



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA MALPADO,
MEDELLÍN – ANTIOQUIA A TRAVÉS DE ÍNDICES BIÓTICOS Y VARIABLES
FISICOQUÍMICAS**

ANYI LILIANA ROJAS GARRIDO

**DIRECTOR
HEAZEL GRAJALES VARGAS**

**TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA- INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MEDELLÍN
2017**

DEDICATORIA

Primero que todo quiero dedicar este trabajo de grado a Dios que me ha permitido alcanzar grandes metas en la vida, a mi madre que me ha brindado la oportunidad de formarme como persona y como profesional, sin ella nada de esto sería posible, y a mi profesora guía por su gran dedicación y entrega en la revisión de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Fueron muchas las personas que de forma directa o indirecta participaron en la culminación de este proyecto, ayudándonos a llegar a la meta. A todas ellas les doy las gracias.

A mi familia por colaborarme y apoyarme en todo momento.

Heazel Grajales Vargas, le agradezco profundamente por su constancia y por su excelente asesoría en el desarrollo de este trabajo y por compartir sus conocimientos sobre el recurso hídrico.

A Deisy Barrientos, por su colaboración en los días de muestreo e identificación de algunos macroinvertebrados acuáticos, gracias a cada maestro y compañero que hizo parte de este proceso integral de formación y gratitudes a todas las personas que de algún modo me han ayudado con este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

PALABRAS CLAVE	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. OBJETIVOS	15
4.1 OBJETIVO GENERAL	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5. MARCO REFERENCIAL	16
5.1 VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA	16
5.1.1 Temperatura del agua	16
5.1.2 Oxígeno disuelto	16
5.1.3 pH	16
5.1.4 Conductividad eléctrica	17
5.2 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS	17
5.2.1 Gastrópoda	18
5.2.2 Plecóptera	18
5.2.3 Odonata	19
5.2.4 Hemíptera	19
5.2.5 Coleóptera	20
5.2.6 Trichóptera	21
5.2.7 Díptera	21
5.3 ÍNDICES BIÓTICOS	22
5.3.1 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	22
5.3.2 Índice Average Score per Taxon (ASPT)	24
6. DESARROLLO METODOLÓGICO	25
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	25
6.2 TRABAJO DE CAMPO	27
6.2.1 Variables hidráulicas	31
6.2.2 Variables fisicoquímicas	32
6.2.3 Variables biológicas	32

6.3	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	33
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
7.1	VARIABLES HIDRÁULICAS	34
7.2	VARIABLES FISICOQUÍMICAS	36
7.2.1	Temperatura ambiente.....	37
7.2.2	Temperatura del agua.....	38
7.2.3	Oxígeno disuelto	39
7.2.4	Conductividad eléctrica.....	40
7.2.5	pH	41
7.3	VARIABLES BIOLÓGICAS	42
7.3.1	Índice BMWP/COL.....	50
7.3.2	Índice ASPT	52
7.3.3	Correlación entre variables biológicas y fisicoquímicas	54
7.4	ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA LA QUEBRADA LA MALPASO.....	56
7.4.1	Restauración y reforestación de las márgenes de la quebrada	57
7.4.2	Recuperación del espacio público	57
7.4.3	Reducción de la contaminación del agua en el casco urbano	57
8.	CONCLUSIONES	59
9.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	60
10.	REFERENCIAS	61
11.	ANEXOS.....	63
11.1	Anexo 1	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Lymnaea columella</i> - <i>Lymnaea rupestris</i>	18
Figura 2. <i>Claudioperla</i> sp.....	19
Figura 3. <i>Brechmorhoga</i> sp	19
Figura 4. <i>Ctenicoporis</i> - <i>Limnocoris</i> sp - <i>Pelocoris</i> sp.....	20
Figura 5. <i>Tetraglossa</i> sp.....	20
Figura 6. <i>Helicopsyche</i> sp.....	21
Figura 7. <i>Clognia albipunctatus</i>	22
Figura 8. Área tributaria de quebrada La Malpaso. Municipio Medellín.	25
Figura 9. Foto de la estación 1 correspondiente a la cuenca alta de la quebrada La Malpaso.....	29
Figura 10. Foto de la estación 2 correspondiente a la cuenca media de la quebrada La Malpaso.....	30
Figura 11. Foto de la estación 3 correspondiente a la cuenca baja de la quebrada La Malpaso.....	31
Figura 12. Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas para la evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Malpaso. Municipio Medellín 2017	28
Figura 13. División de la sección transversal del cauce para el cálculo del caudal	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/COL.....	23
Tabla 2. Clase, calidad y escala de valores y su respectivo significado ambiental del BMWP/COL.....	24
Tabla 3. Escala de valores del índice ASPT y su calidad del agua.....	24
Tabla 4. Principales tributarios de la quebrada La Malpaso.....	26
Tabla 5. Variación de la velocidad del cauce en la parte alta, media y baja de la cuenca La Malpaso.....	35
Tabla 6. Estadísticos de tendencia central y de dispersión de las variables fisicoquímicas medidas en la quebrada La Malpaso en el abril y mayo de 2017	37
Tabla 7. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la quebrada La Malpaso en abril y mayo de 2017.....	43
Tabla 8. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la quebrada La Malpaso en abril y mayo de 2017.....	46
Tabla 9. Riqueza de macroinvertebrados acuáticos en las tres estaciones de muestreo en abril y mayo de 2017 en la quebrada La Malpaso.	49
Tabla 10. Puntaje asignado a las familias de macroinvertebrados acuáticos para el cálculo del índice BMWP/COL de la quebrada La Malpaso.	50
Tabla 11. Clasificación del agua de la quebrada La Malpaso obtenida a partir del índice BMW/COL	52
Tabla 12. Significado ambiental del índice ASPT de la quebrada La Malpaso en el año 2017	53
Tabla 13. Resumen de los índices BMWP/COL Y ASPT de la quebrada La Malpaso..	54
Tabla 14. Coeficiente de correlación de Spearman para las variables biológicas y las fisicoquímicas de la quebrada La Malpaso.....	54

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variación de la temperatura ambiente en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.	37
Gráfica 2. Variación de la temperatura del agua en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.	38
Gráfica 3. Variación del oxígeno disuelto en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.	39
Gráfica 4. Variación de la conductividad eléctrica en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.	41
Gráfica 5. Variación del pH en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017. ...	41
Gráfica 6. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los dos muestreos en las tres estaciones.	48
Gráfica 7. Puntaje del índice BMWP/COL modificado por Roldan 2003.	51
Gráfica 8. Valores de arrojados del índice ASPT para la quebrada La Malpaso del municipio de Medellín.	53

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la variación de la calidad del agua de la quebrada La Malpaso, del municipio de Medellín, a través del monitoreo de variables fisicoquímicas e indicadores biológicos, medidos en tres sitios de la cuenca alta, media y baja de la quebrada, durante los meses de abril y mayo de 2017. Las variables fisicoquímicas monitoreadas indican que se presenta variación de la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica, lo que se debe principalmente a las diferencias de hora de muestreo y al ingreso de sustancias contaminantes que aumentan la conductividad eléctrica y reducen el oxígeno disuelto en la cuenca media y baja de la quebrada.

De otro lado, se colectaron en total 193 individuos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, distribuidos en 9 órdenes, 12 familias y 13 géneros. Los organismos más abundantes fueron los de la familia Hydropsychidae los cuales son indicadores de aguas contaminadas a ligeramente contaminadas. Por su parte, los índices bióticos empleados sugieren que la quebrada La Malpaso posee aguas de moderada a fuertemente contaminadas y/o de baja calidad (BMWP/COL entre 15 y 29 y ASPT < 5.3).

PALABRAS CLAVE

Macroinvertebrados acuáticos, Calidad del agua, índice BMWP/COL, índice ASPT.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso imprescindible para la sobrevivencia de los seres humanos, lo cual ha generado que históricamente las comunidades se hayan asentado en cercanías a las fuentes hídricas (Ramírez, 2011). Dicha proximidad aunada a la poca gestión ha conllevado a la modificación de la calidad y disponibilidad del recurso, lo que se debe principalmente al desarrollo de actividades antrópicas como vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, destrucción de hábitats, modificación del régimen hídrico, entre otros (Reyes, 2001).

Este fenómeno se ha evidenciado a nivel mundial. En el departamento de Antioquia, el estrés hídrico en las fuentes abastecedoras de agua se le atribuye al desarrollo de actividades como la deforestación, la ampliación de frontera agrícola y el uso inadecuado del recurso como receptor de vertimientos domésticos, industriales, sustancias químicas y materia orgánica (Aguirre, 2014). Esto ha conducido a la reducción considerable de la calidad del agua de muchos ecosistemas acuáticos, principalmente aquellos que atraviesan zonas urbanas, como es el caso de la quebrada La Malpaso.

La evaluación de la calidad del agua puede realizarse a través del monitoreo de variables fisicoquímicas y biológicas, que permiten evidenciar el ingreso de contaminantes (Aguirre, 2014). En particular los indicadores biológicos o bioindicadores son una herramienta útil y económica a la hora de evaluar la calidad del agua, dado que reducen las actividades de campo y laboratorio, y permiten obtener información similar a las variables fisicoquímicas (Mora, 2006). Sin embargo, ambos métodos son complementarios y utilizarlos paralelamente permite obtener una evaluación más asertiva sobre el grado de afectación de los ecosistemas acuáticos producto de diversas perturbaciones antrópicas.

En Colombia se han realizado estudios sobre la bioindicación de la calidad del agua desde los años setenta. Las investigaciones pioneras realizadas en Antioquia por Roldán (1973, 1996) permitieron la elaboración de una guía taxonómica y ecológica sobre los macroinvertebrados de este departamento. Esta guía ha tenido gran aceptación en el Neotrópico y ha servido como punto de partida para la elaboración de claves regionales en varios países (Roldán G. , 2009). Roldán (1996) realizó una adaptación del sistema Biological monitoring working party para evaluar la calidad del agua en Colombia (BMWP/COL), este índice ha sido ampliamente empleado en nuestro país (Aguirre, 2014)

Otro índice biológico de gran aceptación es el ASPT (Average Score per Taxon). Este índice corresponde a un puntaje promedio por taxón y es un índice muy importante para la evaluación de calidad del agua. Ambos índices bióticos han sido ampliamente empleados en diferentes ecosistemas acuáticos de nuestro país, a continuación, algunos ejemplos de las aplicaciones de estos índices bióticos.

En junio y en septiembre de 2009 se evaluó de la calidad del agua del río Guatapurí (Cesar, Colombia), utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores y análisis fisicoquímicos y microbiológicos aplicando índices de contaminación ICO/COL, que permitieron concluir que el balneario evaluado cumple con los criterios de calidad estipulados en el Decreto 1594 de 1984, para uso recreativo por contacto primario y secundario (Garcias, 2010).

Duque (2013) evaluó la calidad del agua del río Férida (Valle del Cauca, Colombia), basándose en la aplicación de índices biológicos (Índices BMWP, ASPT y ETP) y fisicoquímicos (Índice de Calidad de Agua de COMITESINOS, NSF, ICOTRO y ICOMO). La relación de la calidad fisicoquímica y biológica mostró la eficacia de los parámetros escogidos los cuales fueron constantes durante los eventos de muestreo evidenciando una calidad de agua entre excelente y buena en las dos primeras estaciones y entre buena y regular en la tercera estación, según los diversos índices calculados (Duque, 2013).

De otro lado, en el año 2014 se determinó de la calidad del agua de la cuenca hidrográfica del Río Garagoa (Boyacá, Colombia), empleando macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos, complementados con parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el fin de aportar metodológicamente en la evaluación y monitoreo de los sistemas fluviales del país. Los resultados obtenidos indicaron que la distribución y composición de la comunidad bentónica es determinada por el gradiente de estrés de la cuenca (Gómez, 2014).

La quebrada La Malpaso ubicada en el Municipio de Medellín, Antioquia, presenta alteraciones desde su cuenca alta hasta su desembocadura en el río Medellín. En el nacimiento de la quebrada se observa una dinámica hídrica estable, pero a partir de su ingreso a la zona urbana se evidencia un recurso altamente perturbado por diversas actividades como: invasiones del cauce, vertimientos directos de aguas residuales y residuos sólidos de diferentes tamaños, entre otros. Por esta razón, el presente trabajo pretende elaborar el diagnóstico de la calidad del agua de la quebrada La Malpaso, Medellín-Antioquia, incorporando el análisis de macroinvertebrados acuáticos y de

variables fisicoquímicas. A partir de la evaluación realizada se proponen estrategias de gestión a ser aplicadas en la quebrada La Malpaso.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad de la quebrada La Malpaso ha venido presentando un deterioro gradual a través de los años, principalmente en la zona que atraviesa el casco urbano del municipio de Medellín. En esta parte del cauce se evidencian invasiones, vertimientos directos de aguas residuales domésticas y residuos sólidos y problemas de socavación, además de actividades comerciales como el establecimiento de lavaderos de vehículos. Estas actividades afectan gravemente la calidad del agua, lo que se evidencia en los malos olores que se generan como consecuencia de los procesos de degradación de la materia orgánica, la proliferación de vectores de enfermedades y la degradación del paisaje.

Los vertimientos de aguas residuales observados son fruto en primera instancia de la falta de infraestructura de recolección para las aguas residuales procedentes de las viviendas construidas en zonas denominadas de “invasión”. De otro lado, los problemas de salubridad asociados a la contaminación de esta corriente se deben a la proliferación de insectos y vectores transmisores de enfermedades. Adicionalmente, los malos olores y la acumulación de residuos sólidos y desechos orgánicos atraen a diferentes especies de carroñeros, lo que genera un problema de afectación del paisaje y de la calidad de vida para la comunidad asentada en las márgenes de la quebrada (Hernandez, 2011). Este deterioro ambiental también podría atribuirse a la falta de conciencia y educación ambiental de los habitantes de la zona, quienes son los principales responsables del manejo inadecuado de los residuos sólidos y las aguas residuales que generan.

