

**DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y SU
RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA EN TRES QUEBRADAS DE
ALTA MONTAÑA DE ANTIOQUIA, COLOMBIA.**

**YASMIN BIBIANA LONDOÑO LONDOÑO
DIANA PATRICIA MORENO ARBELÁEZ
OLGA LUCÍA SUAREZ RESTREPO.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELAS DE INGENIERÍAS, DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA, Y
CIENCIAS DE LA SALUD.
CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
MEDELLÍN
JULIO - 2017**

**DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y SU
RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA EN TRES QUEBRADAS DE
ALTA MONTAÑA DE ANTIOQUIA, COLOMBIA.**

**YASMIN BIBIANA LONDOÑO LONDOÑO
DIANA PATRICIA MORENO ARBELÁEZ
OLGA LUCÍA SUAREZ RESTREPO.**

**Trabajo de grado para optar el título de
Magíster en Ciencias Naturales y Matemáticas**

ASESORA

MARIA ISABEL RIOS PULGARIN

Doctora en Ecología

Grupo de investigación en Limnología y Recursos Hídricos

Universidad Católica de Oriente

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELAS DE INGENIERÍAS, DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA, Y
CIENCIAS DE LA SALUD.**

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

MEDELLIN

JULIO – 2017

DECLARACIÓN ORIGINALIDAD

Medellín, 24 de julio de 2017


Nosotras, YASMIN BIBIANA LONDOÑO LONDOÑO, DIANA PATRICIA MORENO ARBELÁEZ y OLGA LUCÍA SUAREZ RESTREPO.

“Declaramos que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad”.

Art. 82 Régimen Discente de Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana.

FIRMA AUTOR (ES)

Yasmin Bibiana Londoño Londoño



Diana P. Moreno A

AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias a las personas que constantemente nos ayudaron y guiaron durante el trabajo de grado con sus consejos, apoyo incondicional y acertadas observaciones, como a Sara Correa, Johanna Marcela Acosta Arbeláez, Carlos Giraldo, Jaime Gutiérrez, al grupo de investigación en Limnología y Recurso Hídricos de la Universidad Católica de Oriente y a nuestra asesora María Isabel Ríos Pulgarín.

CONTENIDO

<u>1 INTRODUCCIÓN</u>	<u>14</u>
<u>2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</u>	<u>17</u>
2.1 PROBLEMA	17
2.2 HIPÓTESIS.....	18
2.3 JUSTIFICACIÓN	18
<u>3 OBJETIVOS.....</u>	<u>20</u>
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
<u>4 MARCO REFERENCIAL</u>	<u>21</u>
<u>5 METODOLOGIA</u>	<u>27</u>
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	27
5.2 DISEÑO DE MUESTREO.....	30
5.3 METODOS DE CAMPO	32
5.3. 1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS BIOLÓGICAS	35
5.3. 2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS	35
5.4 MÉTODOS DE LABORATORIO	35
5.5 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	36
<u>6 RESULTADOS</u>	<u>42</u>
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT	42
6.2 PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA.....	43
6.3 COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS	47
6.4 INDICES BIOLÓGICOS.....	52
6.5 CALIDAD DEL AGUA	63
<u>7. DISCUSIÓN.....</u>	<u>66</u>
<u>8. CONCLUSIONES.....</u>	<u>77</u>
<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>79</u>
<u>LISTA DE REFERENCIAS.....</u>	<u>80</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>93</u>

ANEXO 1. SITIOS DE MUESTREO DE LAS QUEBRADAS LA PEÑA, LA BRIZUELA Y LAS CRUCES.	93
ANEXO 2. PARÁMETROS PARA MEDIR EL HÁBITAT	95
ANEXO 3. ÍNDICES FÍSICOQUÍMICOS DE LAS QUEBRADAS LA PEÑA, LA BRIZUELA Y LAS CRUCES.	98
ANEXO 4. ÍNDICES BIOLÓGICOS DE LAS QUEBRADAS LA PEÑA, LA BRIZUELA Y LAS CRUCES.	101
ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS DE LAS FAMILIAS MÁS COMUNES DE MACROINVERTEBRADOS EN LAS QUEBRADAS LA PEÑA, LA BRIZUELA Y LAS CRUCES.	106
ANEXO 6. COMUNICACIÓN ESCRITA UCO SOBRE LA NO INCLUSIÓN DE ESPECIES PARA LA COLECCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS (CMA – UCO).	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de sustrato y de hábitat hidráulico con relación al tramo.	31
Tabla 2. Tipos de sustratos y sus características. Tomado de Rodríguez et al. 2009, p 256	34
Tabla 3. Estimación de los puntajes de los macroinvertebrados acuáticos	40
Tabla 4. Intervalos para la clasificación de la calidad del agua.....	41
Tabla 5. Datos generales del hábitat, los sitios de muestreo en las quebradas Las cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) y La Peña (Jericó), durante el ciclo hidrológico 2015 – 2016	42
Tabla 6. Lista de órdenes, familias y géneros de macroinvertebrados acuáticos encontrados en tres quebradas de alta montaña en noviembre de 2015 y febrero de 2016.	49
Tabla 7. Descripción de la estructura biológica de la comunidad de macroinvertebrados en tres quebradas de alta montaña durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016.	54
Tabla 8. Variación temporal de los Números de Hill en tres quebradas de alta montaña, en el ciclo hidrológico 2015 - 2016.	54
Tabla 9. Calidad de la aguas de las quebradas de alta montaña La Peña (Jericó), La Brizuela (Guarne) y las Cruces (Santa Rosa de Osos) de acuerdo al índice BMWP/Col, durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en la quebrada La Peña, Jericó (Antioquia).	28
Figura 2. Localización de los sitios de muestreo en la quebrada La Brizuela, Guarne (Antioquia).	29
Figura 3. Localización de los sitios de muestreo en la quebrada Las Cruces, Santa Rosa de Osos (Antioquia).	30
Figura 4. Diseño muestreo aplicado en cada una de las tres quebradas por estación (E) y réplicas (R).	32
Figura 5 Diseño de muestreo general.	32
Figura 6. pH por tramo y periodo de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y la Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	43
Figura 7. Temperatura por tramo y periodo de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	44
Figura 8. Conductividad entre tramos y periodos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	45
Figura 9. Oxígeno disuelto por tramo y periodo de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	46
Figura 10. Velocidad media por tramos y periodos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	47
Figura 11. Variación temporal en el número de individuos por familia en las quebradas A) Las Cruces B) La Brizuela y C) La Peña, durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	49
Figura 12. Índice de hábitat (AUSRIVAS) en la quebrada Las Cruces, La Brizuela y La Peña.	51
Figura 13. Variación espacial y temporal en la abundancia y riqueza de macroinvertebrados entre periodos y tramos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	52
Figura 14. Variación espacial y temporal en la Diversidad y Dominancia de macroinvertebrados por periodos y tramos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	53
Figura 15. Variación temporal de los Números de Hill en tres quebradas de alta montaña, en el ciclo hidrológico 2015 – 2016.	55
Figura 16. Regresión lineal entre el Índice de hábitat de las quebradas La Brizuela, La Peña y Las Cruces y los índices de A) Riqueza de géneros. B) Índice de diversidad H'.	56
Figura 17. Análisis discriminante Periodo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016. BMWP/Col= Índice de calidad de agua basado en macroinvertebrados para Colombia, S=riqueza, H'= Índice de diversidad de Shannon, J= índice de equidad, D = índice de dominancia de Simpson.	56
Figura 18. Análisis discriminante Quebrada de La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016. BMWP/Col= Índice de	

