 0,248	0,1876	45,5
	Odonata-1-3	0,3447 0,0969	0,2208	79,4
	Odonata-1-4	0 0,7493	0,37465	141,4
	Odonata-1-5	0,7613 0,2657	0,5135	68,2

<i>Cuerpo de agua Lotico</i>	<i>Código</i>	<i>Concentración</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>	
<i>Q. Sabaleta</i>	Odonata-1-6	0,103 0,9701	0,53655	114,3	
	Tricoptera-3-1	1,1431 1,1197	1,1314	*1,5	
	Tricoptera-3-2	0,5143 0,0765	0,2954	104,8	
	Tricoptera-3-3	0 0	0	*#¡DIV/0!	
	Tricoptera-3-4	0 0,5409	0,27045	141,4	
	Tricoptera-3-5	0,0877 0,0583	0,073	28,5	
	Neuroptera-13-1	0 0	0	*#¡DIV/0!	
	Coleoptera-10-1	0,3652 1,6996	1,0324	91,4	
	Coleoptera-10-2	59,8868 1,1667	30,52675	136,0	
	Odonata-8-1	0,3649 0,3544	0,35965	*2,1	
	Odonata-8-2	0,2507 0,2634	0,25705	*3,5	
	Odonata-8-3	0,3873 0,23	0,30865	36,0	
	Odonata-8-4	0,3431 0,3389	0,341	*0,9	
	Odonata-8-5	0,3044 0,6909	0,49765	54,9	
	Ephemeroptera	0,0564 2,6856	1,371	135,6	
	Ephemeroptera	0,1489 0,4268	0,28785	68,3	
	Ephemeroptera	0 1,6669	0,83345	141,4	
	<i>Q. Marcos Díaz</i>	Ephemeroptera	1,056 0,0059	0,53095	139,8
	Ephemeroptera	0,1075 0,1323	0,1199	*14,6	
	Ephemeroptera	0,2028 0,57	0,3864	67,2	
	Ephemeroptera	0,5989	0,29945	141,4	

<i>Cuerpo de agua Lótico</i>	<i>Código</i>	<i>Concentración</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>
		0		
	Ephemeroptera	2,2714 1,1969	1,73415	43,8
	Ephemeroptera	0,7512 19,9903	10,37075	131,2
	Ephemeroptera	0,7403 15,1228	7,93155	128,2
	Ephemeroptera	0,0853 0,3401	0,2127	84,7
	Ephemeroptera	0,0028 4,595	2,2989	141,2
	Ephemeroptera	3,0657 3,6093	3,3375	11,5
	Ephemeroptera	1,6062 0,0482	0,8272	133,2
	Ephemeroptera	0 0,7917	0,39585	141,4
	Ephemeroptera	0,0553 0,1803	0,1178	75,0
	Ephemeroptera	0,0021	0,00105	141,4
	Ephemeroptera	0 0,0001	0,0001	*0,0
	Ephemeroptera	0,0001 0,0001	0,0001	*0,0
	Ephemeroptera	0 0,0001	0,00005	141,4
	Ephemeroptera	0,0001	0,00005	141,4
	Ephemeroptera	0 0	0	*#iDIV/0!
	Ephemeroptera	0,0001 0,0001	0,0001	*0,0
	Ephemeroptera	2,5886	1,2943	141,4
	Odonata	0 0	0	*#iDIV/0!
	Odonata	0 0,0054	0,0027	141,4
	Odonata	0,3893 0,0179	0,2036	129,0

<i>Cuerpo de agua Lotico</i>	<i>Código</i>	<i>Concentración</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>
	Odonata	0 0,0133	0,00665	141,4
	Odonata	0,0327 0,0204	0,02655	32,8
	Odonata	0 0,0032	0,0016	141,4