En la quebrada La Malpaso se evidencia un cambio de la estructura y funcionamiento de las comunidades biológicas que la habitan, debido a las numerosas perturbaciones a las que se encuentra sometida. Hasta el momento, en esta quebrada no se han realizado evaluaciones de calidad del agua de esta corriente a través del estudio de las comunidades hidrobiológicas y variables fisicoquímicas presentes. Por esta razón, consideramos que este tipo de análisis permitirá conocer el grado de contaminación del recurso y, a partir de dicha evaluación, proponer estrategias de manejo y conservación de la quebrada La Malpaso.

Pregunta de investigación

¿Cómo varía la calidad fisicoquímica y biótica del agua de la quebrada La Malpaso desde la cuenca alta hasta la cuenca baja, asociada a las variaciones en las actividades antrópicas que se realizan?

Hipótesis de investigación

Las actividades antrópicas desarrolladas en la quebrada La Malpaso provocan cambios en las características fisicoquímicas y bióticas afectando la calidad del agua. La cual se expresará y se reflejará en la composición y distribución de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del ecosistema en estudio.

La evaluación de la calidad hídrica de la quebrada la malpaso mediante la implementación del índice BMWP/COL Y ASPT serán metodologías aptas para la evaluación y monitoreo de la calidad del agua en la parte alta media y baja de la quebrada La Malpaso.

3. JUSTIFICACIÓN

La quebrada La Malpaso es considerada una de las corrientes más importantes del municipio de Medellín, constituyéndose en un recurso hídrico imprescindible para el desarrollo de actividades de ganadería, riego de cultivos y uso doméstico. Además, en sus márgenes se encuentran especies vegetales y animales que se consideran patrimonio natural importante para el municipio de Medellín. Anteriormente, también fue considerada una importante fuente de servicios ecosistémicos para la población aledaña. Lamentablemente, en la actualidad en el casco Urbano de Medellín, sus aguas son utilizadas en actividades comerciales tales como lavaderos de autos. La contaminación hídrica evidenciada en el sector urbano de la quebrada La Malpaso; debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas y los residuos sólidos, permiten establecer la necesidad de determinar y evaluar la alteración y modificación que sufre este recurso hídrico desde su parte Alta hasta su cuenca Baja.

Por estas razones se considera importante avanzar en el estudio de la calidad del agua de la quebrada La Malpaso en el tramo que atraviesa el municipio de Medellín, para lo cual es factible emplear el uso de variables fisicoquímicas y de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de contaminación. Una vez realizada la evaluación, será posible proponer estrategias de gestión que pueden ser orientadas por las autoridades locales y ambientales del municipio de Medellín, involucrando instituciones públicas y privadas y a la comunidad en general, de tal manera que se busque restaurar, proteger y conservar el recurso hídrico y mejorar la calidad ambiental y con esto la calidad de vida de la comunidad aledaña.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua de la quebrada la malpaso, Medellín – Antioquia a través de índices bióticos y variables fisicoquímicas, con el fin de proponer estrategias para la gestión de este recurso hídrico.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la variación espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y caudal en tres estaciones y dos épocas de muestreo de la quebrada La Malpaso.
- Determinar la variación de la calidad del agua, a través de la evaluación de los índices biológicos BMWP/COL y ASPT en tres estaciones y dos épocas de muestreo de la quebrada La Malpaso.
- Evaluar las posibles correlaciones existentes entre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas medidas desde la cuenca alta hasta la cuenca baja de la quebrada La Malpaso.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA

5.1.1 Temperatura del agua

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que influyen en la supervivencia de las comunidades acuáticas. Las comunidades que habitan en zonas tropicales se ven sometidas a temperaturas relativamente constantes a lo largo del año. Sin embargo, la supervivencia de estas comunidades puede verse afectada cuando se presentan cambios drásticos de temperatura que hacen que se superen los rangos óptimos de temperatura a la cual los organismos pueden sobrevivir y reproducirse. Esta alteración conduce a que algunos organismos no logren adaptarse a estos cambios y desaparezcan (Ramírez & Roldan, 2008).

5.1.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es esencial para la vida vegetal y animal en el agua. Es uno de los parámetros de fácil medición y de gran importancia para inferir la concentración de contaminantes en los cuerpos de agua. Dado que para la degradación de la materia orgánica presente se requiere del consumo de este gas, las concentraciones de oxígeno disuelto pueden bajar drásticamente desde 8 mg/L hasta valores cercanos a 0 mg/L, lo que conlleva a la pérdida de la vida acuática. En contraste, los fenómenos de fotosíntesis pueden generar estados de sobresaturación de oxígeno que también implica la mortandad de los organismos (Ramírez, 2011). Por su parte, los criterios de calidad de agua admisibles para la destinación del recurso hídrico en la preservación de fauna y flora, establecen que el oxígeno disuelto debe tener un valor superior a 4 mg/L (artículo 45, Decreto 1594 de 1984).

5.1.3 pH

El pH es un indicador de la concentración de iones libres de hidrógeno en una sustancia y expresa la acidez o alcalinidad. La mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales tienen un pH que oscila entre 5 y 9. Muy pocas especies pueden crecer a pH inferior a 2 o superior a 10. El crecimiento y reproducción de las especies acuáticas se ve afectadas por la contaminación con residuos orgánicos o industriales que rompe el equilibrio ecológico, lo cual provoca cambios drásticos de pH. Como consecuencia

ciertas especies no logran adaptarse a dichos cambios y mueren, y el ecosistema es colonizado por otras especies que se adaptan a los nuevos valores de pH, modificando así la fauna y flora de los cuerpos de agua (Ramírez, 2011).

5.1.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica y depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. De manera que es posible identificar el ingreso de aguas contaminadas con mayor contenido de iones o sólidos disueltos, a través de la medición de este parámetro (Rojas, 2009). De otro lado, Roldán & Ramírez (2008) indican que los valores típicos de conductividad eléctrica en ecosistemas poco productivos se encuentra entre 20 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que cuerpos de agua con alta concentración de sustancias disueltas presentarán conductividades superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.2 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que viven en el fondo del río y lagos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidos y que por su tamaño (0.5 - 5.0mm), se pueden observar a simple vista. La comunidad de macroinvertebrados acuáticos presente en un ecosistema varía con relación a las características fisicoquímicas del ambiente. Algunos de ellos requieren de buena calidad del agua para sobrevivir, mientras que otros resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Por esta razón han sido ampliamente empleados como bioindicadores de calidad del agua (Roldán, 2016).

El grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de insectos, cuyos estados inmaduros (huevos y larvas) son acuáticos, mientras que los adultos suelen ser terrestres. Los principales órdenes de macroinvertebrados son: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros. Adicionalmente, se pueden encontrar organismos como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos (Escudero, 2009). A continuación, se describen algunos de los órdenes más representativos de la vida acuática.

5.2.1 Gastrópoda

Los gastrópodos son conocidos por su concha enrollada en espiral, cuyo tamaño puede variar entre 2 a 70mm (Figura 1). Tienen una porción muscular que se proyecta fuera de la concha y se le denomina “pie”. La mayoría de los gastrópodos son herbívoros se alimentan de algas y residuos vegetales. Viven por lo regular en ambientes con muchas sales, especialmente de carbonato de calcio el cual es necesario para la creación de la concha. En general se les considera como indicadores de aguas duras y alcalinas (Pérez, 1988).



Figura 1. *Lymnaea columella* - *Lymnaea rupestris*
Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Gómez *et al.* 2003.

5.2.2 Plecóptera

Se les denomina ninfas por su estado inmaduro. Son totalmente acuáticas y ligadas exclusivamente a los ambientes lóticos. Se caracterizan por ser cosmopolitas. En el trópico la familia dominante es Perlidae y en Antioquia la subfamilia Acroneuriinae es altamente abundante entre 1000 y 2000 msnm (Figura 2). Se encuentran en aguas rápidas, turbulentas, frías y altamente oxigenadas, es por esta razón que se consideran bioindicadores de excelente calidad de agua (Roldán 1988).

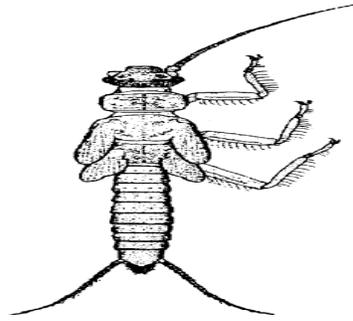


Figura 2. *Claudioperla sp*

Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Fernández & Domínguez 2001.

5.2.3 Odonata

Este orden comprende las libélulas (Figura 3). Los adultos pueden vivir fuera del agua, pero las larvas son acuáticas. Las larvas de todas las especies de odonatos son zoófagas, atacan a diferentes animales con los que comparten territorio, como oligoquetos, efemerópteros o dípteros e incluso pueden llegar a atacar a renacuajos y alevinos de peces, por esto se les considera depredadores. Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, son más frecuentes en las zonas con baja velocidad de la corriente, como remansos o en pequeñas lagunas (Fernandez, 2012).

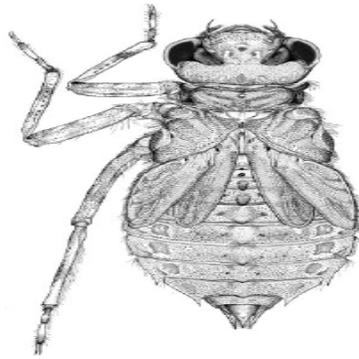


Figura 3. *Brechmorhoga sp*

Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Arango 1983.

5.2.4 Hemíptera

Son un grupo de insectos caracterizados por poseer un aparato bucal chupador (figura 4). El 10% de las especies de este orden son acuáticas. Gran parte de familias de este orden vive sobre la superficie del agua, y son conocidos como zapateros. La mayoría son depredadores y presentan numerosas adaptaciones frente a la depredación, fundamentalmente de peces. Esto se atribuye al hecho de vivir en la superficie del

agua, al comportamiento gregario y a la capacidad de saltar varios centímetros de algunas especies (Fernandez, 2012).

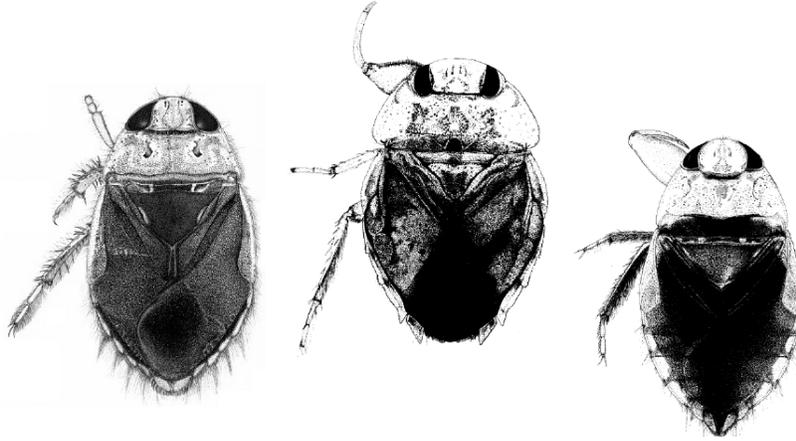


Figura 4. *Ctenicoporis* - *Limnocoris* sp - *Pelocoris* sp
Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Álvarez 1982.

5.2.5 Coleóptera

Este orden es uno de los más extensos. Muchos de los organismos son semi-acuáticos, en ocasiones es difícil su identificación como acuáticos o terrestres. Los terrestres pueden caer accidentalmente al agua lo que hace más difícil su identificación. Los coleópteros son diferentes morfológicamente en sus fases de adulto y larva. Dependiendo de la especie el ciclo de vida pueden variar de meses a años. La mayoría de los coleópteros viven en aguas continentales lóxicas y lenticas (Figura 5). En las zonas lénticas se pueden encontrar asociados a troncos, hojas en descomposición, piedras, arena, y macrófitas sumergidas y emergentes. Este orden se encuentra principalmente en aguas con concentración de oxígeno alto y temperaturas medias (CORTOLIMA, 2006).

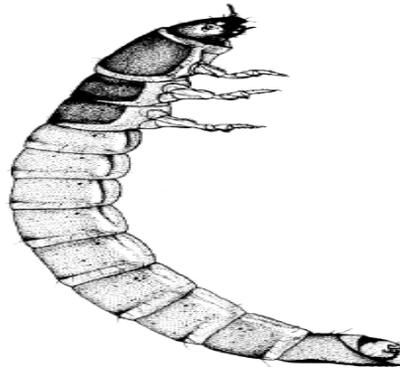


Figura 5. *Tetraglossa* sp
Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Roldán 1988.

5.2.6 Trichóptera

Los tricópteros son insectos que tienen como característica la capacidad de construir casas y refugios (Figura 6). Los refugios sirven para capturar alimentos y sus casas sirven para su protección y movimiento en busca de oxígeno. Estos son insectos holometábolos cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat (léntico y lótico). La mayoría de los tricópteros requieren de uno a dos años para su desarrollo. En general viven en aguas limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal (Pérez, 1988).

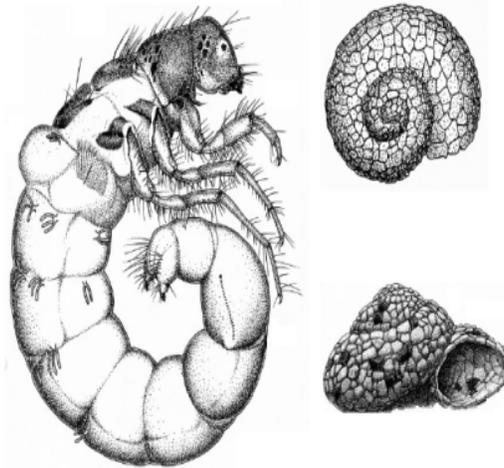


Figura 6. *Helicopsyche sp*

Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Correa 1980.