calidad de agua basado en macroinvertebrados para Colombia, S=riqueza, H'= Índice de diversidad de Shannon, J= índice de equidad, D = índice de dominancia de Simpson.	57
Figura 19. Análisis discriminante Tramo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016. BMWP/Col= Índice de calidad de agua basado en macroinvertebrados para Colombia, S=riqueza, H'= Índice de diversidad de Shannon, J= índice de equidad, D = índice de dominancia de Simpson.	58
Figura 20. Análisis discriminante géneros asociados a tramo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	59
Figura 21. Análisis discriminante de géneros asociados a periodo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016.	60
Figura 22. Análisis discriminante de géneros asociados a las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016.....	61
Figura 23. Agrupamiento de las quebradas evaluadas en función de la abundancia de las taxa según periodo y sitio de muestreo.	62
Figura 24. Regresión múltiple entre Riqueza de Macroinvertebrados vs parámetros fisicoquímicos y de hábitat (AUSRIVAS) de las quebradas La Brizuela, Las Cruces y La Peña durante el periodo hidrológico 2015 – 2016.	63
Figura 25. Índice BMWP/Col por periodos y tramos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.....	64
Figura 26. Regresión lineal entre el Índice de hábitat de las quebradas La Brizuela, La Peña y Las Cruces y el índice BMWP/Col.....	65

GLOSARIO

Agua: es el componente más abundante sobre la tierra, posee unas características físicas y químicas que la hacen fundamental y única para el desarrollo de la vida como se conoce en este planeta. Por tanto, cualquier alteración que el hombre cause en ella, repercute en la estructura de las comunidades que la habitan. (Roldan, 2003)

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

Ecosistema acuático: es el resultado de la interacción de organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica del agua, la atmósfera y el medio terrestre que lo rodea. (Roldan, 2003)

Ecosistema léntico: son aquellos de aguas quietas o estancadas como lagos, lagunas, embalses. Los remansos de los ríos y quebradas se comportan en general como hábitats lénticos dependiendo de la geomorfología del cauce. Estos ecosistemas por lo general presentan abundante vegetación ribereña y sumergida, lo que ofrece un variado hábitat para gran número de organismos. (Roldan, 2003)

Ecosistemas lóticos: se refiere a los ríos, quebradas y arroyos donde las corrientes rápidas juegan un papel importante en la distribución de los macroinvertebrados. Los organismos aquí presentes, por lo regular tiene adaptaciones corporales como ganchos, ventosas y cuerpos aplanados para resistir la velocidad de la corriente. (Roldan, 2003)

Hábitat: Lugar específico en que vive un organismo. Los hábitats acuáticos son muy variados y a cada uno de ellos corresponde una comunidad determinada. Po ejemplo, unos viven adheridos a la superficie de las rocas, pequeñas piedras, troncos sumergidos o restos de vegetación; otros habitan en las orillas, adheridos a la vegetación emergente o sumergida. Unos viven sobre la superficie del agua, en tanto que

otros nadan en ella como peces. Otros se entierran en sustratos arenosos, fangosos o pedregosos. (Roldan, 2003)

Indicador biológico acuático: se ha considerado como aquella cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema de manejo de recurso hídrico. Los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad de agua más más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica, sin que ello impida utilizarlos en tales circunstancias. (Pinilla, 2000)

Macroinvertebrados acuáticos: organismos que efectúan una o varias fases de su ciclo de vida en el medio acuático y que son visibles a simple vista, pues sus tamaños superan los 0.5mm de longitud. (Roldán, 1996)

RESUMEN

Las comunidades de macroinvertebrados acuáticos pueden verse afectadas por cambios de índole física y química que sufren los cuerpos de agua, bien sea por causas antrópicas o naturales, de manera que el grado de tolerancia de estos organismos a las perturbaciones permiten que sean potenciales bioindicadores de este tipo de alteraciones. En el presente estudio se estableció la calidad del agua de las quebradas de alta montaña Las Cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) y La Peña (Jericó), con base en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que habitan estos cuerpos de agua, durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016, mediante el índice BMWP y se correlacionó con los parámetros fisicoquímicos, junto con una valoración del hábitat físico. La estructura de los macroinvertebrados en las tres quebradas de alta montaña fue evaluada a través de descriptores emergentes de la asociación como patrones espaciotemporales de abundancia y riqueza, los números de Hill, índices de dominancia y equidad, donde la quebrada La Peña presentó mayor diversidad en ambos ciclos hidrológicos que las otras dos quebradas. Así mismo ésta quebrada mostró buena calidad de agua mientras que las otras dos estuvieron en estado crítico y muy crítico. En general los parámetros físicos y químicos estuvieron dentro de los parámetros normales, favoreciendo el desarrollo de la vida acuática; el hábitat y los impactos ambientales fueron más determinantes en la estructura de los bioindicadores que la calidad química del agua.

ABSTRACT

Aquatic macroinvertebrate communities may be affected by changes in the physical and chemical nature of water bodies, whether due to anthropogenic or natural causes, so that the degree of tolerance of these organisms to disturbances may be potential bioindicators of this Type of alterations. In the present study, the water quality of the high mountain streams Las Cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) and La Peña (Jericó) was established, based on the structure of the aquatic macroinvertebrate communities that inhabit These bodies of water, during the hydrological cycle 2015 - 2016, through the BMWP index and correlated with the physicochemical parameters, together with a valuation of the physical habitat. The structure of the macroinvertebrates in the three high mountain ravines was evaluated

through emergent descriptors of the association as spatiotemporal patterns of abundance and wealth, Hill numbers, dominance indexes and equity, where the La Peña creek presented greater diversity in Both hydrological cycles than the other two streams. Likewise this stream showed good water quality while the other two were in critical and critical condition. In general the physical and chemical parameters were within the normal parameters, favoring the development of the aquatic life; Habitat and environmental impacts were more determinant in the structure of bioindicators than the chemical quality of water.