Los valores registrados en los coeficientes de variación para las muestras y contra muestras tomadas ambas de un mismo individuo, para el análisis de las concentraciones de mercurio total en alguno de los órdenes identificados, superaron el 25% de variación, por tanto, se priorizó sobre aquellos organismos cuyos coeficientes de variación fueron registrados por debajo de este porcentaje, pues generan una mayor confiabilidad en los datos, y suponen relativamente bajas márgenes de errores. En este sentido los análisis de mercurio Total quedaron registrados de la siguiente manera: Para la quebrada Pichirí: dos (2) individuos del orden Hemíptera con concentraciones de 0,11655 y 0,1676 mg/kg; tres (3) ind. del orden Coleóptera con concentraciones entre 0,0 y 0,000111655 mg/kg; dos (2) individuos del orden Plecóptera con 0,0 mg/kg detección de mercurio y dos (2) organismos del orden Tricoptera con 0,0 y 1,1314 mg/kg. Para la quebrada Sabaleta quedó un individuo del orden Neuróptera (0,0mg/kg), y tres del orden Odonatos con concentraciones de 0,35965 - 0,25705 y 0,341 mg/kg. Finalmente, para la quebrada Marcos Díaz, quedaron seis (6) Ephemeroptera con concentraciones que oscilaron entre 0,0 y 3,3375mg/kg y un (1) individuo del orden Odonatos donde no hubo reporte de mercurio total. (Ver Tabla 10)

Los promedios de las concentraciones de mercurio total por fuente hídrica fueron 0,11655 mg/kg (CV = 0,11655%) para la quebrada Pichirí; de 0,239425 mg/kg para Sabaleta (CV = 0,69223032%) y de 0,1199 mg/kg para la quebrada Marcos Días (CV = 2,54005778%). (Ver Tabla 10)

Tabla 10. Análisis de mercurio Total, en macroinvertebrados capturados en cuerpos de agua lóticos influenciados por la actividad minera.

CUERPO DE AGUA LÓTICO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN (MG/KG)	PROMEDIO (MG/KG)	CV %
Q. PICHIRÍ	Hemíptera	0,11655	0,11655	2,35622397
	Hemíptera	0,1676		
	Coleóptera	0		
	Coleóptera	0,0001		
	Coleóptera	0,0001		
	Plecóptera	0		
	Plecóptera	0		
	Tricoptera	1,1314		
	Tricoptera	0		
	Neuróptera	0		
Q. SABALETA	Odonata	0,35965	0,239425	0,69223032
	Odonata	0,25705		
	Odonata	0,341		
	Ephemeroptera	0,1199		
	Ephemeroptera	3,3375		
	Ephemeroptera	0,0001		
Q. MARCOS DÍAZ	Ephemeroptera	0,0001	0,1199	2,54005778
	Ephemeroptera	0		
	Ephemeroptera	0,0001		
	Ephemeroptera	0		
	Odonata	0		

6.2.2 Cuerpos de Aguas Lenticos

El promedio de las concentraciones de Mercurio Total analizadas en algunos órdenes de la comunidad de macroinvertebrados presentes en los cuatro (4) cuerpo de agua lenticos estudiados, fluctuaron de la siguiente manera: Para la Poza Natural, se presentaron promedios que oscilaron entre 0,0 y 7,29195 mg/Kg, registrando ambos valores en individuos del orden Ephemeroptera. Para el caso de la Poza con minería, solo quedó incluido un individuo del orden Coleóptera con una concentración promedio de 0,21355 mg/kg. En el caso de la Poza Sabaleta quedaron incluidos dos (2) individuos del orden Coleóptera de 0,0 y 0,0069 mg/kg. En lo que a la Poza Marcos Díaz se refiere, las concentraciones de Mercurio Total oscilaron entre 0,12375 y 1,09215 mg/kg, registrando el valor más bajo en el orden Odonato, y el más alto en el Hemíptera. En estas fuentes hídricas lenticas se analizaron en total 40 individuos distribuidos así: En la Poza Natural, cinco (5) Tricoptera, seis (6) Odonata, diez (10) Coleóptera y cinco (5) Hemíptera; en la Poza

con minería un (1) individuo del orden Coleóptera; en la Poza Sabaleta dos (2) organismos del orden Coleóptera; y en la poza Marcos Díaz cuatro (4) Hemíptera y cinco (5) Odonata. (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Análisis de mercurio Total, en macroinvertebrados capturados en cuerpos de agua lóticos influenciados por la actividad minera.