5.2.7 Díptera

Es uno de los órdenes acuáticos más complejo por su abundancia y distribución en el mundo. Este es uno de los órdenes de insectos más evolucionados junto con los lepidópteros y tricópteros. Su periodo larvario puede ser de una semana similar al Simuliidae o hasta un año como Tipulidae (Figura 7). Sus hábitos alimenticios incluyen carnivoría y herbivoría. Su hábitat es muy variado, se encuentran en arroyos, ríos, quebradas y lagos que presenten aguas muy limpias (Fernandez, 2012).

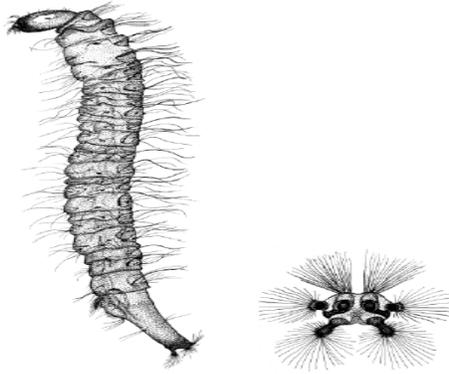


Figura 7. *Clognia albipunctatus*
Fuente: (Álvarez Arango, 2005) en Bedoya 1984.

5.3 ÍNDICES BIÓTICOS

Se basan en el concepto de organismos como indicadores o bioindicadores. Son aquellos que permiten establecer la calidad biológica de un cuerpo de agua a través de un valor numérico que representa las características de los taxa presentes en una muestra (Aguirre y Caicedo, 2013). A continuación, se describen los índices empleados en el desarrollo de esta investigación.

5.3.1 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Desarrollado en Inglaterra en 1970 como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Es un índice simple ya que su aplicación sólo requiere identificar los organismos hasta nivel de familia y emplear datos cualitativos, es decir, da información de la presencia o ausencia de los organismos (Arango, 2005).

Este índice permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de las especies acuáticas que habitan en el mismo; para esto a cada especie se le asigna un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10 (Tabla 1). Las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad del agua. La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de muestreo dará el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado (Arango, 2005). En la tabla 1 se muestra el puntaje asignado a cada familia de acuerdo a la

adaptación del índice BMWP que fue adaptado para Colombia por Roldán (2003) y en la tabla 2 el significado ambiental de los valores obtenidos para este índice.

Tabla 1. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/COL

FAMILIA	PUNTAJE
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae (Dugesiidae), Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: Roldan (2003).

Tabla 2. Clase, calidad y escala de valores y su respectivo significado ambiental del BMWP/COL.

CLASE	CALIDAD	BMWP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	> 150 101-120,	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-120	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Muy crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V		<15	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Zamora-Muñoz y Alba-Tercedor, (1996). En: Solano (2008).

5.3.2 Índice Average Score per Taxon (ASPT)

Se determina mediante la calificación promedio por taxón conocido como ASPT y también es un índice importante para la evaluación de la calidad del agua. Se calcula dividiendo el puntaje total del índice BMWP por el número de los taxones, tal como lo muestra la ecuación 1. Este índice expresa el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un lugar determinado. Los valores del índice ASPT varían desde 0 hasta 10 (Tabla 3), un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indica condiciones graves de contaminación (Arango, 2004).

$$\text{Ecuación 1: } ASPT = \frac{\text{puntuación BMWP}}{\text{numero total de taxa}}$$

Tabla 3. Escala de valores del índice ASPT y su calidad del agua.

ÍNDICE ASPT			
Clase	Significado	Valor	Color
1	Muy alto	>6,9	
2	Alto	6,1-6,9	
3	Moderadamente alto	5,3-6,1	
4	Bajo	4,5-5,3	
5	Muy bajo	<4,5	

Fuente: Arango (2004).

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

6.1 ÁREA DE ESTUDIO

La quebrada La Malpaso es la corriente de agua más importante del noroccidente de Medellín; posee la cuenca más grande con un área de 559.501 ha y el recorrido más extenso de dicha zona. Nace en el corregimiento San Cristóbal a 2.640 msnm. Al llegar a la zona urbana del municipio de Medellín pasa por la comuna 7, recorriendo numerosos barrios y bordeando el cerro el volador para desembocar en el río Medellín a 1455 m.s.n.m. (Figura 8).

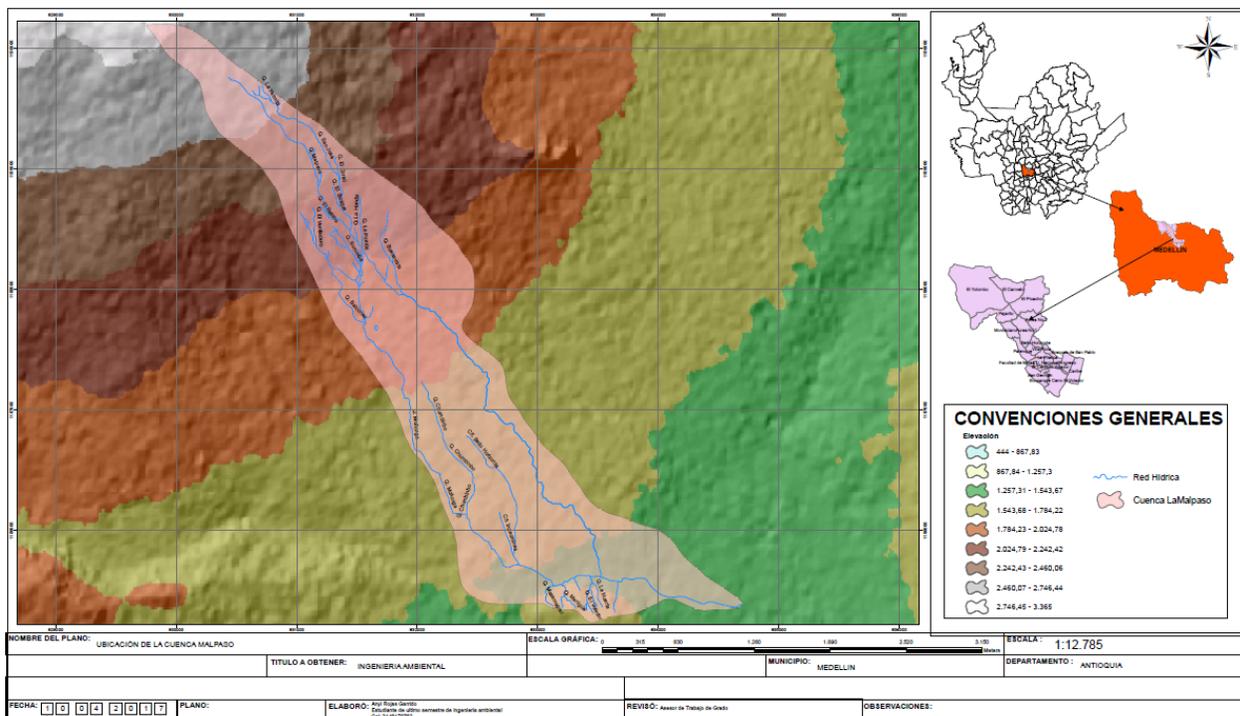


Figura 8. Área tributaria de quebrada La Malpaso. Municipio Medellín.
Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2015).

La cuenca de la quebrada La Malpaso posee forma alargada y se ensancha desde la parte media hasta su confluencia con el río Medellín. Comprende un área de 4,21km². Regionalmente la quebrada se ubica en una zona de relieve de montaña caracterizada por presentar una vertiente inclinada, larga y homogénea en casi toda su extensión. Presenta pendientes entre suaves y onduladas (15 y 55%) entre las que sobresale el cerro El Volador. Limita al norte con la subcuenca La Madera o La Chispa y La

Quintana, al sur con la subcuenca La Iguaná y al oriente con el río Medellín (Restrepo, 2005).

La quebrada La Malpaso comprende desde la cuchilla Las Baldías hasta la llanura aluvial del río Medellín. Se clasifica como cuenca mediana, tipo **C** entre 1 y 5 km², su área rural es de 1,28km² y su área urbana es de 3.15km². El número de orden establecido para la quebrada es 2 de acuerdo a la clasificación de Horton. La quebrada La Malpaso cuenta con un parque lineal conocido como “El Buen Paso” ubicado desde la parte alta de la ladera, en el barrio Aures N°1 (Restrepo, 2005). Los principales tributarios de la quebrada La Malpaso se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Principales tributarios de la quebrada La Malpaso.

Corriente principal	Tributarios
Quebrada La Malpaso	Q. El Ventiadero
	Q. Surumba
	Q. Balcones
	Q. Chumbinbo
	Q. Bello Horizonte
	Caño Ingeominas
	Q. Masamagrel
	Q. Manigua
	Q. El Volador
	Q. La Huerta
	Q. La Palmita
	Q. El Corral
	Q. El Bosques
	Q. La Honda
	Q. Buenavista
Q. El Retono	

Fuente: Cartografía Área Metropolitana 2015.

La Cuenca de la quebrada La Malpaso cuenta un plan de manejo ambiental elaborado por Restrepo (2005); sin embargo no fue posible acceder a este estudio. La Alcaldía de Medellín protege en la cuenca media de esta quebrada un área pequeña donde se encuentra la especie endémica de pasto: *Pennisetum cetaceum*. Hernández (2011), describe algunas problemáticas de la cuenca como vertimientos directos en un costado de la ladera y problemas de socavación y la apropiación por los propietarios de

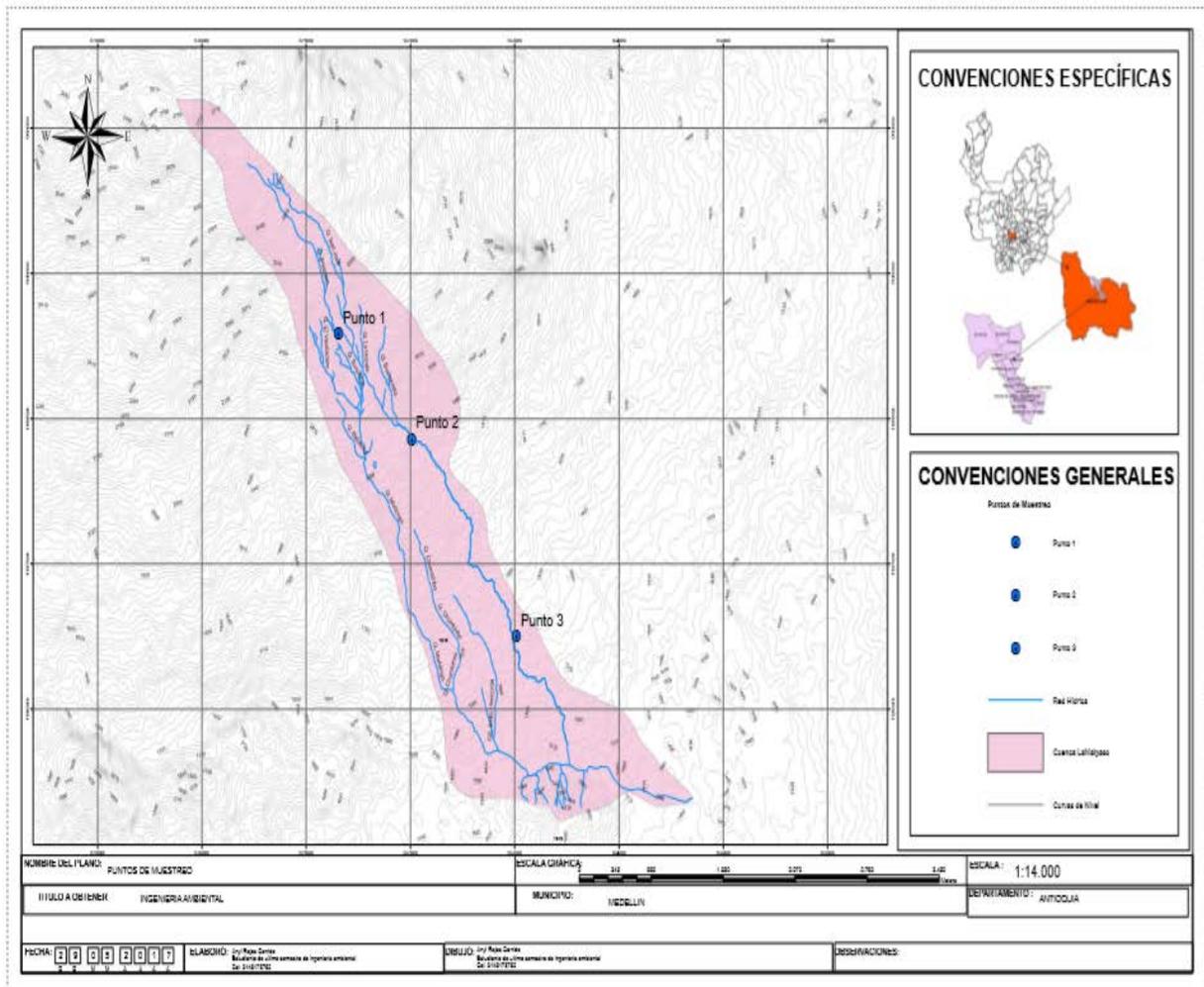
lavaderos de vehículos, de un afloramiento ubicado en la cuenca. En la parte baja, el cauce de la Quebrada La Malpaso fue modificado por una canalización a lo largo de la calle 80 y transversal 78A que la conduce hasta la Quebrada la Quintana por medio de una acequia (Resolución Metropolitana 001780 de septiembre de 2015). Adicionalmente, existe un permiso de ocupación de cauce otorgado a la empresa Solución Hidráulica, Geotécnica y Estructural, quien realiza aprovechamiento forestal aislado en la zona de influencia de la quebrada (Resolución Metropolitana 090659 de mayo de 2013).