1 INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica es una porción de territorio en la cual el agua de precipitación drena hacia un solo río y que es delimitada geográficamente por las alturas o las montañas que envuelven los terrenos y fuera de los cuales en agua drena hacia otras corrientes. Las cuencas son producto de procesos geomórficos como esquemas geológicos locales y alteraciones sufridas en la superficie del terreno debido a procesos fluviales y tectónicos. En su rol hídrico, actúan como un sistema de drenaje de aguas dado por su conformación natural, caracterizada por contar con una pendiente en dirección hacia el río o mar más cercano, actuando como un afluente y en muchos casos siendo un punto de referencia a la hora de encontrar la división de aguas (Núñez, 2001).

Afluentes menores como las quebradas y riachuelos son sistemas hídricos que alimentan la vena principal de la cuenca, siendo de vital importancia ya que determinan la calidad de agua en los sistemas de orden mayor y finalmente en el océano; también son importantes, ya que por encontrarse en los tramos más altos de la cuenca, se espera que presente mejor calidad en el agua. En general, poseen un caudal pequeño en comparación con otras corrientes de agua, y dada su poca profundidad, el ser humano las aprovecha para captar su agua y hacer uso en diferentes procesos como industrial, doméstico, ganadería, agricultura, fuente de energía, ocio y vía de comunicación. (Alfaro, Escobar, & Hernández, 2014). De igual manera, deposita en ellas todos los residuos de los mismos, alterando considerablemente su dinámica natural y en consecuencia y la calidad de la cuenca por la cual drena sus aguas. (Castells, 2012).

Por lo anterior, es fundamental conocer el estado ambiental en el que se encuentran los ríos y quebradas que están siendo aprovechadas, no solo el estado, sino también los factores que implican amenazas y así planificar de forma acertada y efectiva su conservación. Para ello se deben evaluar variables de tipo físico (como el tipo de sustrato, corriente,

conductividad, temperatura), químico (como el pH y el oxígeno disuelto) y biológico (como la cobertura vegetal y las comunidades acuáticas). (Roldan, 2003).

Son variados los aportes científicos generados en los últimos años en torno a la evaluación de las dinámicas fisicoquímicas de los ríos para detectar las transformaciones generadas por las actividades antrópicas en estos sistemas. Uno de los más oportunos en la actualidad es el uso de indicadores biológicos como un mecanismo de alerta para la detección de problemas ecológicos. (Arce, O., 2006).

La obtención de unos resultados fiables para generar una adecuada caracterización, requiere de unos parámetros claros y precisos similares a los que han sido utilizados y validados en muchos países, y que han generado contribuciones relevantes en este campo de la ecología (Niemi, G. J. y McDonald, M. E., 2004). Esto es debido a que las comunidades de los organismos acuáticos poseen la capacidad de cambiar su distribución, estructura y funcionamiento al modificarse sus hábitats naturales, ya que las poblaciones muestran gran variabilidad espacial y temporal, muchos taxones tienen gran afinidad por determinado hábitat y diferentes grupos presentan sensibilidades diferentes ante las variables ambientales a nivel local. Pero adicionalmente las asociaciones de especies varían a lo largo del gradiente del río (Vanotte *et al.*, 1980), por ello, el proceso de evaluación debe llevarse a cabo a través de tramos o zonas contrastantes donde se genere una comprensión tanto de la distribución de las especies como del hábitat al interior de las quebradas y en sus orillas (Testi, Bisceglie, Guidotti y Fanelli, 2009).

En lo que respecta a las variables biológicas a medir, los macroinvertebrados acuáticos son ampliamente utilizados para la valoración de los sistemas acuáticos como bioindicadores biológicos, ya que este tipo de métodos es un magnífico aliado para ahorrar y encauzar mejor los recursos disponibles en la vigilancia de la contaminación y en la gestión ambiental (Alba - Tercedor, 1996); además, se constituye como una herramienta pertinente para reconocer las características biológicas y fisicoquímicas del agua, necesarias para un adecuado control y conservación del ecosistema (Roldán, 1996).

El método más utilizado para medir la calidad del agua usando los macroinvertebrados acuáticos, fue propuesto en Inglaterra en el año 1970 y se conoce como el Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), y es considerado como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad de agua usando los macroinvertebrados a modo de bioindicadores. Este método fue modificado por Álvarez (2005) para adaptarlo a la respuesta de las familias y las condiciones propias de Colombia; de allí nace el BMWP/col. Las razones para su modificación se justifica en que el índice originalmente estaba basado en especies de zonas templadas que enfrentan condiciones ambientales diferentes y por ende presentaban diferentes rangos de tolerancia (Roldán (2003) modificado por Álvarez, 2005).

En éste trabajo se hizo uso de los macroinvertebrados como herramienta para establecerla calidad de agua de tres quebradas de alta montaña Las Cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) y La Peña (Jericó), las cuales presentan diferente grado de pérdida de la cobertura vegetal. Para explicar la variabilidad en la asociación de especies bioindicadoras se consideró tanto las variables fisicoquímicas como de hábitat que se presentaron a lo largo del gradiente longitudinal de las quebradas durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PROBLEMA

La calidad del agua de las quebradas de alta montaña ubicada en los municipios de Santa Rosa de Osos, Jericó y Guarne, del departamento de Antioquia se ven afectadas en su calidad del agua debido a las relaciones antrópicas que se han dado en estos ecosistemas. Dentro de las dinámicas que se han llevado a cabo se evidencia deforestación, actividades agrícolas y lechera alrededor de la cuenca, lo cual ha generado impactos negativos en el territorio y por ende afecta a la calidad del agua.

Por otro lado, para conocer la calidad del agua de las tres quebradas de alta montaña, se hace necesario el estudio de variables biológicas, pues muchas veces las caracterizaciones se restringen a los aspectos puramente químicos del agua sin contemplar las características del hábitat local, como la identificación de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos y el tipo de cobertura vegetal que presenta la cuenca y su variabilidad espaciotemporal, que tendrá un efecto importante sobre las comunidades acuáticas, más allá de la calidad química del agua

Teniendo presente que el hábitat físico (profundidad, velocidad, sustrato, tipo de corriente, cobertura vegetal) afecta a los macroinvertebrados, es pertinente preguntar si a la hora de determinar el grado de deterioro de las quebradas mediante la identificación de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en una localidad, el hábitat físico puede ser un elemento determinante en la presencia de especies como la química del agua. Por ello, en el caso de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña, en donde los cambios en la estructura del hábitat debidos a la pérdida de cobertura son el principal elemento de contraste entre cuencas, el análisis de calidad basado en macroinvertebrados debe ser complementado

por análisis relativos al hábitat físico. En este contexto nos preguntamos: ¿cómo las diferencias de hábitat debido a la presencia o pérdida de cobertura, el tramo de la corriente y el periodo hidrológico afectarían a la comunidad de macroinvertebrados de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña?