<i>Cuerpos de agua lóticos</i>	<i>Código</i>	<i>Concentración</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>
<i>P. Natural</i>	Ephemeroptera	0,2402 0,0001	0,12015	141,30
	Ephemeroptera	0,0001 0,0001	0,0001	*0,00
	Ephemeroptera	0,2095 0,0001	0,1048	141,29
	Ephemeroptera	0,1859 0,0001	0,093	141,27
	Ephemeroptera	0,0001 0,0001	0,0001	*0,00
	Ephemeroptera	3,2784 11,3055	7,29195	77,84
	Ephemeroptera	0,2193 3,1113	1,6653	122,80
	Ephemeroptera	0 6,0967	3,04835	141,42
	Ephemeroptera	0,8462 0,0001	0,42315	141,39
	Ephemeroptera	3,0383 2,8399	2,9391	*4,77
	Ephemeroptera	2,5477 0,0001	0,8493	173,18
	Ephemeroptera	0,0001 4,1863	2,0932	141,41
	Ephemeroptera	0,0001 0	6,6667E-05	*0,00
	Ephemeroptera	0,0001 0	0,00005	141,42
	Ephemeroptera	0 0	0	*#¡DIV/0!
	Ephemeroptera	0,0001 0,0001	0,0001	*0,00
	Odonata	4,5052 4,1801	4,34265	*5,29
	Odonata	1,8825 0,1493	1,0159	120,64
	Odonata	1,0643 0,0876	0,57595	119,91
	Odonata	9,4971	4,89875	132,75

Cuerpos de agua lenticos	Código	Concentración	Promedio	CV %
		0,3004		
	Odonata	4,0294	4,0294	*#jDIV/0!
		Fuera de rango		
P. con minería	Coleóptera	0,2808	0,21355	44,54
		0,1463		
	Coleóptera	0	0,0069	141,42
P. Sabaleta		0,0138		
	Coleóptera	0	0	*#jDIV/0!
		0		
	Hemíptera	0,1448	0,16445	*16,90
		0,1841		
	Hemíptera	0,2302	0,2182	*7,78
		0,2062		
	Odonata	0,1325	0,13805	*5,69
		0,1436		
	Odonata	0,362	0,64765	62,37
		0,9333		
P. Marcos Díaz	Odonata	0,1513	0,12375	31,48
		0,0962		
	Odonata	0,2249	0,1644	52,04
		0,1039		
	Odonata	0,2256	0,1565	62,44
		0,0874		
	Hemíptera	1,4129	1,0497	48,93
		0,6865		
	Hemíptera	0,0837	1,09215	130,58
		2,1006		

Al igual que en los cuerpos de agua loticos, los altos valores registrados en los coeficientes de variación para las muestras y contra muestra tomada ambas de un mismo individuo capturados en los cuerpos de agua lenticos, para el análisis de las concentraciones de mercurio total en alguno de los órdenes identificados, se priorizo sobre aquellos organismos cuyos coeficientes de variación fueron registrados por debajo del 25%. Teniendo en cuenta lo anterior, los análisis de mercurio Total quedaron registrados de la siguiente manera: Para la Poza Natural: Seis (6) individuos del orden Ephemeroptera con concentraciones de 0,0 y 2,9391 mg/kg; y dos (2) ind. del orden Odonata con concentraciones entre 0,0001 y 4,34265 mg/kg. Para la Poza Sabaleta solo quedo un individuo del orden Coleóptera con 0,0mg/kg; y para la Poza Marcos Díaz, quedaron dos (2) individuos del orden Hemíptera con 0,16445 y 0,2182 mg/kg, y un (1) individuo del orden Odonato con unas concentraciones 0,13805 mg/kg. (Ver Tabla 12)

Los promedios de las concentraciones de mercurio total por fuente hídrica fueron 1,41393958 mg/kg (CV = 1,40788423%) para la Poza Natural; de 0,0 mg/kg para la Poza Sabaleta (CV = 0,0%) y de 0,17356667 mg/kg para la Poza Marcos Díaz (CV = 0,23532933%). (Ver Tabla 12)

Tabla 12. Análisis de mercurio Total, en macroinvertebrados capturados en cuerpo de agua lenticos influenciados por la actividad minera.