6.2 TRABAJO DE CAMPO

Para la determinación de la calidad del agua de la quebrada La Malpaso se definieron tres sitios de muestreos, los cuales fueron visitados en abril y mayo del 2017. Estas estaciones se seleccionaron por sus condiciones específicas con respecto a las actividades antrópicas, la proximidad a las zonas pobladas y las modificaciones del cauce que puedan producir posibles variaciones en la calidad del agua y por ende en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

La Estación 1 denominada Cuenca Alta, se localizó en las coordenadas N 1.188.583 y W 831.309 a 2166 m.s.n.m., aguas arriba del corregimiento san Cristóbal. Se caracteriza por ser de alta pendiente y presentar grandes formaciones rocosas. En esta zona se evidencia actividad ganadera. Lo que puede generar contaminación del recurso hídrico por materia orgánica. La presencia de rocas de gran tamaño en el cauce de la quebrada genera represamientos en unas zonas y turbulencia en otras, lo que podría incidir en los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Posee amplia cobertura arbórea en ambas márgenes de la quebrada, lo que hace difícil el acceso (Figuras 9 y 10).

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA MALPASO, MEDELLÍN - ANTIOQUIA A TRAVÉS DE ÍNDICES BIÓTICOS Y VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS
Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria



Fuente: Área Metropolitana valle de aburra (2015).

Figura 9. Mapa con la ubicación de las estaciones de muestreo en la quebrada La Malpaso



Figura 10. Foto de la estación 1, cuenca alta de la quebrada La Malpaso.

La Estación 2 denominada Cuenca Media se localizó en las coordenadas N 1.187.861 y W 832.010 a 1881m.s.n.m., aproximadamente 10 km aguas abajo de la anterior, entre los barrios Aures N°1 y Aures N°2. La quebrada en este sitio de muestreo no tiene gran profundidad, pero se observan grandes rocas en el cauce y una estructura de caída hidráulica tipo escalón-pozo (Figuras 9 y 11).

La cuenca media se caracteriza por ser un lugar con un gran número de asentamientos urbanos y lavaderos de vehículos. El sitio presenta en las orillas una formación rocosa y una variedad de plantas como el pasto *Pennisetum* (*Pennisetum cetaceum*), el cual se encuentra protegido por la Alcaldía de Medellín. En la zona se desarrollan actividades domésticas diarias, que generan grandes vertimientos, así como residuos sólidos que se depositan directamente al cauce de la quebrada. Estas descargas inciden sobre la tensión superficial del agua debido a la adición de detergentes y sustancias químicas, lo que altera la composición de las biotas acuáticas.



Figura 11. Foto de la estación 2, cuenca media de la quebrada La Malpaso.

Finalmente, la estación 3 denominada cuenca baja, se ubicó entre las coordenadas N 1.186.503 y W 833.014 a 1623 m.s.n.m. en un sitio cercano de la carrera 80 donde se ubica una obra con disipador de energía. Esta zona se caracteriza por su baja pendiente y sustrato con formación rocosa. Además, el establecimiento de unidades residenciales y comerciales en ambas márgenes de la quebrada, al igual que la estación 2, genera vertimientos de aguas residuales domésticas y comerciales, así como aglomeración de grandes cantidades de residuos sólidos que pudieron haber sido arrastrados por las lluvias predominantes de los días de muestreo.

La quebrada en este sitio presenta una velocidad alta y gran transporte de sedimentos. A pesar de la obra de disipación de energía, se evidencia fuerte socavación en el lecho de la quebrada (Figuras 9 y 12).



Figura 12. Foto de la estación 3, cuenca baja de la quebrada La Malpaso.

6.2.1 Variables hidráulicas

El aforo del caudal de la quebrada se realizó por el método área - velocidad. Para esto, en cada estación, se seleccionó un tramo recto y uniforme de la quebrada, sin piedras grandes ni troncos de árboles, en el que el agua fluyera libremente y sin turbulencias, tal como lo recomienda (Valencia, 2014). En este tramo se ubicó una sección transversal a la cual se le calculó el área a través de su partición en un número determinado de figuras geométricas conocidas que permitieron calcular fácilmente el área mojada en cada estación (Figura 13). Posteriormente, se midió la velocidad superficial en cada estación 3 veces, empleando un flotador y determinando el tiempo con un cronómetro. Finalmente, el caudal de cada estación se calculó como la multiplicación del área transversal por el 80% del promedio de la velocidad registrada. Con este método se calcula las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos (flotadores) que se puedan visualizar y cuya recuperación no sea necesaria (Rodríguez, 2011).

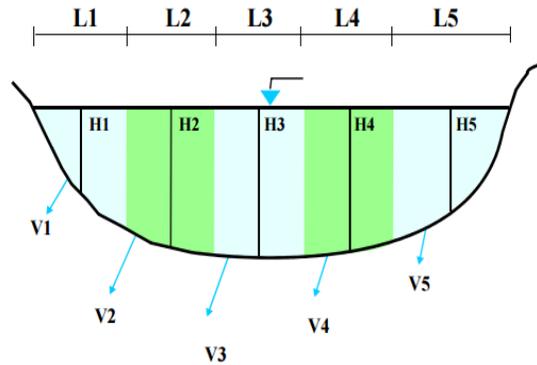


Figura 13. División de la sección transversal del cauce para el cálculo del caudal
Fuente: A.M.V.A (2010).

6.2.2 Variables fisicoquímicas

En cada estación de muestreo se midieron inicialmente las coordenadas geográficas empleando un GPS marca Garmin. Posteriormente, se midieron *in situ* las variables fisicoquímicas: temperatura ambiente, temperatura del agua, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad eléctrica y pH. Para esto se emplearon dos equipos electrónicos marca WTW, un multiparamétrico y un conductímetro, siguiendo las recomendaciones establecidas en los Métodos estandarizados para el análisis de aguas y aguas residuales (APHA-AWWA-WEF, 2005). Todas las mediciones se efectuaron por duplicado, con el fin de reducir el error experimental.

6.2.3 Variables biológicas

Se realizaron colectas cualitativas de macroinvertebrados utilizando una red de pantalla (Anexo 1). El procedimiento consistió en hacer barridos en el fondo y márgenes de la quebrada, para la captura de los macroinvertebrados acuáticos adheridos a tallos, hojas, raíces de las plantas y rocas. Con la ayuda de pinzas entomológicas los especímenes recolectados se depositaron en frascos plásticos debidamente rotulados. Inmediatamente las muestras fueron preservadas con alcohol al 70 %, para evitar que se degradaran sus estructuras. Finalmente, se procedió a identificar los organismos en el laboratorio de biología del Tecnológico de Antioquia-Institución Universitaria, con ayuda de un estereomicroscopio. Para la identificación hasta nivel de género se emplearon las claves taxonómicas publicadas por Roldán (1988, 2003).

6.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con los resultados de las variables fisicoquímicas se elaboró una base de datos en formato Excel. A estas variables se les determinaron los principales estadígrafos de tendencia central (Tamaño de la muestra, Media aritmética, Mediana) y de dispersión (Desviación estándar, Varianza y Coeficiente de variación).

Por su parte, con los resultados de la identificación y el conteo de macroinvertebrados acuáticos, se determinaron los índices BMWP/COL y ASPT, con los que se evaluó la calidad del agua. Posteriormente, se evaluaron las posibles correlaciones entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas utilizando el coeficiente de correlación de Spearman. Para el análisis estadístico de los datos se empleó el software SPSS versión 23.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

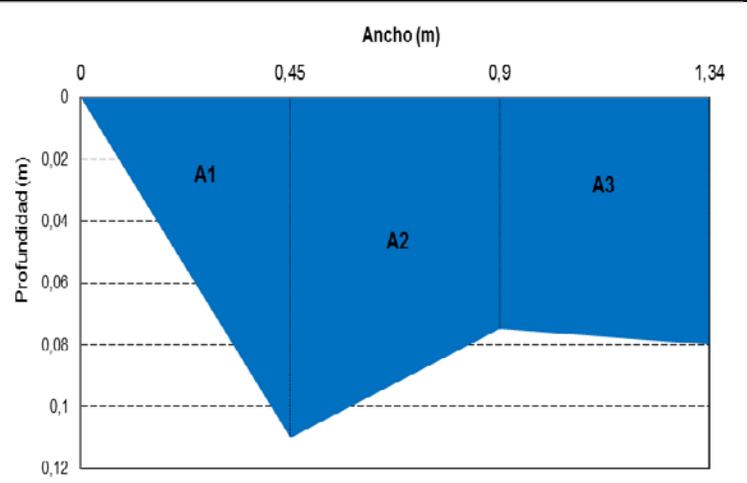
7.1 VARIABLES HIDRÁULICAS

En la tabla 5, se consignan los resultados de la medición de caudales en las tres estaciones de la quebrada La Malpaso. Se hace evidente el aumento del caudal y del área transversal del cauce a medida que se recorre la cuenca aguas abajo. Este aumento en la cuenca baja, también podría atribuirse a los fenómenos de lluvia y la poca cobertura vegetal que presenta la zona.

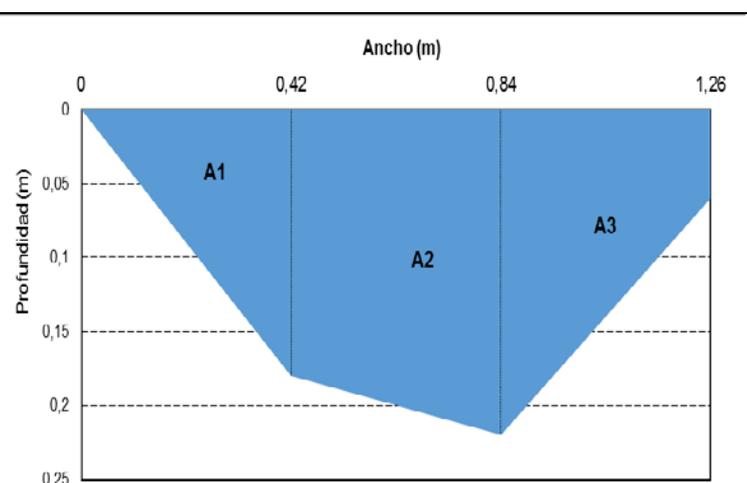
El caudal y la velocidad de la corriente son un factor determinante sobre la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos, ya que estas pueden determinar la permanencia o no de las especies en un sitio determinado. Lamentablemente, por error en la medición del caudal en el muestreo de abril, no fue posible relacionar los cambios en las variables físicoquímicas o biológicas con modificaciones en el caudal o velocidad entre muestreos.

Tabla 5. Variación de la velocidad del cauce en la parte alta, media y baja de la cuenca La Malpaso.

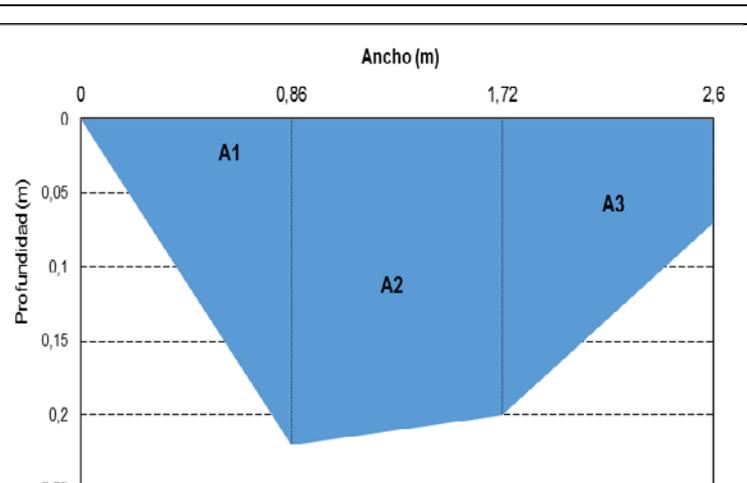
PARTE ALTA				
Punto	1	2	3	4
Distancia (m)	0	0,45	0,9	1,34
Profundidad (m)	0	0,11	0,075	0,08
Longitud del tramo (m)	0	2	2	2
Tiempo (s)	0	16	16	16
Velocidad (m/s)		0,125	0,125	0,125
Áreas (m ²)	0,0000	0,0248	0,0416	0,0341
ID		A1	A2	A3
Caudal (m ³ /s)	0,0000	0,0031	0,0052	0,0043
Caudal total (m ³ /s)	0,0126			
Caudal total (L/s)	12,56			



PARTE MEDIA				
Punto	1	2	3	4
Distancia (m)	0	0,42	0,84	1,26
Profundidad (m)	0	0,18	0,22	0,06
Longitud del tramo (m)	0	2	2	2
Tiempo (s)	0	17	17	17
Velocidad (m/s)		0,118	0,118	0,118
Áreas (m ²)	0,0000	0,0378	0,0840	0,0588
ID		A1	A2	A3
Caudal (m ³ /s)	0,0000	0,0044	0,0099	0,0069
Caudal total (m ³ /s)	0,0212			
Caudal total (L/s)	21,25			



PARTE BAJA				
Punto	1	2	3	4
Distancia (m)	0	0,86	1,72	2,6
Profundidad (m)	0	0,22	0,2	0,07
Longitud del tramo (m)	0	2	2	2
Tiempo (s)	0	12	12	12
Velocidad (m/s)		0,167	0,167	0,167
Áreas (m ²)	0,0000	0,0946	0,1806	0,1188
ID		A1	A2	A3
Caudal (m ³ /s)	0,0000	0,0158	0,0301	0,0198
Caudal total (m ³ /s)	0,0657			
Caudal total (L/s)	65,67			