2.2 HIPÓTESIS

De acuerdo al problema identificado, se plantea como hipótesis que existen diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados en quebradas o tramos de las quebradas que presenten condiciones físicas y químicas de hábitat diferentes y ello se reflejará en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados; es decir, la estructura física del hábitat acuático (cobertura vegetal, sustrato, características de la corriente) en conjunto con las variables físicas y químicas del agua, definen la estructura de la comunidad de macroinvertebrados que se expresa en la composición, diversidad y abundancia del ensamblaje en las quebradas Las Cruces, La Brizuela y la Peña.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Existe un gran interés de llevar a cabo acciones de conservación y protección del recurso hídrico debido a su valor fundamental no solo para la alimentación sino también para la generación de energía y la producción tanto agrícola como pecuaria, lo que implica que se debe dar un uso racional y sustentable a dicho recurso, sin alterar el equilibrio ecológico del ecosistema acuático. Entre las acciones inherentes a dicha sustentabilidad, el uso de macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad de los cuerpos de agua es una de las metodologías más utilizadas todo el mundo, debido a los grandes beneficios que ofrece para el monitoreo y evaluación de la calidad del agua (Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N., 2009) que permita identificar las causas de las alteraciones y las respuestas de los organismos antes las mismas.

Para reconocer las alteraciones que están sufriendo las corrientes de agua de alta montaña del departamento de Antioquia, es preciso identificar la biodiversidad de macroinvertebrados que allí habitan, y analizar cuáles son las condiciones ecológicas que se está presentando en el cuerpo de agua que pueden afectar su capacidad de supervivencia, de acuerdo a las condiciones que le ofrece el hábitat. Este fenómeno conlleva a la instalación de unas especies, el incremento o desaparición de otras, puesto que el cambio en las condiciones medioambientales hace que algunas especies desaparezcan, y que otras, por el contrario, se adaptan para lograr sobrevivir (Kubosova, K., Brabec, K., Jarkovsky, J., & Syrovatka, V., 2010).

Si bien, la información que puede arrojar el uso de bioindicadores para determinar la calidad del agua, no reemplaza en totalidad los análisis fisicoquímicos, éstos si contribuyen en la disminución de los costos y a la vez permiten conocer el comportamiento de los seres vivos en su hábitat y en respuesta a las alteraciones ecológicas que se pueden presentar. (Chapman, D. 1996). En el caso particular de las quebradas Las Cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) y La Peña (Jericó), la valoración de las características de la comunidad de macroinvertebrados en relación no solo con las condiciones fisicoquímicas que se está presentando en el cuerpo de agua, sino con las características del hábitat, permitirá establecer las condiciones de calidad de agua en el gradiente longitudinal y de afectación del sistema, como una primera etapa en la definición de zonas de atención prioritaria de conservación o recuperación. Así mismo servirá como línea base para futuros monitoreos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Establecer la calidad física y química del agua de tres quebradas de alta montaña, con diferente grado de cobertura vegetal (La Peña, Jericó; La Brizuela, Guarne y Las Cruces, Santa Rosa de Osos), por medio de macroinvertebrados acuáticos y en relación con la variabilidad espacial y temporal del hábitat que se presentó durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016.

3.2 Objetivos específicos

Evaluar la calidad del agua de las quebradas La Peña (Jericó), La Brizuela (Guarne) y Las Cruces (Santa Rosa de Osos), mediante el índice BMWP/Col. Calculado en temporadas hidrológicas contrastantes, y en diferentes tramos de cada corriente.

Comparar espacial y temporalmente las variables biológicas (densidad, diversidad, composición y dominancia) de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en las quebradas.

Evaluar las condiciones ambientales de las quebradas, a partir de la caracterización de variables físicas y químicas en hábitat a lo largo del gradiente longitudinal en temporadas hidrológicas contrastantes.

Relacionar la variabilidad ambiental con las diferencias en la estructura de la asociación de macroinvertebrados en quebradas con diferente grados de cobertura, durante dos temporadas hidrológicas contrastantes (lluvias y seca) del período 2015 – 2016.

4 MARCO REFERENCIAL

Entre los estudios que ponen de manifiesto la importancia creciente de los macroinvertebrados en el ámbito internacional, como una herramienta precisa y eficaz para evaluar el estado general de los cuerpos hídricos y las complejidades derivadas de las alteraciones antrópicas ejercidas sobre estos sistemas, se destaca el trabajo de Alba - Tercedor y Sánchez Ortega (1988). En este trabajo se pone a prueba un método sencillo y rápido para la evaluación y monitoreo del estado del agua en España, realizando una serie de comparaciones de índices de diversidad e índices biológicos, y obteniendo resultados que muestran que el BMWP (Biological Monitoring Working Party) es un índice económico y práctico, ya que admite la identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos sólo con resoluciones hasta el taxón de familia. Además, Alba - Tercedor (1996), examina las metodologías empleadas usualmente para realizar estudios y seguimiento a la calidad del agua en ríos de Andalucía (España), las cuales se basan, con frecuencia, en análisis fisicoquímicos; encontrando que la utilización de macroinvertebrados ha sido un método eficaz para la identificación de lugares de alteración de la calidad hídrica. Esto pone de relieve la eficacia de asociar parámetros fisicoquímicos e índices biológicos al momento de analizar con mayor confiabilidad un ecosistema dulceacuícola específico.

También, se puede observar que en algunos países latinoamericanos se emplea este método de índices biológicos por su facilidad y economía, como es el caso del estudio desarrollado por Terneus *et al.*, (2012), en el que se analizan las intervenciones antrópicas en el río Lliquino (oriente de Ecuador), generadas principalmente por fenómenos de colonización y extracción minera. En el estudio se utilizaron comunidades de macroinvertebrados como bioindicadores para el monitoreo del agua durante un periodo de 5 años. Se estableció que, a pesar de las intervenciones humanas en el lugar, el río permanece en buenas condiciones generales, puesto que en la zona es alto el registro de especies indicadoras de buena calidad ambiental. Cabe preguntarse si la persistencia de los organismos podría relacionarse con factores no evaluados como las características del hábitat.

Las características del hábitat son de vital importancia al momento de evaluar las condiciones de un ambiente y no solamente el componente biótico, ya que estas condiciones afecta la estructura de la comunidad de los organismos acuáticos, como lo muestra el trabajo de muestran los trabajos de Ríos-Pulgarín *et al.*, (2016) y el trabajo de Ríos Touma *et al.* (2011). En este último que determinaron si la composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados era diferente entre temporadas, tramos y tipos de velocidad, además de examinar la importancia del régimen hidrológico en la determinación de estas diferencias.