<i>Cuerpos de agua lenticos</i>	<i>Código</i>	<i>Concentración</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV %</i>
<i>P. Natural</i>	Ephemeroptera	0,0001	1,41393958	1,40788423
	Ephemeroptera	0,0001		
	Ephemeroptera	2,9391		
	Ephemeroptera	6,67E-05		
	Ephemeroptera	0		
	Ephemeroptera	0,0001		
	Odonata	4,34265		
	Odonata	4,0294		
<i>P. Sabaleta</i>	Coleóptera	0	0	0
	Hemíptera	0,16445		
<i>P. Marcos Díaz</i>	Hemíptera	0,2182	0,17356667	0,23532933
	Odonata	0,13805		

6.2.3 Análisis Comparativo de la Presencia de Mercurio Total Entre los Macroinvertebrados Capturados en los Cuerpos Lóticos y los Lenticos

Los análisis de Mercurio Total, evidencian que tanto en las tres fuentes hídricas lólicas donde hubo captura de macroinvertebrados, así como en los cuatro cuerpos de agua Lénticos incluidos en este estudio, hay presencia de este metal, y por consiguiente estos organismos están contribuyendo, aunque en bajas proporciones, a su incorporación en la cadena trófica. A diferencia de los metales esenciales, aún en cantidades muy pequeñas los metales pesados entre los cuales se destaca el mercurio, son considerados tóxicos para los seres vivos. De igual, manera debido a sus características, el transporte y retención a través de la red trófica no siempre se realiza bajo el mismo mecanismo. La capacidad de estos metales para acumularse en el interior de los organismos es el principal factor para determinar el destino final en el que se pueden encontrar. (Rosero L., 2002)

Las concentraciones de mercurio registradas en los organismos capturados en la quebrada Pichirí, donde se esperaba no hubiera registro alguno, podrían estar relacionadas con alguna fuente de contaminación, no identificadas en campo o en su defecto podría ser de origen natural, lo que habría influido para que estas

concentraciones fueran relativamente bajas, teniendo en cuenta las demás concentraciones de mercurio total registradas en los organismos de los otros cuerpos de agua. En promedio el cuerpo lotico con mayor registro de concentración de mercurio fue la quebrada Sabaleta (0,239425 mg/kg), y los mayores registros corresponden a organismos del orden Ephemeroptera, en quienes debido al tipo de alimentación (detritus y algas) la acumulación proviene de la concentración de mercurio presente en el sedimento del cuerpo de agua (Huckabee, et al., 1979)

A diferencia de las concentraciones de mercurio registradas en los cuerpos de agua lóticos, en los cuerpos de agua lenticos la poza que registró el promedio más alto fue la Poza Natura, cuerpo de agua que, aunque no ha sido intervenido directamente por la actividad minera, al parecer se encuentra influenciado por las aguas del río Opogodó en épocas de lluvias e inundaciones. El río Opogodó, es una fuertemente hídrica afectada por la actividad minera, no solo por la recepción de vertimientos mineros, sino también por el desarrollo de esta actividad directamente sobre su cauce principal. Esta situación pudo haber influido en los reportes arrojados en dicha poza. Por otro lado, se observa que los organismos que reportan los mayores niveles pertenecen al Orden Odonato, considerados como depredadores por sus hábitos alimenticios, lo que los hace más susceptibles a presentar mayores niveles de mercurio, ante la capacidad de este metal de bioacumularse y biomagnificarse, especialmente en organismos de orden superior en la cadena tráfica, situación que muy posiblemente podría ocurrir con los Odonatos en la comunidad de Macroinvertebrados acuáticos y hace que sean de los de mayor riesgo. Según Cremona *et al.*, (2008); Haro *et al.* (2013), dentro de un sistema, las concentraciones de Metil-mercurio, también varía en los taxones de macroinvertebrados y generalmente son más altos en los depredadores de los consumidores primarios, lo que sugiere que los hábitos dietéticos también afectan las concentraciones de MeHg en estos niveles tróficos inferiores (Jardine *et al.*, 2013; Riva-Murray *et al.*, 2011, 2013). La mayoría de valores observados en organismos de macroinvertebrados está muy relacionada al orden y al tiempo de exposición (Huckabee, et al., 1979); (Verta, *et al.*, 1986), las larvas poseen una disposición para la acumulación debido a la cantidad de tiempo que dura esta fase (Rosero L., 2002).