7.2 VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS

Tabla 7. Variables fisicoquímicas Las tablas 6 y 7 presentan los datos medidos en campo, así como el valor promedio obtenido para cada variable de estudio. En términos generales se observa que las mediciones los dos datos medidos para cada variable fueron consistentes y similares, lo que permitió realizar el análisis de los datos promediados.

químicas medidas en la quebrada La Malpaso en abril de 2017

Variable	Unidad	Cuenca alta			Cuenca media			Cuenca baja		
		Dato1	Dato2	Prom.	Dato1	Dato2	Prom.	Dato1	Dato 2	Prom.
T° ambiente	°C	22.1	22.1	22.1	28.5	28.6	28.5	22.2	22.2	22.2
T° del agua	°C	16.6	16.6	16.6	20.0	20.3	20.1	22.6	22.8	22.7
Presión atmosférica	mbar	154.6	156.0	155.3	150.8	160.3	150.5	116.1	128.7	122.4
Oxígeno disuelto	mg/L	7.2	7.2	7.2	6.8	6.9	6.8	4.8	5.2	5.0
Conductividad eléctrica	µS/cm	112.1	111.7	111.9	213.0	214.0	213.5	434	434	434
pH	Unidades de pH	8.2	7.6	7.9	7.4	7.6	7.5	7.7	7.7	7.7

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 6. Variables fisicoquímicas medidas en la quebrada La Malpaso en mayo de 2017

Variable	Unidad	Cuenca alta			Cuenca media			Cuenca baja		
		Dato1	Dato2	Prom.	Dato1	Dato2	Prom.	Dato1	Dato 2	Prom.
T° ambiente	°C	22.0	22.0	22.0	26.9	26.7	26.8	24.7	24.3	24.5
T° del agua	°C	17.0	16.4	16.7	20.9	20.1	20.5	21.0	20.7	20.8
Presión atmosférica	mbar	153.1	156.2	154.6	150.4	160.0	155.2	117.2	115.2	116.2
Oxígeno disuelto	mg/L	7.3	7.2	7.25	5.6	6.6	6.1	4.2	4.4	4.3
Conductividad eléctrica	µS/cm	166.8	118.7	142.7	216	215	215.5	268.0	267.0	267.5
pH	Unidades de pH	7.7	7.8	7.75	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7

Las tabla 6 resume los estadísticos de tendencia central y de dispersión de las variables fisicoquímicas medidas en las tres estaciones y durante los dos muestreos. Como puede observarse, a excepción de la conductividad eléctrica, las variables medidas presentaron poca variación durante el periodo de muestreo, con coeficientes de variación inferiores al 20% entre datos.

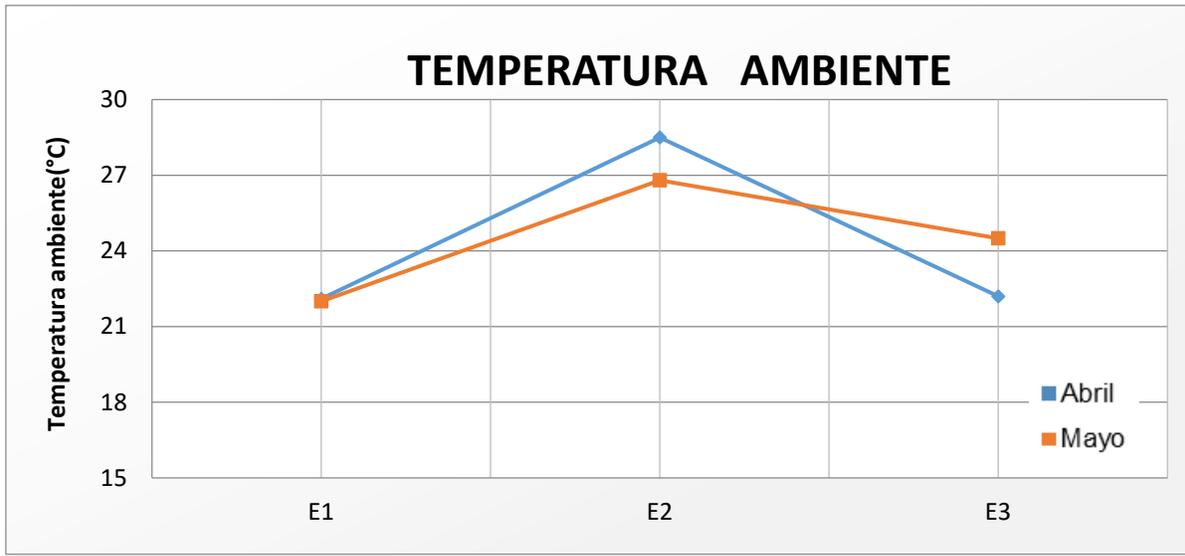
Tabla 7. Estadísticos de tendencia central y de dispersión de las variables fisicoquímicas medidas en la quebrada La Malpaso en el abril y mayo de 2017

Variable	Tamaño muestral	Media Aritmética	Mediana	Desviación Estándar	Varianza	Coefficiente de variación (%)
Temperatura Ambiente (°C)	12	24.36	23.25	2.66	7.08	10.9%
Temperatura del Agua (°C)	12	19.58	20.2	2.34	5.45	11.9%
Presión Atmosférica (mbar)	12	143.22	151.95	18.22	331.79	12.7%
Oxígeno Disuelto (mg/L)	12	6.12	6.7	1.19	1.43	19.5%
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	12	230.86	214.5	109.25	11930.00	47.3%
pH (unidades de pH)	12	7.69	7.7	0.19	0.04	2.4%

Fuente: Elaboración propia (2017).

7.2.1 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente varió entre 22.1°C y 28.5°C, mostrando temperaturas similares en ambos periodos de muestreo. Las temperaturas más altas se registraron en la cuenca media, probablemente porque fueron medidas entre las 12:00 m y las 2:00 pm. Estas temperaturas son normales en la zona, lo que no representa un agente impactante para las comunidades acuáticas de la quebrada (Gráfica 1).



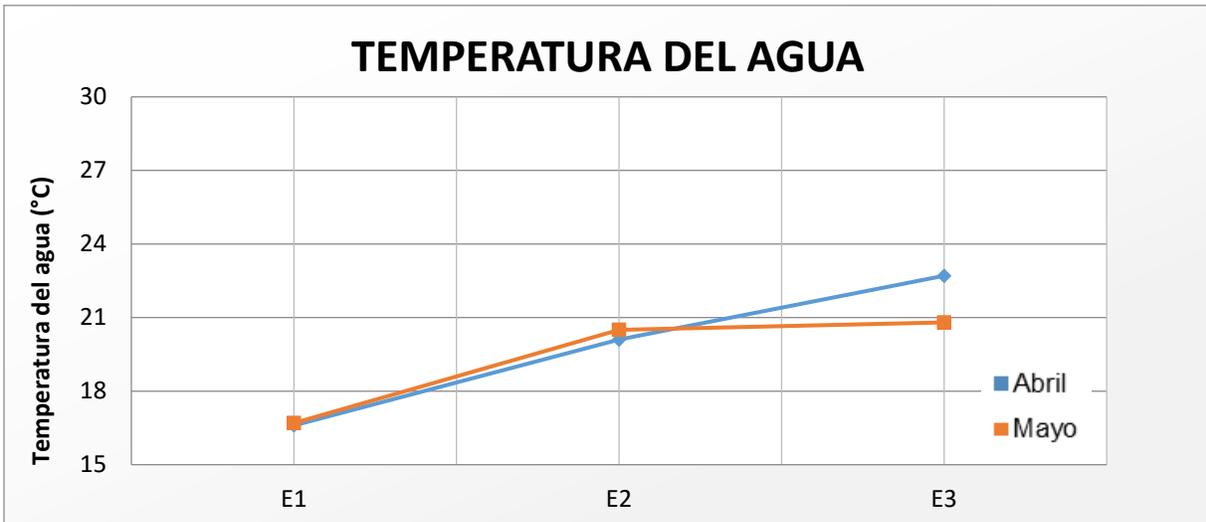
Gráfica 1. Variación de la temperatura ambiente en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.

Fuente: Elaboración propia (2017).

7.2.2 Temperatura del agua

Como era de esperarse, en la parte alta de la cuenca de la quebrada La Malpaso se registraron temperaturas inferiores (16.6°C) que en las cuencas media y baja (20°C). Esto se debe principalmente a la diferencia en la hora en que se realizaron las mediciones, pues la primera estación se monitoreó en la mañana, mientras que aguas abajo se trabajó después del mediodía (Gráfica 2).

Uno de los parámetros más importante para supervivencia de los macroinvertebrados es la temperatura de esta depende su presencia en ciertos habitat, su migración e incluso su muerte. Adicionalmente, la difusión de gases como el oxígeno, depende de este parámetro. Los cambios bruscos en la temperatura suelen ser causados por vertidos industriales, agrícolas o urbanos. Una elevada temperatura agrava los problemas de falta de oxigenación (Stevens Institute of Technology, 2008).en (Braham, 2010).



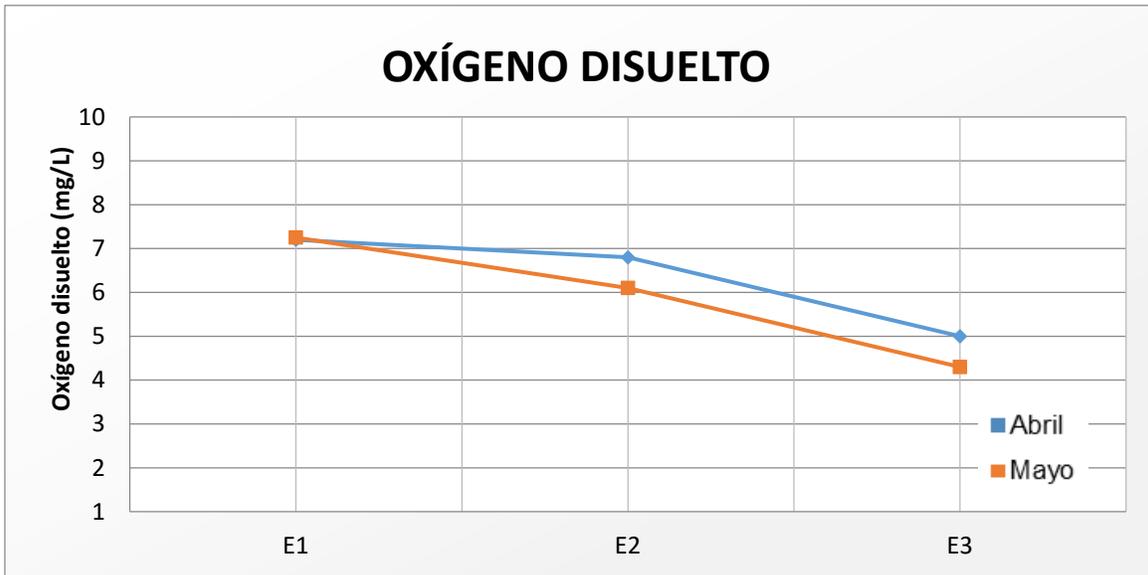
Gráfica 2. Variación de la temperatura del agua en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.

Fuente: Elaboración propia (2017).

7.2.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto disminuyó a medida que se desciende en altitud. En la cuenca alta las concentraciones de oxígeno disuelto son altas (7.2 y 7.25 mg/L), debido a que la gran pendiente ocasiona altas velocidades y turbulencia que favorecen la aireación del cuerpo de agua. En la cuenca media disminuye levemente el oxígeno a valores de 6.1 y 6.8 mg/L esto puede atribuirse a la demanda de oxígeno para la degradación de la materia orgánica presente o a que las mayores temperaturas registradas en esta estación pueden reducir la solubilidad de este gas en el agua (Gráfica 3).

En la cuenca baja se observa una reducción considerable del oxígeno disuelto hasta 4.3 y 5 mg/L, atribuible a la contaminación por materia orgánica. Este valor bajo puede alterar el ciclo de vida de los organismos acuáticos, lo que podría explicar la disminución de taxa en la cuenca baja. Cabe mencionar que cuando los niveles de oxígeno disuelto del agua estas por debajo de 5mg/l la fauna acuática puede reducirse considerablemente (Resolución 1096 del 2000) en (Torrentes, 2015)



Gráfica 3. Variación del oxígeno disuelto en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.

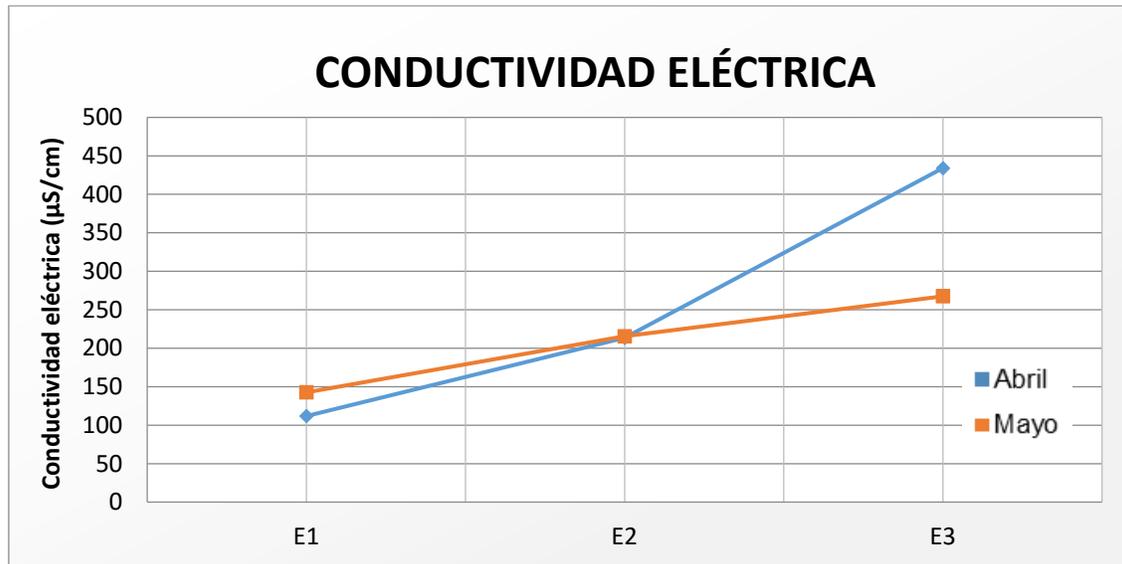
Fuente: Elaboración propia (2017).