Tomanova, *et al.* (2007) utilizan el concepto del Continuum del Río (RCC) de Vannote (1980) para explicar las características estructurales y funcionales de la secuencia de las comunidades que se centran en los componentes físicos del hábitat (por ejemplo, la altitud, la temperatura, el orden de la corriente, ancho de canal, entre otros) que cambian gradualmente de la cabecera a los hábitats aguas abajo de arroyos y ríos. Sus resultados indicaron que la altitud combinada con la posición a lo largo de la gradiente longitudinal es un factor importante que determina la estructura de los grupos funcionales alimentarios de las comunidades de macroinvertebrados en corrientes neotropicales. De manera que la abundancia relativa de colectores-recolectores, trituradoras y raspadores puede estar relaciona con cambios en la temperatura, la radiación UV y cubierta vegetal a lo largo del gradiente altitudinal, lo que respalda la importancia de tomar en cuenta este tipo de variables del hábitat al momento de realizar un estudio de calidad de agua con macroinvertebrados acuáticos.

En Colombia han sido notables los esfuerzos por determinar e identificar los macroinvertebrados acuáticos y algunas variables físicas y químicas relacionadas con ellos en diferentes cuerpos de agua, especialmente lóticos, para lograr un mayor conocimiento sobre estas comunidades biológicas y su papel como descriptoras de los estados ecológicos de tales sistemas. Algunos trabajos que dan cuenta de ello son los adelantados por Ramírez y Roldán (1989), cuyo objetivo primordial fue establecer las características fisicoquímicas y las comunidades de macroinvertebrados de tres ríos de la subregión del Urabá antioqueño

(los ríos Turbo, Apartadó y Chigorodó). Algunos otros estudios demuestran la relación sostenida entre los macroinvertebrados acuáticos y ciertos índices ecológicos y de calidad del agua, como el estudio de Caicedo y Palacio (1998), en el que se clarifica el efecto de la contaminación orgánica sobre los macroinvertebrados béticos en la fuente examinada.

La composición química del agua está controlada directa o indirectamente por diversos factores como la litología, el relieve de la cuenca de drenaje, las condiciones climáticas, los procesos biológicos y la actividad antrópica (Pasquini, Grosso, Mangeaud, & Depetris, 2002 citado en Gil Gómez, 2014). Uno de los factores que intervienen en la calidad del agua es la abundancia en la composición vegetal riparia la cual asegura una buena disponibilidad de alimento, siendo este un factor limitante para el desarrollo de la fauna acuática (Gil Gómez, 2014).

La estructura de las comunidades de macroinvertebrados es afectada principalmente por la disponibilidad y calidad del alimento, el tipo de sedimento, el sustrato, la temperatura del medio y la concentración del CO₂ y ácido sulfúrico, factores muy variables en ambientes fluviales (Esteves, 1998 citado en Gil Gómez, 2014) y que también dependen directa o indirectamente de la cobertura vegetal y su consecuente aporte de hojarasca y generación de sombra. De la misma forma, la distribución y abundancia de los nutrientes dentro de los sistemas loticos es influenciada por este factor, además de otros como el tamaño del río y el sustrato. (Allan, 1995 citado en Gil Gómez, 2014).

En aguas poco profundas y con poca sombra vegetal, el perifiton se convierte en un recurso muy importante, por su abundancia y amplia distribución, las formaciones de microcapas orgánicas sobre piedras y otros sustratos, constituyen a su vez, la principal fuente de alimento autóctono para las larvas de insectos (Allan, 1995 citado en Gil Gómez, 2014).

Por otro lado, en los ríos existen diversos hábitats o biotipos, que son las unidades homogéneas que conforman el lecho, estos pueden ser clasificados en rápidos, corrientes y

remansos sobre la base de la composición del sustrato, la velocidad de la corriente y la materia orgánica acumulada (Allan, 1995 citado en Gil Gómez, 2014).

Los hábitats que contienen sustratos variados y permiten la retención de detritus en los espacios intersticiales, como es el caso de las corrientes rápidas, presentan una mayor heterogeneidad (Minshall, 1984). Por esta razón, pueden ser más resistentes al barrido producto de aumentos repentinos de las descargas o caudal, resultando así más estable (Pérez & Segnini, 2005). Por lo tanto la diversidad, la densidad y la coexistencia de los organismos deben ser altas en estos hábitats si se comparan con aquellos cuyas características físicas resulten menos heterogéneas y más susceptibles al barrido como en el caso de los remansos (Pérez & Segnini, 2005 citado en Gil Gómez, 2014).

La calidad del agua está influida por las interacciones de la vegetación, suelos y tiempo de inundación (Batlle & Golladay, 2001 citado en Gil Gómez, 2014). De igual forma la cobertura de la vegetación (macrofitas), no solo influye en la producción de nutrientes en el agua, también influye en la calidad del hábitat para los macroinvertebrados, determinando así el incremento de la abundancia y diversidad de las comunidades (Paukert & Willis, 2003 citado en Gil Gómez, 2014).

En general puede decirse que existen factores del cuerpo de agua que influyen en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como la heterogeneidad de los hábitats, el tamaño del espejo de agua, el tipo de sustrato, el fitoplacton, la profundidad y la permanencia de la profundidad del mismo (Hawker, 1980; Prat & Rieradeval M., 1998; Grillet, Legendre, & Borcard, 2002; Paukert & Willis, 2003; Lilie, 2003 citado en Gil Gómez, 2014). Debido al aporte de materia orgánica, la vegetación ribereña juega un papel importante en la estructura y complejidad de los ríos (Boothroyd *et al.*, 2004). La vegetación rivereña se encuentra más conectada a la vida que sucede dentro del río que fuera de él, cumpliendo un rol fundamental en la cadena trófica de estos ambientes y en la determinación de la composición de las comunidades que lo habitan, como son los macroinvertebrados (Vannote *et al.*, 1980; Corbacho *et al.*, 2003 citado en Morellí y Verdi, 2014).

Es de gran relevancia considerar que un buen estado del entorno natural incide de manera decisiva en la calidad ecológica del cauce en términos de calidad de agua y biota asociada (Bonada *et al.*, 2002 citado en Palma *et al.*, 2009). Las zonas de ribera con abundante vegetación nativa, han sido reconocidas como áreas de importancia ecológica, no sólo por el aporte de material orgánico al sistema (Cummins 1974; Lemly & Hilderbrand 2000; Jonsson *et al.*, 2001 citado en Palma *et al.*, 2009), sino también por una serie de otras funciones entre las cuales destacan: crear un ambiente propicio para especies que se alimentan de hojas, como para la flora bacteriana y los hongos que facilitan la degradación de material orgánico (Cummins 2002 citado en Palma *et al.*, 2009); son corredores de interacción entre animales terrestres y acuáticos (Faush *et al.*, 2002; Ward *et al.* 2002 citado en Palma *et al.*, 2009); forman un ecotono de interacción de los ecosistemas terrestre/acuático, donde los flujos de energía y nutrientes permiten una fuerte interacción entre estos ecosistemas (Wallace *et al.*, 1997; Ríos & Bailey, 2006 citado en Palma *et al.*, 2009); la mayor relevancia es la protección que brinda al sistema acuático, al actuar como trampas naturales (zona buffer) para retener sedimentos, nutrientes y otros contaminantes desde los suelos adyacentes a los cursos de agua (Gergel *et al.* 2002; Baudry & Thenail, 2003 citado en Palma *et al.*, 2009).