En este sentido, se considera que efectivamente, la actividad minera podría estar influyendo en la presencia de mercurio en organismos de la comunidad de macroinvertebrados que habitan cuerpos de agua loticos y lenticos en el municipio de Condoto, y muy posiblemente la presencia de este metal también esté limitando la presencia de macroinvertebrados en fuentes hídricas receptoras de vertimientos mineros, situación que podría estar presentando en la quebrada Jorobiró (fuente hídrica con presencia de vertimientos mineros), lugar donde no hubo registros que evidenciaran la presencia de estos organismos en el punto de muestreo previamente seleccionado.

7 CONCLUSIONES

Los efectos de la actividad minera sobre los ecosistemas acuáticos, presentan varias manifestaciones, una de ellas está relacionada con la alteración de la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos que habitan cuerpos de aguas loticos y lenticos, quienes, por la alta sensibilidad a la presencia de sustancias contaminantes principalmente de origen antrópico, se constituyen en la radiografía de la salud ambiental de estos ecosistemas. Los organismos capturados en los cuerpos de agua loticos evidencian como a través del tiempo la comunidad de macroinvertebrados varía tanto en especies, como en la representación de los mismos, sin embargo, esta variación está más relacionada con la presencia de organismos indicadores de aguas contaminadas o en recuperación, que con organismos propias de aguas limpias y de buena calidad ambiental. Por su parte, los organismos capturados en los cuerpos de agua lenticos evidencia, como a través del tiempo estos cuerpos de agua creados con una finalidad distintas a la de armonizar los procesos ecosistémicos, se incorporan de manera positiva a los procesos biológicos que tienen lugar en los sitios en que son abandonados.

Como era de esperarse, las fuentes hídricas loticas presentaron mayor cantidad de especies que los cuerpos de agua lenticos, aun sin intervención minera, pues Hanson, et al (2010), manifiesta que, en términos generales, los ambientes loticos, especialmente los ríos de aguas limpias y bien oxigenadas, son los ecosistemas de agua dulce que albergan la mayor diversidad de macroinvertebrados. Es así, como para la quebrada Pichirí, lugar donde aún no hay intervención minera, hubo una gran variedad de especies, con la presencia muy marcada de individuos de la familia Ephemeroptera, los cuales se encontraron asociados con las familias Tricoptera y Plecópteras, organismos propias de fuentes hídricas bien conservadas o poco intervenidas, pues hay quienes afirman como Flowers R, et al., (2010), que el orden Ephemeroptera ha sido considerado por muchos autores como uno de los órdenes más sensibles a la contaminación del agua, junto con Plecóptera y Trichoptera (“EPT” taxa). Esta fuente hídrica presentó, además, el mayor registro de morfotipos, aunque con pocas variaciones entre los representantes de cada una de estas, especialmente aquellos pertenecientes a los órdenes antes mencionados, condiciones que según Roldan (1999), son propias de una comunidad natural, la cual se caracteriza por tener una alta diversidad o riqueza y un bajo número de individuos por especie.

Uno de los efectos de la actividad minera sobre los ecosistemas acuáticos, está relacionada con la alteración de la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados que habitan cuerpos de aguas loticos y lenticas, pues las fuentes hídricas afectadas por la actividad minera tienden a tener una disminución en la Riqueza o Diversidad de géneros y distribución equitativa de sus representantes, pues solo las más tolerantes a las perturbaciones ambientales y cambios extremos en los ecosistemas acuáticos puedan sobrevivir y permanecer en el tiempo. Así mismo, se observa cómo se genera un aumento progresivo tanto

en la riqueza de género y de sus representantes, como en la equitatividad y se produce una disminución en la Dominancia en el caso de los cuerpos de agua lenticos.