7.2.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica presentó valores muy diferentes en los tres sitios de monitoreo, con una tendencia a aumentar desde la cuenca alta hacia la cuenca baja de la quebrada. En la primera estación la conductividad varió entre 111.9 y 142.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica el ingreso de sustancias disueltas en la cuenca alta de la quebrada probablemente debido a las actividades ganaderas. En la cuenca media, este parámetro aumentó a 213.5 y 215.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, asociado principalmente al ingreso de sustancias disueltas a través de las descargas de aguas residuales (Gráfica 4). El aumento de más del 50% en la conductividad eléctrica de la cuenca media, indica un fuerte ingreso de sólidos disueltos.

En la cuenca baja, la conductividad eléctrica continuó ascendiendo, probablemente asociado al aumento en las actividades comerciales en la zona que generan sustancias como aceites, detergentes y combustibles, que ingresan directamente al cuerpo de agua. Esta variación fue más notable en el primer monitoreo, donde se obtuvo un valor de 434 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en mayo de 2017 su valor fue 267.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto puede atribuirse a que en este último muestreo se presentaron fuertes lluvias al momento de la toma de muestras lo que diluye las sustancias en el agua y con esto, reduce la conductividad eléctrica. Es importante mencionar que la conductividad eléctrica puede

variar entre 50 y 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aguas para el consumo humano (Resolución 2115 de 2007) lo que indica que los valores arrojados de las muestras de la quebrada La Malpaso son aceptables y probablemente no hayan afectado la abundancia de los macroinvertebrados colectados.

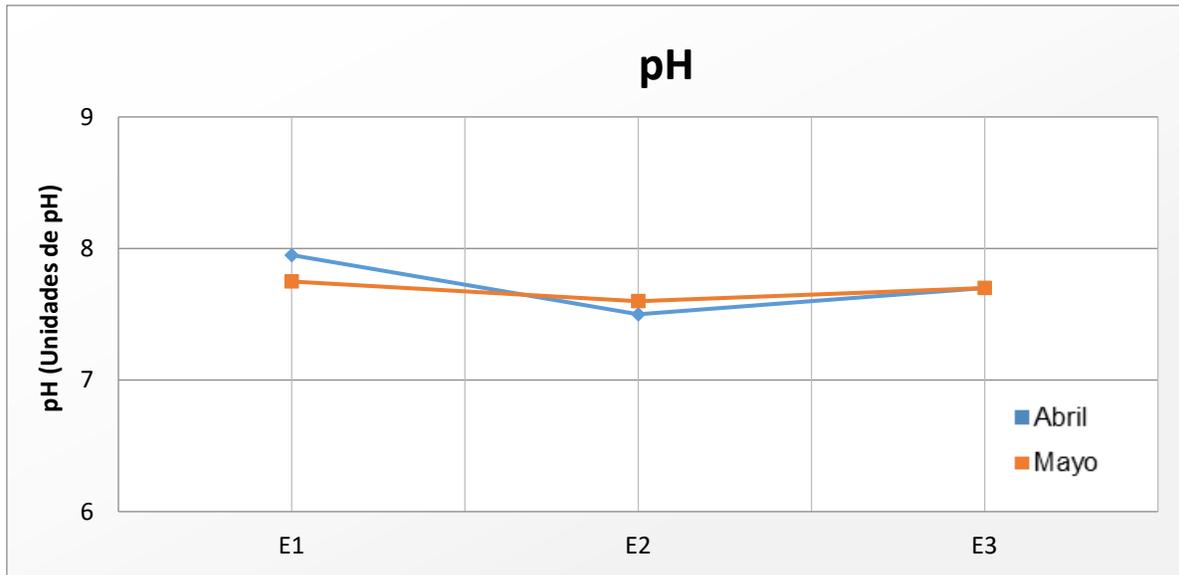


Gráfica 4. Variación de la conductividad eléctrica en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.

Fuente: Elaboración propia (2017).

7.2.5 pH

De acuerdo con la Gráfica 5, el pH permaneció casi constante y cercanos a la neutralidad (7.5 a 7.9 unidades de pH) en ambos monitoreos y en las tres estaciones de estudio. Es necesario para el ecosistema que el pH se mantenga neutro ya que un alto o bajo pH reduce de manera drástica la supervivencia de los microorganismos. Esto indica que en la zona de estudio, los valores de pH registrados permitirían el desarrollo normal de gran cantidad de organismos ya que son valores óptimos para el desarrollo de comunidades de macroinvertebrados acuáticos.



Gráfica 5. Variación del pH en la quebrada La Malpaso entre abril y mayo de 2017.

Fuente: Elaboración propia (2017).

7.3 VARIABLES BIOLÓGICAS

La Tabla 7 muestra parte del registro fotográfico y características de bioindicación para cada uno de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos más representativos, que fueron colectados en los dos muestreos y las tres estaciones de estudio en la quebrada La Malpaso. La mayoría de estos organismos son indicadores de aguas con algún grado de contaminación y con condiciones eutróficas.

Tabla 8. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la quebrada La Malpaso en abril y mayo de 2017.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	FOTO	BIOINDICACIÓN
Coleóptera	Ptilodactylidae			Vive en aguas loticas, sobre arena, cascajo y residuos vegetales (Roldán, 2003).
Trichóptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>		Aguas de buena calidad a ligeramente contaminados (Caicedo et al., 2004, Aguirre & Caicedo, 2013) en (Toro, 2015).
Gastrópoda	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>		Vive prácticamente en todo tipo de agua y resiste ciertos grados de contaminación. Esta especie se centra distribuida ampliamente en toda Suramérica (Roldan, 1988).
Díptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>		Característicos de aguas limpias, que pueden presentarse algunos en aguas poco contaminadas Roldan 2003 en (González, 2011).

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA MALPASO, MEDELLÍN - ANTIOQUIA A TRAVÉS DE ÍNDICES BIÓTICOS Y VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS
Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Haplotaxida	Tubificidae	<i>Limnodrilus</i>		La mayoría viven, sobre fondos lodosos con abundante materia orgánica en descomposición. Son indicadores de aguas altamente contaminadas (Roldan, 1988).
Isópoda	Ligiidae	<i>Sin identificar</i>		Viven en aguas corrientes y remansos de quebradas, asociado a materia orgánica en descomposición, donde se forman densas poblaciones
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>		Son indicadores de aguas oxigenadas y pueden resistir ciertos grados de contaminación (Roldan, 1988).
Díptera	Psychodidae	<i>Clognia</i>		Aguas lenticas, contaminadas y con materia orgánica en descomposición (Roldan, 1988).

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA MALPASO, MEDELLÍN - ANTIOQUIA A TRAVÉS DE ÍNDICES BIÓTICOS Y VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS
Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Glossphoniiformes	Glossphoniidae	<i>Hellobdella</i>		Abundante materia orgánica en descomposición. Indicadores de aguas contaminadas (Roldan, 1988)
Gastrópoda	Physidae	<i>Physa</i>		Indicador de ambientes contaminados (Liévano & Ospina, 2007) en (Toro, 2015).
Trichóptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>		Aguas corrientes con mucha vegetación; toleran aguas con un poco de contaminación. (Pérez, 1988).
Díptera	Chironominae	<i>Chironomus</i>		Aguas loticas y lenticas, fango arena y con abundante materia orgánica en descomposición. (Pérez, 1988).

Fuente: Elaboración propia (2017).

Durante los dos muestreos se colectaron en total 174 especies, pertenecientes a 8 órdenes, 11 familias y 12 géneros. El género más abundante fue *Smicridea* con 28 individuos, seguido de *Dugesia* con 25 individuos y *Simulium* con 22 individuos en total.

La mayoría de los órdenes estuvieron representados por una sola familia y un solo género, a excepción de díptera con tres y gastrópoda con dos familias y géneros, respectivamente. Adicionalmente, ningún género fue encontrado en las tres estaciones, aunque si en ambos muestreos (Tabla 8).

Tabla 9. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la quebrada La Malpaso en abril y mayo de 2017.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ABRIL 2017			MAYO 2017		
			E1	E2	E3	E1	E2	E3
Coleóptera	Ptilodactylidae	<i>Sin identificar</i>	3	1		6	1	
Glossophoniiformes	Glossophoniidae	<i>Hellobdella</i>		3			2	
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>		3		16	6	
Trichóptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>		4			9	6
		<i>Smicridea</i>		14	7		7	
Gastrópoda	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>	18	3				
	Physidae	<i>Physa</i>		4		12	2	
Díptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	2	1		13	6	
	Psychodidae	<i>Clognia</i>			2			4
	Chironominae	<i>Chironomus</i>						6
Haplotaxida	Tubificidae	<i>Limnodrilus</i>			8			1
Isópoda	Liidae	<i>Sin identificar</i>						5
Subtotal			22	33	17	47	33	22
Número total de individuos			174					

Fuente: Elaboración propia (2017).

El orden más abundante en la quebrada La Malpaso fue trichoptera, representado únicamente por la familia Hydropsychidae. Estos organismos se distribuyeron desde los 1881 m.s.n.m. a los 11623 m.s.n.m. Sin embargo, la mayor abundancia se presentó en la estación E2, en zonas donde la corriente presentó cierto aumento de oxigenación del agua. Según Roldan (1988), Hydropsychidae viven en aguas con poca a moderada contaminación y su distribución está influenciada por rangos altitudinales que afectan directamente la temperatura y la solubilidad de oxígeno disuelto. La presencia de esta familia de macroinvertebrados indicaría entonces mayor grado de contaminación en las estaciones E2 y E3 que en E1 (Tabla 8).

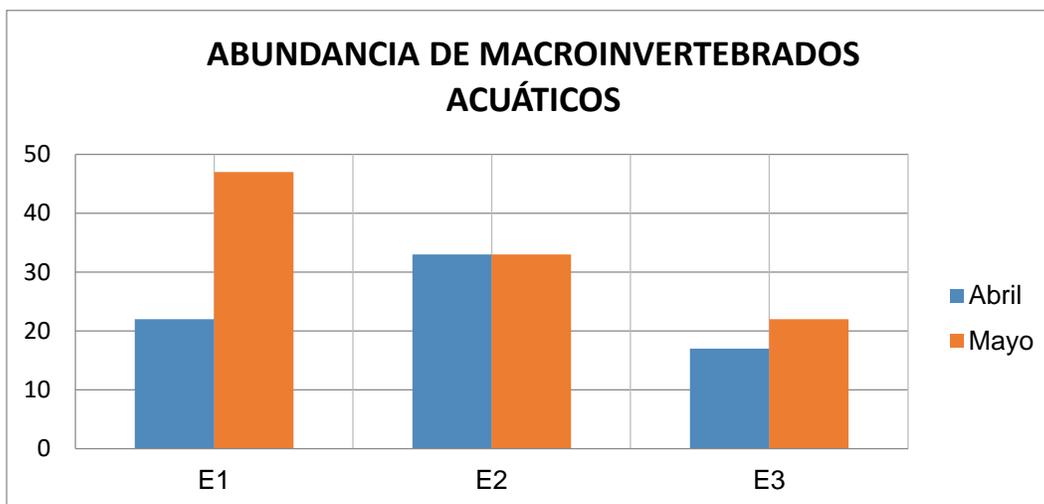
Las familias de macroinvertebrados Planariidae, Tubificidae, Glossosomatidae, Hydropsychidae, Chironomidae y Simuliidae colectadas en la quebrada La Malpaso son concordantes a las reportadas por (Gonzalez & Caicedo, 2009) en la quebrada La

Ayurá. Sin embargo, en esta última, el número de individuos colectados fue muy superior (1655 individuos) a los de la quebrada La Malpaso, probablemente debido a que durante el muestreo se emplearon métodos tanto cualitativos como cuantitativos.

Como consecuencia del aumento en la contaminación de la quebrada, se observó que la abundancia decreció a medida que se descendió desde la cuenca alta (E1) hasta la cuenca baja (E3). La estación E1 fue la que registró mayor número de individuos, 47 en mayo, mientras que en la estación E3 se colectaron 17 y 22 organismos en abril y mayo, respectivamente (Tabla 8). El orden más abundante de organismos colectados en abril fue el gástrópoda con 25 organismos, principalmente del género *Lymnaea*, indicadores de aguas con cierto grado de contaminación (Roldan 2003 & Toro 2015). Seguido del orden trichoptera representado por el género *Smicridea*, indicador de aguas con poca y ligera contaminación (Roldan, 1988).

La abundancia de organismos fue menor en el mes abril (72 individuos) que en mayo (102 individuos). Esto puede atribuirse a que las mayores precipitaciones registradas durante el segundo muestreo, aumentaron el caudal y la velocidad del flujo de la quebrada lo que causó el arrastre de organismos desde aguas arriba (Gráfica 6). Adicionalmente, también podría considerarse que las mayores conductividades eléctricas de abril (con valores de hasta 434 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pudieron representar el ingreso de sustancias disueltas que alteraron significativamente la calidad del agua y con esto la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Adicionalmente en el mes mayo se presentó la mayor abundancia de especies (Gráfica 6). Esto pudo deberse al tiempo de colecta que fue más prolongado. En la estación E3 se presentó menor abundancia de individuos, probablemente porque durante el muestreo se presentó una fuerte precipitación que arrastró gran parte de los organismos.