Pese a la existencia de múltiples estudios que ratifican dicha relevancia, normalmente no se incluye este parámetro cuando se usan los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua o son pocos los estudios que lo contemplan. Uno de los trabajos que enfatiza en los macroinvertebrados como indicadores valiosos para la calidad de agua es el de Roldán (1999), donde se aplica el método BMWP para el neotrópico y se establece el papel como bioindicadores de los taxones que se distribuyen en ríos y quebradas de montaña. Otros estudios fueron los de Giraldo (2006), donde se caracterizó los hábitats y sus macroinvertebrados acuáticos asociados en algunas quebradas de alta montaña del oriente de Cundinamarca. Posada *et al.*, (2008), quienes precisaron la estructura biológica de la biocenosis de macroinvertebrados acuáticos del páramo con miras a su empleo como indicador ecológico. Castellanos y Serrato (2008), quienes determinaron la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el nacimiento de río Mortiño ubicado en el Páramo de

Santurbán, Norte de Santander. Montoya *et al.*, (2011) quienes realizaron un análisis comparativo de los estudios de calidad de agua adelantados en el Río Negro (oriente antioqueño) entre los años 2002 y 2007, utilizando las comunidades de bioindicadores como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental experimentado por las corrientes superficiales, y el índice de calidad de agua (ICA). Forero *et al.*, (2013), en su estudio de la cuenca del río Opia, Tolima-Colombia, evidenciaron que la integración de los índices ecológicos, bióticos y fisicoquímicos de calidad del agua y contaminación, permiten determinar la calidad del agua de forma más precisa, pues se genera un acercamiento más holístico al estado de los cuerpos de agua.

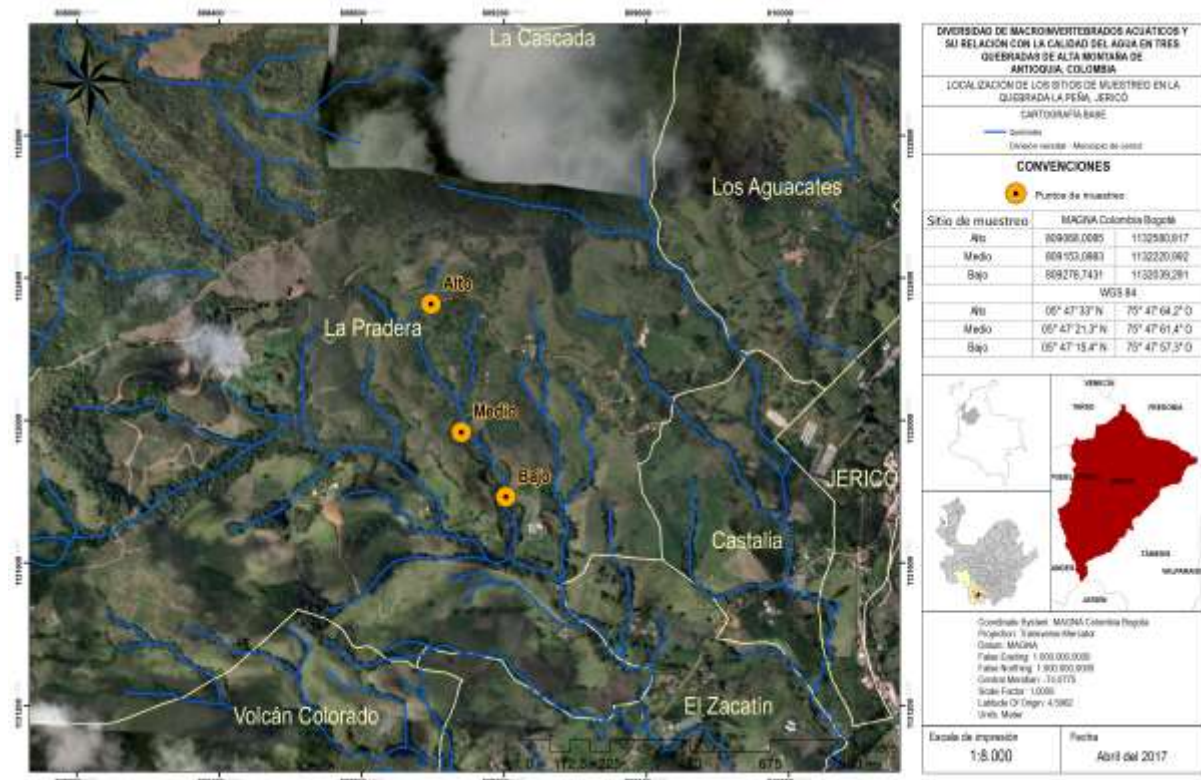
Trabajos en escalas más finas tratan de identificar el potencial de una familia o de un género de macroinvertebrados para determinar el estado del cuerpo de agua. Tal es el caso del trabajo de López *et al.*, (2006), en el que se comprobó el potencial de los tricópteros como indicadores biológicos. Mientras que algunos estudios regionales, como los de Pulgarín Silva (2006), abordan aspectos socioambientales mediante la elaboración de inventarios, de la microcuenca La Brizuela (oriente antioqueño) con una aproximación al contexto territorial del área de estudio. Trabajos como este enfatizan en la importancia de que los estudios de calidad de agua tengan en cuenta el uso de los terrenos aledaños a la microcuenca, en términos de su fauna, flora y cobertura vegetal, y que promuevan en sus habitantes prácticas de apropiación y protección ambiental que aseguren una calidad sostenible del recurso hídrico.

5 METODOLOGIA

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

Jerico- Quebrada La Peña.

La Quebrada La Peña está ubicada en la zona de vida conocida como bosque húmedo premontano (Holdridge, 1996) al Suroeste del Departamento de Antioquia en el Municipio de Jericó (latitud norte 5° 47' 41''; longitud oeste 75° 47' 06''). Se localiza en la cuenca La Peña con un área de 39 hectáreas, con un caudal mínimo de 6,0 l/seg, medurado por encima de la cascada en el sitio de captación, y medido en tiempo de verano intenso. La Quebrada La Peña nace en la vereda La Pradera, parte integral de la reserva municipal Las Nubes. Aguas abajo, la fuente discurre entre dos propiedades con deficiente cobertura vegetal antes de su captación en la cota 2000 msnm, mediante represa sobre el lecho rocoso por encima de un salto conocido como La Peña. En la vereda la Pradera se concentra la explotación agrícola, principalmente del café. (Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial, Municipio de Jericó, Antioquia, 2010). (Ver figura 1).



**Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en la quebrada La Peña, Jericó (Antioquia).
Guarne- Quebrada La Brizuela**

La Quebrada La Brizuela está ubicada en la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (Holdridge, 1996), al Oriente del Departamento de Antioquia en el Municipio de Guarne (latitud norte $6^{\circ}17'55''$; longitud oeste $75^{\circ}24'20''$). La microcuenca tiene un área de 730 hectáreas, presenta un rango altitudinal que va desde los 2150 hasta los 2500 msnm. El 80% de la cuenca se encuentra por encima de los 2300 msnm. (Pulgarín Silva, 2006) El uso actual del suelo que predomina en esta cuenca es el de pasturas mezcladas con plantaciones de coníferas, además la zona de la vereda Piedras Blancas está siendo deforestada para el establecimiento de cultivos de papa, que luego son reemplazados por pastos, tanto naturales para ganado de carne como pastos mejorados para ganado de leche (Cornare, 2006). (Ver figura 2).

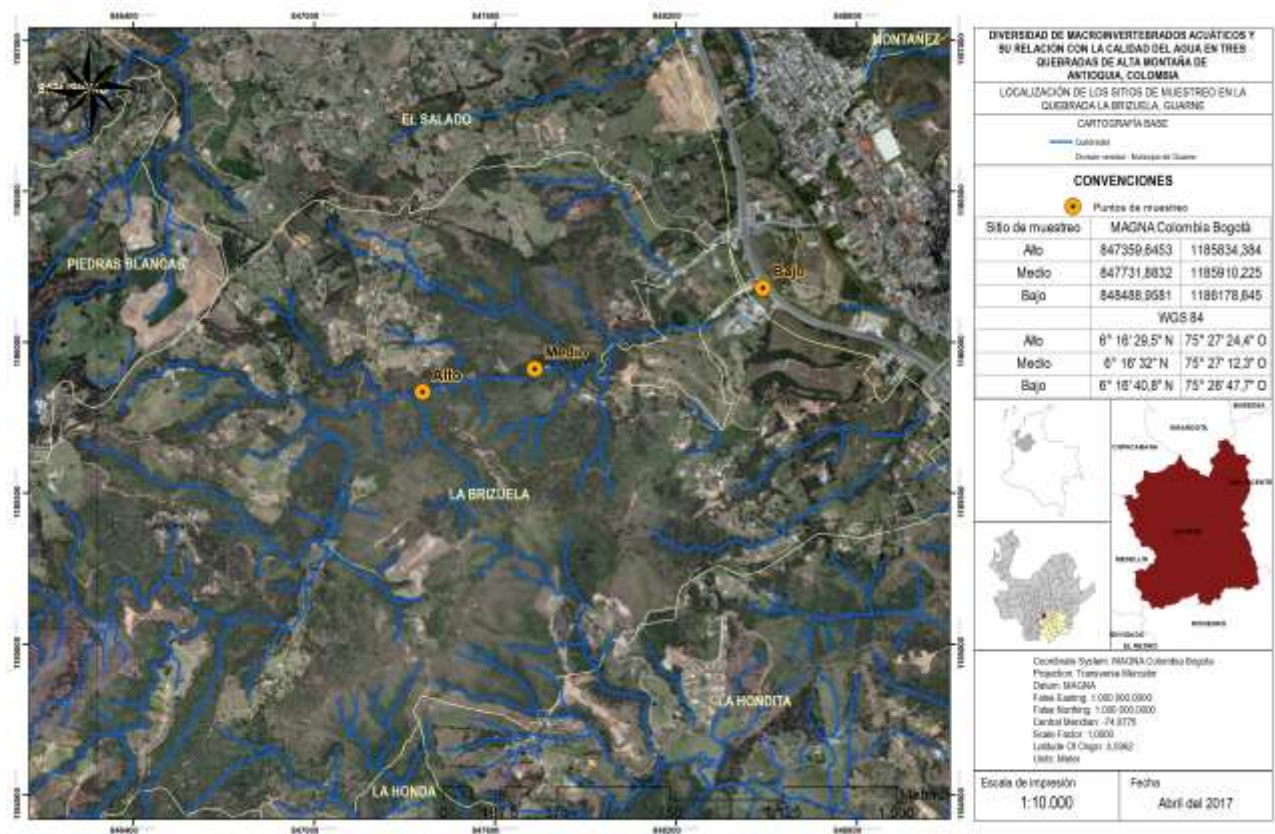


Figura 2. Localización de los sitios de muestreo en la quebrada La Brizuela, Guarne (Antioquia).

Santa Rosa de Osos – Quebrada Las Cruces

La Quebrada Las Cruces está ubicada en la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (altiplano) y bosque muy húmedo premontano (vertiente) (Holdridge, 1996), al norte del Departamento de Antioquia en el Municipio de Santa Rosa de Osos (latitud norte 6°39'21"; longitud occidental 1°22'40") (Ramírez Arciniegas, 2012). Se localiza en la cuenca Guadalupe, posee un caudal mínimo de 149. 81 l/s, un índice de escasez alto (89) y un porcentaje de la oferta hídrica utilizada de menos del 40%. Además se encuentra a una altura de 2630 msnm (Jaramillo et. al. 2011) En cuanto al uso del suelo, se presenta la ganadería extensiva y semi intensiva, las zonas de destinaciones agrícolas, bosque comercial, entre otras. (Gobernación de Antioquia, 2015). (Ver figura 3).