Los resultados de los análisis de mercurio total en algunos ordenes que integran la comunidad de macroinvertebrados, tanto de cuerpos de agua lenticos, como de cuerpo de agua loticos, indican que efectivamente la actividad puede estar generando una influencia directa sobre la presencia de mercurio en dichos organismos, independientemente de la temporalidad de haber sucedido el disturbio, e inclusive el tipo de cuerpo de agua afectado, pues gran parte de los órdenes analizados presentaron trazas de mercurio en su interior, aunque algunos individuos hayan tenido resultados negativos, situación que en ningún momento hace que se descarte la posibilidad de la existencia de este metal en los cuerpos de agua estudiados, considerado tóxico para la salud humana. Por consiguiente, se considera que esta comunidad de macroinvertebrados está participando en los procesos de incorporación de dicho contaminante a la cadena trófica; pues, estos organismos hacen parte de la dieta alimenticia de los peces.

Por otro lado, a pesar de las variaciones en las concentraciones de mercurio total registradas no solo entre las fuentes hídricas lenticas, y entre las fuentes hídricas loticas; sino también, entre los cuerpos de agua loticos y lenticos, la actividad minera, está generando un efecto y negativo sobre estos organismos. De igual manera, se presentaron variaciones entre las concentraciones registradas por órdenes, entre cuerpo de agua. Dentro de un sistema, las concentraciones de MeHg también varía en los taxones de macroinvertebrados y generalmente son más altos en los depredadores que en los consumidores primarios (Cremona, et al., 2008); (Haro, et al., 2013)), lo que sugiere que los hábitos dietéticos influyen en la presencia de mercurio en estos niveles tróficos inferiores (Jardine, et al., 2013); (Riva-Murray, et al., 2011).

8 BIBLIOGRAFÍA

Alonso, A. & Camargo, J., 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles.. *Revista científica de ecología y medio ambiente*, Septiembre, 14(3), pp. 87-99.

Angrisano, E. B., 1995. Ecosistemas De aguas continentales : Metodologías para su estudio. *Insecta Trichoptera*, Volumen III, pp. 1199-1250.

Barrenechea M., A., 2004. Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua. En: C. P. d. I. S. y. C. d. Ambiente, ed. *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida*. Lima : s.n., pp. 1-54.

Brack, A., Ipenza., C., Alvarez, J. & Sotero, V., 2011. *Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio - Una Bomba de Tiempo*, Lima: Ministerio del Ambiente.

Carrera R., C. & Fierro P., K., 2001. *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Ilustrada ed. s.l.:EcoCiencia.

Chara-Serna, A. M. y otros, 2011. *Diets of leaf litter-associated invertebrates in three tropical streams*. [En línea] Available at: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/59959/1/limnol.pdf>

Chará-Serna, A. M. y otros, 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*, 15(1).

Clayden, M. G. y otros, 2014. Environmental, geographic and trophic influences on methylmercury concentrations in macroinvertebrates from lakes and wetlands across Canada. *Ecotoxicology*, 23(2), pp. 273-284.

CODECHOCO, 2010. *Situación de la Minería en el Departamento del Chocó*, Quibdó: s.n.

Courtney, G. & Merritt, R., 2008. Aquatic Diptera. Part one: larvae of aquatic Diptera. En: *An introduction to the aquatic insects of North America*. Cuarta ed. Iowa: Kendall /Hunt Publishing Company, pp. 687-722.

Cremona, F., Planas, D. & Lucottea, M., 2008. Assessing the importance of macroinvertebrate trophic dead ends in the lower transfer of methylmercury in littoral food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(9), pp. 2043-2052.

D'Amico, F. y otros, 2004. Odonates as indicators of shallow lake restoration by liming: Comparing adult and larval responses. *Restor. Ecol.*, Volumen 12, pp. 439-46.

Domínguez, E. y. H. F., 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.

EOT Condoto, 2005. *Esquema de Ordenamiento Territorial Condoto Chocó*, Condoto: Alcaldía Municipal.

Fairy Maria Medina Mosquera, 2013. Influencia de los vertimientos mineros sobre las características fisicoquímicas del agua de cuatro fuentes hídricas de la zona norte del Chocó Biogeográfico. *Revista Bioetnia*, 1ra edición

Flowers, R. & De la Rosa, C., 2010. CAPÍTULO 4: Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), pp. 63-93.