Gráfica 6. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos la quebrada La Malpaso en el año 2017

Fuente: Elaboración propia (2017).

La presencia de las familias Simuliidae y Ptilodactylidae en la estación (E1) probablemente se deba a que dichos organismos pueden ocupar el mismo hábitat y que tienen la capacidad de tolerar las mismas condiciones ambientales. Ambos se encuentran en ambientes con velocidad baja y sobre arena y suelen fijarse a la vegetación. Estas familias son indicadoras de aguas limpias y poco contaminadas (Roldan & González (2007).

En la estación (E2) en ambos muestreos se presentó mayor abundancia (33 individuos) y mayor diversidad (6 órdenes: coleóptera, glossphoniiformes, tricládida, gastrópoda y díptera). La diversidad de los macroinvertebrados en la cuenca media (E2) pudo deberse a que en este sitio se presentan menores velocidades (Tabla 5) y que existen diferentes tipos de sustratos, lo que permite que muchas especies puedan adaptarse y reproducirse con facilidad (Álvarez, 2005).

Por su parte, los géneros *Limnodrilus*, *Chironomus*, *Clognia* colectados en la cuenca baja (E3) están asociadas a aguas contaminadas con abundante materia orgánica en descomposición (Roldán, 1998), lo que indicaría mayor contaminación en esta zona de la quebrada La Malpaso.

De acuerdo con lo anterior, se podría deducir que las características del hábitat acuático es un factor muy importante en cuanto a la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados ya que donde el sustrato es semejante y su caudal fue mayor (E1 y

E3), la diversidad de especies fue menor. Aunque en la cuenca baja (E3), esto también debe atribuirse a los mayores niveles de contaminación de la quebrada.

La supervivencia, abundancia y distribución de las especies de macroinvertebrados en la quebrada La Malpaso es el resultado de la intervención antrópica y las variables físicoquímicas del agua. En las estaciones E1 y E2 hubo mayor abundancia ya que en estos medios acuáticos las características ecológicas son poco fluctuantes y cuando las condiciones ecológicas varían muy poco, estos organismos pueden adaptarse a ciertos hábitats (Olaya, 2019).

En la tabla 9 se puede apreciar la riqueza de especies de macroinvertebrados en la quebrada La Malpaso. El mes con más especies colectadas fue el mes de mayo con 11 especies. Adicionalmente, durante ambos muestreos, la mayor riqueza se presentó en la estación E2. La única familia que no comparte estaciones es Ligiidae ya que estas requieren de hábitats especiales, correspondientes a aguas corrientes y remansos de quebradas, asociado a materia orgánica en descomposición, donde pueden formar densas poblaciones.

Tabla 10. Riqueza de macroinvertebrados acuáticos en las tres estaciones de muestreo en abril y mayo de 2017 en la quebrada La Malpaso.

FECHAS DE MONITOREO			ABRIL 2017			MAYO 2017		
ORDEN	FAMILIA	GENERO	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Coleóptera	Ptilodactylidae	<i>Sin identificar</i>	x	x		x	x	
Glossphoniiformes	Glossphoniidae	<i>Hellobdella</i>		x			x	
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>		x		x	x	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>		x			x	x
		<i>Smicridea</i>		x	x		x	
Gastrópoda	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>	x	x				
	Physidae	<i>Physa</i>				x	x	
Díptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	x			x	x	
	Psychodidae	<i>Clognia</i>			x			x
	Chironominae	<i>Chironomus</i>						x
Haplotaxida	Tubificidae	<i>Limnodrilus</i>			x			x
Isópoda	Ligiidae	<i>Sin identificar</i>						x
Riqueza			3	6	3	4	7	5

Fuete: Elaboración propia (2017).

La presencia de organismos de las familias Chironominae y Tubificidae en la cuenca baja de las quebradas que reciben altos niveles de contaminación por materia orgánica, también fue reportada por González & Caicedo (2009) en su investigación en la quebrada La Ayurá.

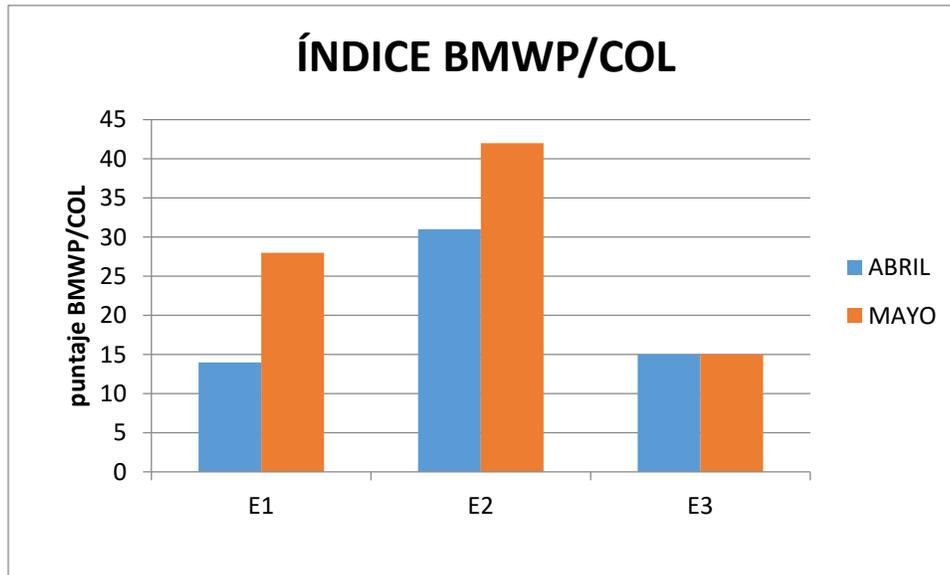
7.3.1 Índice BMWP/COL

La tabla 10 y el gráfico 7 muestran los resultados obtenidos del índice BMWP/COL Roldan (2003) para la quebrada La Malpaso por estación y periodo de muestreo. Adicionalmente, la tabla 12, muestra la clasificación de calidad del agua correspondiente al valor del índice encontrado. El índice BMWP/COL de la quebrada varió entre 31 y 14 (Tabla 10), correspondientes a aguas de moderada a fuertemente contaminadas, respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Puntaje asignado a las familias de macroinvertebrados acuáticos para el cálculo del índice BMWP/COL de la quebrada La Malpaso.

FAMILIA	PUNTAJE TOLERANCIA					
	ABRIL 2017			MAYO 2017		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Ptilodactylidae	10	10	0	10	10	0
Glossphoniidae	0	3	0	0	3	0
Planariidae	0	7	0	7	7	0
Hydropsychidae	0	7	7	0	7	7
Lymnaeidae	4	4	0	0	0	0
Physidae	0	0	0	3	0	0
Simuliidae	8	0	0	8	8	0
Psychodidae	0	0	7	0	7	7
Chironominae	0	0	0	0	0	2
Tubificidae	0	0	1	0	0	1
Ligiidae	0	0	0	0	0	0
Puntaje BMWP/COL	14	31	15	28	42	17

Fuente Elaboración propia (2017).



Gráfica 7. Índice BMWP/COL de la quebrada La Malpaso en el año 2017

Fuente Elaboración propia (2017).

En términos generales el índice BMWP fue menor en abril que en mayo y la tendencia que presentó entre estaciones fue la misma. En abril de 2017 se obtuvieron valores más bajos en las estaciones E1 y E3 (14 y 17 puntos, respectivamente) indicando una calidad de agua muy crítica o fuertemente contaminada. Por su parte, la calidad del agua mejoró levemente en la estación E2, con un puntaje de 31 y aguas con condiciones de calidad críticas o muy contaminadas.

De forma similar, en mayo de 2017 la estación E2 evidenció mejor calidad del agua con moderada contaminación (BMWP/COL de 42). Mientras que las estaciones E1 y E3, con índices BMWP/COL de 28 y 17, se clasificaron como aguas muy contaminadas (Tabla 11). Es importante resaltar que en el muestreo de mayo hubo lluvia durante los 7 días previos e incluso el día de la toma de muestras, lo que pudo afectar los resultados obtenidos.

Tabla 12. Clasificación del agua de la quebrada La Malpaso obtenida a partir del índice BMW/COL

MUESTREO	ESTACIÓN	CALIDAD	VALOR DEL BMW/COL	SIGNIFICADO	COLOR
abril de 2017	1	Muy critica	14	Aguas fuertemente contaminadas	
	2	Critica	31	Aguas muy contaminadas	
	3	Muy critica	15	Aguas fuertemente contaminadas	
mayo de 2017	1	Critica	28	Aguas muy contaminadas	
	2	Dudosa	42	Aguas moderadamente contaminadas	
	3	Critica	17	Aguas muy contaminadas	

Fuente: Elaboración propia (2017).

De acuerdo con los resultados arrojados por el índice BMWP/COL (Tabla 11) se puede indicar que las tres estaciones de muestreo de la quebrada La Malpaso están afectadas por las acciones antrópicas tanto agropecuarias como residenciales y comerciales desarrolladas en su área de influencia. Probablemente, la leve mejora de la calidad del agua en el muestreo de mayo se deba a las lluvias registradas durante ese periodo que permiten diluir sustancias contaminantes que ingresan a la quebrada.

7.3.2 Índice ASPT

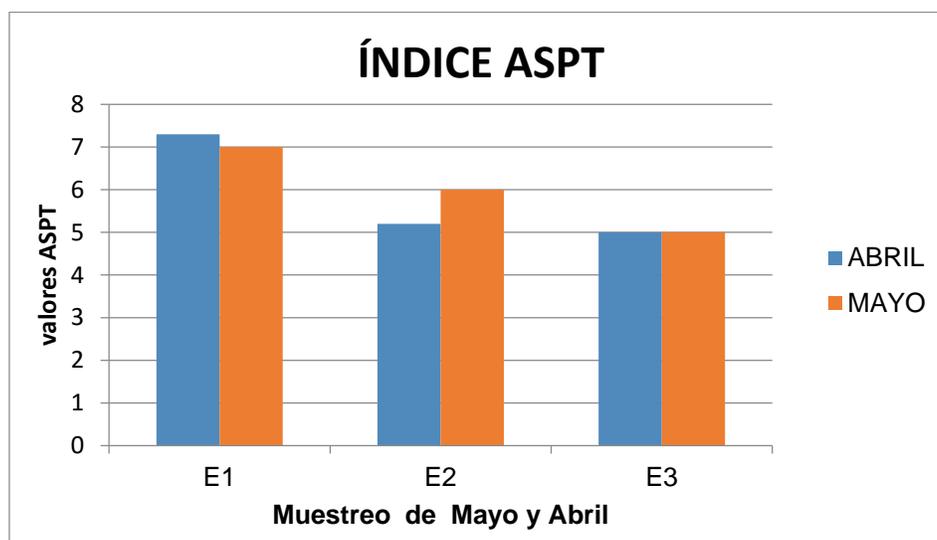
En la tabla 12 y la gráfica 8 se observan los resultados del índice ASPT de la quebrada La Malpaso. En concordancia con lo reflejado por el índice BMWP/COL, el índice ASPT evidencia una mejor calidad del agua en el muestreo de mayo, con aguas de moderadamente alta a muy alta condición ambiental. Mientras que en abril, el agua tuvo entre baja y muy alta calidad (Tabla 12). En contraste al índice BMWP/COL, la tendencia del índice ASPT en ambos muestreo fue a disminuir entre la estación E1 y E2, lo que indica disminución de la calidad del agua y a mantenerse constante y en condiciones de menor calidad, entre las estaciones E2 y E3. Es importante resaltar que el índice ASPT no evidenció mejora en la calidad del agua de la estación E2 en ninguno de los muestreos.

Tabla 13. Significado ambiental del índice ASPT de la quebrada La Malpaso en el año 2017

Muestreo	Estación	BMWP/COL	Total Taxa	ASPT	Clase	Significado	Color
Abril de 2017	E1	22	3	7.3	1	Muy alta	
	E2	31	6	5.2	4	Baja	
	E3	15	3	5.0	4	Baja	
Mayo de 2017	E1	28	4	7.0	1	Muy alta	
	E2	42	7	6.0	3	Moderadamente alta	
	E3	17	3	5.6	3	Moderadamente alta	

Fuente: Elaboración propia (2017).

Gráfica 8. Índice ASPT para la quebrada La Malpaso del municipio de Medellín.



La tabla 13 permite identificar la correspondencia presentada entre los índices BMWP/COL y ASPT. Ambos índices muestran una mejora en la calidad del agua en el muestreo de mayo con relación al de abril de 2017. Sin embargo, el índice BMWP/COL muestra mejora en la calidad del agua en la estación E2, mientras que el índice ASPT no evidencia dicha mejoría. Esto indica que, a pesar que el ASPT es complementario al BMWP, en ocasiones puede arrojar significados diferentes, ya que este no depende de la riqueza de la familia si no del número de taxa (González Legarda & Jurado Erazo, 2014).

Tabla 14. Resumen de los índices BMWP/COL Y ASPT de la quebrada La Malpaso.

ÍNDICE	ABRIL 2017			MAYO 2017		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
BMWP/ COL	Aguas fuertemente contaminadas	Aguas muy contaminadas	Aguas fuertemente contaminadas	Aguas muy contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas muy contaminadas
ASPT	Muy alto	Bajo	Bajo	Muy alto	Moderadamente alto	Moderadamente alto

Fuente: Elaboración propia (2017).

Es importante resaltar que durante los muestreos las estaciones E2 y E3 presentaron signos notables de contaminación como malos olores, espumas y residuos en descomposición, lo que evidencia la degradación del agua de la fuente y un impacto ambiental de y hacia la comunidad aledaña. La quebrada en ambos sitios ha sufrido cambios por las actividades realizadas, es decir se ha alterado su cauce, se vierten aguas residuales domésticas.

7.3.3 Correlación entre variables biológicas y fisicoquímicas

Ninguna variable fisicoquímica mostró una correlación estadísticamente significativa con el total de organismos muestreados en la quebrada La Malpaso. Sin embargo, cuando se realizó el análisis de correlación de las variables fisicoquímicas y las familias de macroinvertebrados colectadas se obtuvieron correlaciones altas y significativas entre algunas familias y el oxígeno disuelto, el pH y la conductividad eléctrica (Tabla 14).

Tabla 14. Coeficiente de correlación de Spearman para las variables biológicas y las fisicoquímicas de la quebrada La Malpaso

Variable	Oxígeno disuelto	Temperatura del agua	pH	Conductividad eléctrica
Total organismos	0.771	-0.143	-0.116	-0.657
Tilodactylidae	0.971**	-0.677	0.448	-0.912*
Glossphoniidae	0.034	0.507	-0.857*	-0.034
Planariidae	0.577	-0.152	-0.216	-0.334
Hydropsychidae	-0.441	0.794	-0.940**	0.53
Lymnaeidae	0.439	-0.169	0.171	-0.676
Physidae	0.638	0.03	-0.277	-0.395
Simuliidae	0.812*	-0.638	0.235	-0.696
Psychodidae	-0.845*	0.439	0.000	0.778
Chironominae	-0.655	0.393	0.000	0.393
Tubificidae	-0.778	0.372	0.000	0.845*
Liidae	-0.655	0.393	0.000	0.393

* Correlaciones significativas al 95% de confianza

** Correlaciones significativas al 99% de confianza

Fuente: Elaboración propia (2017).

La abundancia de la familia Tilodactylidae tuvo una correlación positiva con el oxígeno disuelto (0.971) y negativa con la conductividad eléctrica (-0.912), lo que indica que la mayor concentración de sustancias disueltas en la quebrada propició un hábitat que no le permite su crecimiento y reproducción, lo que disminuyó la abundancia de esta familia. De otro lado, las mayores concentraciones de oxígeno favorecieron el establecimiento de las Tilodactylidae.

Las familias Hydrophosydae y Glossphoniidae presentaron una correlación negativa con el pH (-0.940). Esto implicó que ambas familias fueran más abundantes en la estación E2 donde el pH llega a valores de 7.5, un poco más cercanos a la neutralidad. Por otra parte, las familias Simuliidae y Psychodidae se correlacionaron con el oxígeno disuelto aunque en forma contraria, lo que indica que la familia Simuliidae requiere mejores niveles de oxígeno para su desarrollo que la familia Psychodidae.

Finalmente, la familia Tubificidae mostró una correlación positiva con la conductividad eléctrica (0.845), lo que indica que los altos niveles de esta variable favorecieron el desarrollo tubíficeos en la estación E3, lo cual indica alto grado de contaminación en este sitio (Roldán, 1988).

La reducción del pH y el oxígeno disuelto, así como el aumento de la conductividad desde la cuenca alta hasta la cuenca baja de la quebrada La Malpaso, pudieron influir en la reducción de la abundancia y la riqueza de macroinvertebrados acuáticos en la estación E3. A pesar del grado de intervención a la que se encuentra sometida la quebrada, el monitoreo revela que existe una gran importancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en este cuerpo de agua. En la parte alta y media, la riqueza de taxa puede estar relacionada con la disponibilidad y tipo de sustrato, correspondiente a rocas de tamaño mediano y grande, que genera un hábitat adecuado para el desarrollo de esta comunidad de organismos.

De acuerdo al análisis de datos de las variables fisicoquímicas, los factores que más pudieron incidir en la riqueza de los macroinvertebrados acuáticos fueron la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, los cuales presentaron variaciones más notables entre estaciones. Estas pueden atribuirse a descargas de aguas residuales domésticas y comerciales. La conductividad eléctrica está muy asociada a la pérdida de taxa pero no a la abundancia de macroinvertebrados. Según Roldan (2003) en aguas con baja conductividad eléctrica y buenos niveles de oxígeno se encuentran especies de macroinvertebrados indicadores de buena calidad de agua y de aguas bien oxigenadas, como el género *Dugesia*.

Por su parte, en términos generales se puede decir que en ambos muestreos la temperatura ambiente y del agua fue similar a lo largo de la quebrada. Por esta razón, la temperatura del agua no incidió de manera significativa en la estructura de los macroinvertebrados acuáticos y los cambios en esta variable estuvieron más relacionados con la hora que con la fecha de muestreo. Sin embargo, se debe considerar que la temperatura del agua es una de los factores más importantes para la actividad biológica de un cuerpo de agua. A mayores temperaturas se incrementan las tasas metabólicas y se reduce la solubilidad de este gas, lo que puede crear hábitats menos deseables para los organismos acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008).

7.4 ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA LA QUEBRADA LA MALPASO

Las estrategias de manejo que aquí se plantean están estructuradas en actividades que proponen atender las principales problemáticas ambientales de la quebrada La Malpaso, lo que redundará en una mejor calidad de vida de la población aledaña a este cuerpo de agua. Con estas se busca generar y mantener un equilibrio dinámico en el desarrollo de la preservación de los recursos naturales para garantizar el desarrollo armónico de las funciones y procesos que afectan la cantidad y la calidad del agua de la quebrada La Malpaso.

7.4.1 Restauración y reforestación de las márgenes de la quebrada

En la parte alta de la quebrada se recomienda realizar programas de reforestación y enriquecimiento de coberturas vegetales asociadas a corredores ribereños. Esta se considera una medida correctiva para la recuperación de las condiciones naturales del ecosistema acuático, ya que el restablecimiento de la vegetación ribereña mejorará la regulación hidrológica y la calidad del agua, recobrará los servicios ambientales perdidos y embellecerá el espacio público. Sin embargo, esta medida no es suficiente por sí sola y deberá estar acompañada por un monitoreo y seguimiento del crecimiento de las plantaciones forestales, de manera que se garantice su establecimiento permanente en la cuenca.

Adicionalmente, se requiere reducir y/o mejorar las prácticas ganaderas en la zona de retiro de la quebrada, impidiendo el paso de animales por el cauce del cuerpo de agua ya que esto contribuiría a disminuir el ingreso de materia orgánica a la quebrada y con esto mejoraría la calidad del agua.

7.4.2 Recuperación del espacio público

En la parte media de la quebrada se debe implementar un plan de recuperación y mantenimiento del cauce y su zona aledaña. Esto deberá hacerse a través de jornadas de recuperación ambiental que incluyan la limpieza del cauce y que sean promovidas y realizadas con la participación y gestión de la comunidad, instituciones y juntas de acción comunal. De igual manera se puede establecer un sendero ambiental que sirva además como herramienta de educación ambiental que contribuyan a crear valores de respeto y amor por los recursos naturales del lugar.

7.4.3 Reducción de la contaminación del agua en el casco urbano

En la parte media y baja de la cuenca es importante implementar prácticas productivas con procesos o estrategias de producción más limpia que permitan reducir los impactos ambientales negativos generados por los vertimientos de aguas residuales y generación de residuos sólidos en el cauce. De igual manera se deberá realizar vigilancia por parte de las autoridades ambientales para controlar los vertimientos en esta zona y reducir riesgos al ser humano y al medio ambiente. Adicionalmente, se deberán adecuar y mejorar las estructuras de captación de vertimientos de agua residuales domésticas al sistema de alcantarillado en las zonas donde las aguas residuales son vertidas a la quebrada.

Estos tres programas son concordantes con las estrategias que se plantean en los diferentes Planes de Manejo Ambiental para las Quebradas, Planes de Manejo de Cuencas, Plan de Manejo del Parque Natural Regional Metropolitano Cerro El Volador y al Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá (2006).

8. CONCLUSIONES

En abril y mayo de 2017 se registró un total de 147 macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Malpaso del municipio de Medellín, pertenecientes a 8 órdenes, 11 familias y 12 géneros. El orden con mayor abundancia fue Trichoptera, representado por la familia Hydropsychidae. Los orden menos abundantes fueron Glossophoniiformes e Isópoda, indicando la presencia materia orgánica en descomposición en las estaciones a lo largo de la quebrada.

Los índices BMWP/COL (14-31) y ASPT (5-7.3) indican que el agua de la quebrada La Malpaso presenta una calidad de dudosa a muy crítica y una contaminación de moderada a fuerte. Esto refleja una inadecuada gestión en los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales principalmente en la cuenca media y baja de la quebrada.

Las variables fisicoquímicas no presentaron variaciones considerables entre muestreos. Sin embargo, dentro de los muestreos se observó aumento de la temperatura del agua y la conductividad eléctrica y reducción del oxígeno disuelto y el pH desde la cuenca alta hasta la cuenca baja.

La reducción del pH y el oxígeno disuelto, así como el aumento de la conductividad desde la cuenca alta hasta la cuenca baja de la quebrada La Malpaso, pudieron influir en la reducción de la abundancia y la riqueza de macroinvertebrados acuáticos en la estación E3. De otro lado, la mayor disponibilidad de sustrato rocoso en la estación E1 pudo favorecer la abundancia de macroinvertebrados en este sitio.

Se encontraron correlaciones muy altas y estadísticamente significativas entre algunas de las familias de macroinvertebrados acuáticos de la quebrada La Malpaso y las variables fisicoquímicas medidas, que permiten concluir que las variables que más influyeron en la estructura de esta comunidad fueron el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica.

9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda realizar estudios cuantitativos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos a fin de establecer índices de biodiversidad, dominancia y equidad e índices ecológicos como el ETP, entre otros, que permitan establecer estadísticamente las respuestas en términos de composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos a los cambios de la calidad del agua de la quebrada La Malpaso.

El monitoreo de las características fisicoquímicas y biológicas de la quebrada La Malpaso deberá ser continuo, para poder evaluar la efectividad de las medidas de gestión que se apliquen y de esta manera, tomar las acciones correctivas que sean necesarias para conseguir una buena calidad del agua de la quebrada.

Es prioritario implementar estrategias de manejo del recurso hídrico como las planteadas en este trabajo de grado (campañas de reforestación, construcción y mejoramiento de redes de alcantarillado, colectores, interceptores de aguas residuales), con el fin de recuperar el equilibrio ecosistémico de este cuerpo de agua.

10. REFERENCIAS

- A.M.V.A. (2010). Guía metodológica para determinar módulos de consumo y factores de vertimiento de agua. Medellín.
- Aguirre, n. (2014). Calidad fisicoquímica e hidrológica del agua en el río San Juan, Andes, Antioquia. Bolívar: foro del suroeste diálogo de saberes y oportunidades de la región.
- Alvarado, j. C. (2015). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados y estimación de la calidad del agua de las lagunas de Chingaza, del medio y el ariscal en el parque nacional natural Chingaza. Bogotá.
- Arango, I. F. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt, 21.
- Arango, I. F. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Bogotá: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt.
- Cortolima. (2006). Biodiversidad faunística y florística. 528-572.
- Duque, A. S. (2013). Evaluación de la calidad ecológica del agua usando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del río Felidia, Valle del Cauca - Colombia. Cali.
- Escudero, J. O. (enero de 2009). Recuperado el 14 de abril de 2017, de <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/materialesdidacticos/otros/gui-a-macroinvertebrados.pdf>
- Fernández, R. L. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Página de información ambiental, 26-27.
- Garcías, n. M. (2010). Macroinvertebrados acuáticos como sistemas de evaluación de contaminación del río Gatapuri. Cesar.
- Gómez, J. A. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. Manizales: Universidad de Manizales.
- Grisales, S. M. (2016). Macroinvertebrados como una herramienta tecnológica. Caquetá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Hernández, O. G. (2008). Segundo levantamiento integrado de subcuencas hidrográficas del municipio de Medellín. Medellín: Geosat S.A., 2008.
- Hernández, O. G. (2011). Plan de acción ambiental local de la comuna 7. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

- Maestre, C. P. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú.
- Mora, G. V. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar. Depto. El hombre y su ambiente, uam-x.
- Nacional, U. (2009). Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/2/43615961.2009_2.pdf
- Perez, G. R. (1992). Fundamento de limnología neotropical. Medellín: universidad de antioquia.
- Pérez, G. R. (2009). Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. Colombia: actual biol.
- Ramírez, c. A. (2011). Calidad del agua evaluación y diagnóstico. Medellín: universidad de medellin.
- Restrepo, R. S. (2005). Plan de manejo de la microcuenca de la quebrada malpaso. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Reyes, C. C. (2001). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *Ecociencia*, 21-22.
- Rodríguez, G. I. (14 de mayo de 2011). Senamhi. Obtenido de senamhi: http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/aforo_x_flotadores.pdf
- Rojas, J. A. (2009). Calidad del agua. Bogotá: escuela de Colombia de ingeniería.
- Roldán, G. A. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Medellín: universidad de antioquia.
- Solano, D. P. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca sancotea. *Ingeniería ambiental universidad libre*, 5.
- Tercedor, J. A. (2015). Orden ephemeroptera . *Revista ide@ - sea*, 9.

11. ANEXOS

11.1 Anexo 1

	
<p>Estación de la toma de muestras</p>	<p>Monitoreo de las variables fisicoquímicas de la quebrada La Malpaso.</p>
	
<p>Colecta de macroinvertebrados acuáticos con la red de pantalla.</p>	<p>Muestras colectadas a lo largo de la quebrada La Malpaso.</p>