Maribet Gamboa, Rosa Reyes & Jazzmin Arrivillaga, 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y salud Ambiental*. Vol. 48, N°2, agosto-diciembre de 2008.

Hanson, P., Springer, M. & Ramírez, A., 2010. *Introducción a los Grupos de Macroinvertebrados Acuáticos*, San José: s.n.,

Haro, R. y otros, 2013. Burrowing dragonfly larvae as biosentinels of methylmercury in freshwater food webs. *Environ Sci Technol*, Volumen 47, p. 8148–8156.

Huckabee, J., Elwood, J. & Hildebrand, S., 1979. Accumulation of Mercury in Freshwater Biota.. *The Biogeochemistry of Mercury in the Environment*, p. 277 – 302.

IPEN, 2007. Introducción a la contaminación por mercurio para las ONG. Pág. 5.

Jardine, T., Kidd, K. & O'Driscoll, N., 2013. Food web analysis reveals effects of pH on mercury bioaccumulation at multiple trophic levels in streams. *Aquat Toxicol*, Volumen 132-133, p. 46–52.

Ladrera, R., Rieradevall, M. & Prat, N., 2013. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza. e-Revista de Didáctica* 11, p. 18.

Melcalfe, J., 1989. Biological Water Quality Assessment of Running Waters. *Environmental Pollution* 60, pp. 101-139.

Menjívar Rosa, R. A., 2010. *Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para Determinar la Calidad Ambiental de las Aguas de los Ríos de El Salvador, Utilizando Insectos Acuáticos*, El Salvador: FEMCIDI.

Merritt, R. W. & Cummins, K. W., 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Univ. of California, Berkeley ed. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.

PDM Cértegui, 2012. *Plan de Desarrollo 2012 – 2015, “Ahora le toca al Pueblo”*, Cértegui: alcaldía Municipal.

Ramírez, G., 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Primera ed. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia.

Ramírez, R. G., González, A. R. & Vizcaíno, G. V., 1998. *Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis..* Bogotá: BP Exploration Company (Colombia) Limited.

Riva-Murray, K. y otros, 2011. Spatial patterns of mercury in macroinvertebrates and fishes from streams of two contrasting forested landscapes in the eastern United States. *Ecotoxicology*, Volumen 20, p. 1530–1542.

Roldán P., G., 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, Septiembre, XXIII(88), pp. 375-387.

Roldán P., G. & Ramírez R., J. J., 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Segunda ed. s.l.:Universidad de Antioquia.

Roldán, G., 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogota (Colombia): Fondo FEN Colombia.

Gabriel Roldán Pérez, 2012. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. ISBN: 978-958-8188-19-5. Pág. 31, 41

Rosenberg, D. M. & Resh, V. H., 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. *Chapman & Hall*.

Rosero L., D., 2002. *Determinación de la habilidad de la comunidad béntica para remover mercurio de la laguna de Aucacocha, Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno, mediante bioacumulación*, s.l.: Universidad Internacional S.E.K..

Simaika, J. & Samways, M., 2009. An easy to use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity & Conservation*, Volumen 18, pp. 1171-1185.

Vargas, L., 2012. Análisis de los impactos generados por la minería de oro y platino a cielo abierto sobre los recursos hídricos a partir de la cuantificación del consumo de agua la carga contaminante de los vertimientos.. *Bioetnia*, 9(2), pp. 203-214.

Vargas, L., Quesada, Z., Ramírez, G. & Valoyes, Z., 2010. Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. *Revista Bioetnia*, 7(1), pp. 23-37.

Verta, M., Rekolinen, S. & Kinnunen, K., 1986. Causes of Increased Fish Mercury Levels in Finnish Reservoirs. *Vesihallitus – National Board of Waters*, p. 44 – 71.

Zuñiga, M. d. C., 2000. Bioindicadores De Calidad De Agua Y Caudal Ambiental. En: E. D. R. A. C. D. C. F. N. Y. D. A. Eidenar., ed. *Indicadores Biológicos En Ecosistemas Desarrollo De Suelos. Irehisa.. s.l.:Grupo De Seminario Colombiano De Limnología*, pp. 176-210.