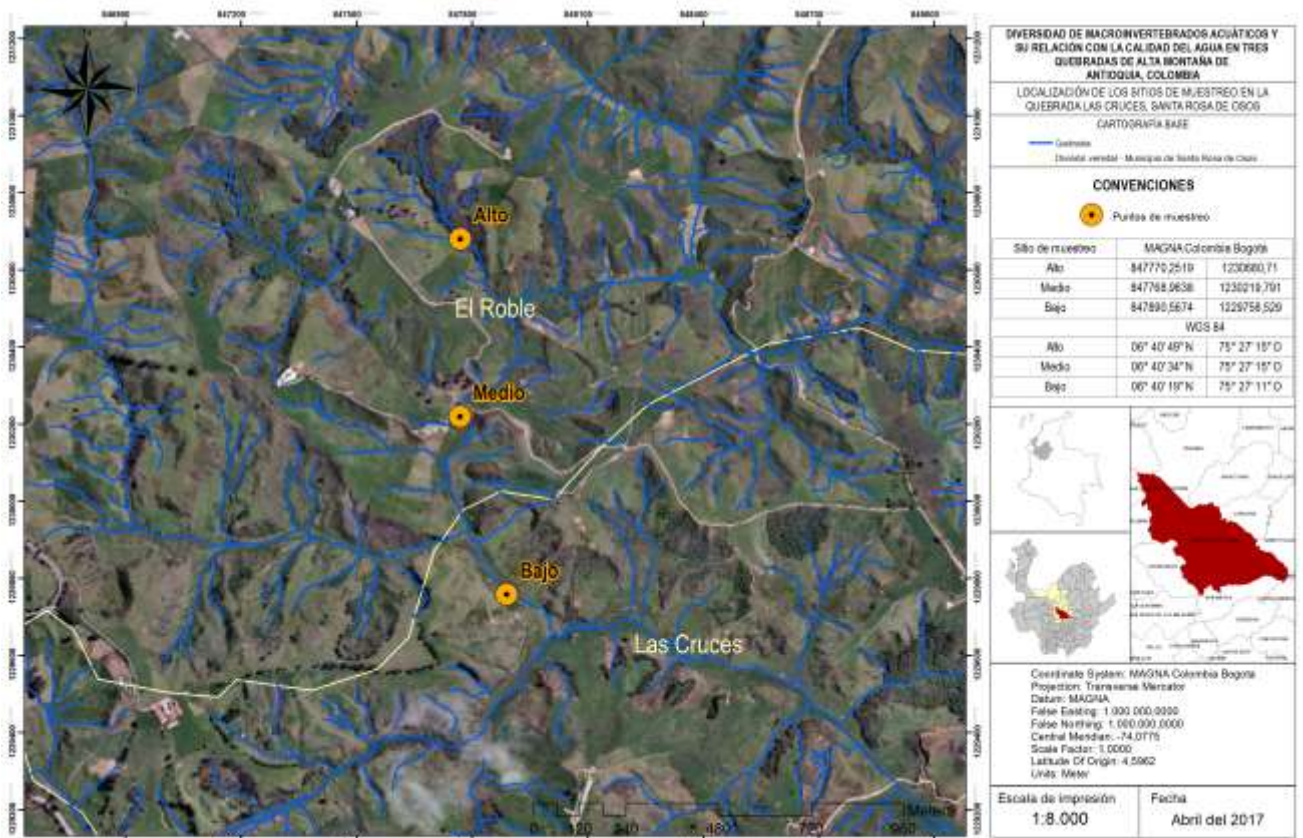


Figura 3. Localización de los sitios de muestreo en la quebrada Las Cruces, Santa Rosa de Osos (Antioquia).

5.2 DISEÑO DE MUESTREO

En cada una de las tres quebradas en estudio (figura 1, figura 2 y figura 3), se ubicaron tres sitios de muestreo representativos (E1: tramo alto, E2: tramo medio, E3: tramo bajo) a lo largo del gradiente longitudinal del cuerpo de agua, discriminado por hábitat contrastante. Los sitios se establecieron de acuerdo con la estructura física del hábitat correspondiente a cada tramo (tabla 1). Cada sitio de muestreo está constituido por un transepto de 9 m², divididos en 3 réplicas de 3 m² cada una (figura 4 y 5), como se describe en la tabla 1, usando el protocolo de AUSRIVAS. El aporte de materia orgánica proveniente de vegetación de ribera se valoró cualitativamente como presencia - ausencia en cada sitio de acuerdo a las coberturas de los cauces. La quebrada que se consideró con mejor cobertura fue la quebrada

La Brizuela en el tramo alto y medio, mientras que la quebrada Las cruces fue la que menor cobertura presentó en los tres tramos.

Tabla 1. Tipos de sustrato y de hábitat hidráulico con relación al tramo.

Tramo	Sustrato	Corriente (hábitat hidráulico)
Alto	Peñas, rocas medianas y canto rodado	El tipo de corriente que se presenta es de chorros rápidos
Medio	Guijarro y grava	Se caracteriza por ser un canal más amplio de menor profundidad, con rizos y pozas.
Bajo	Arena y limo. Presencia de vegetación sumergida	Corriente pozas o tablas (flujo laminar)

Las fechas de muestreo corresponden al periodo de lluvia entre noviembre y diciembre de 2015 y el periodo seco entre febrero y marzo de 2016. (Figura 4 y figura 5).

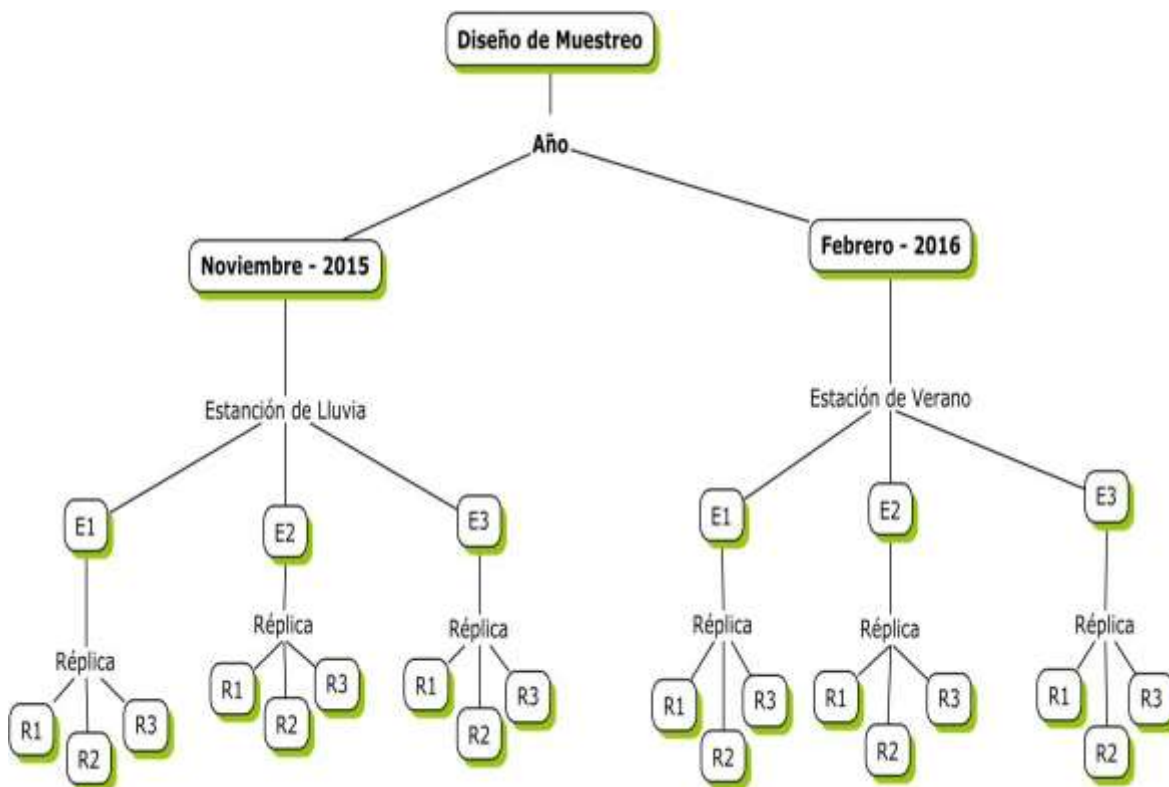


Figura 4. Diseño muestreo aplicado en cada una de las tres quebradas por estación (E) y réplicas (R).

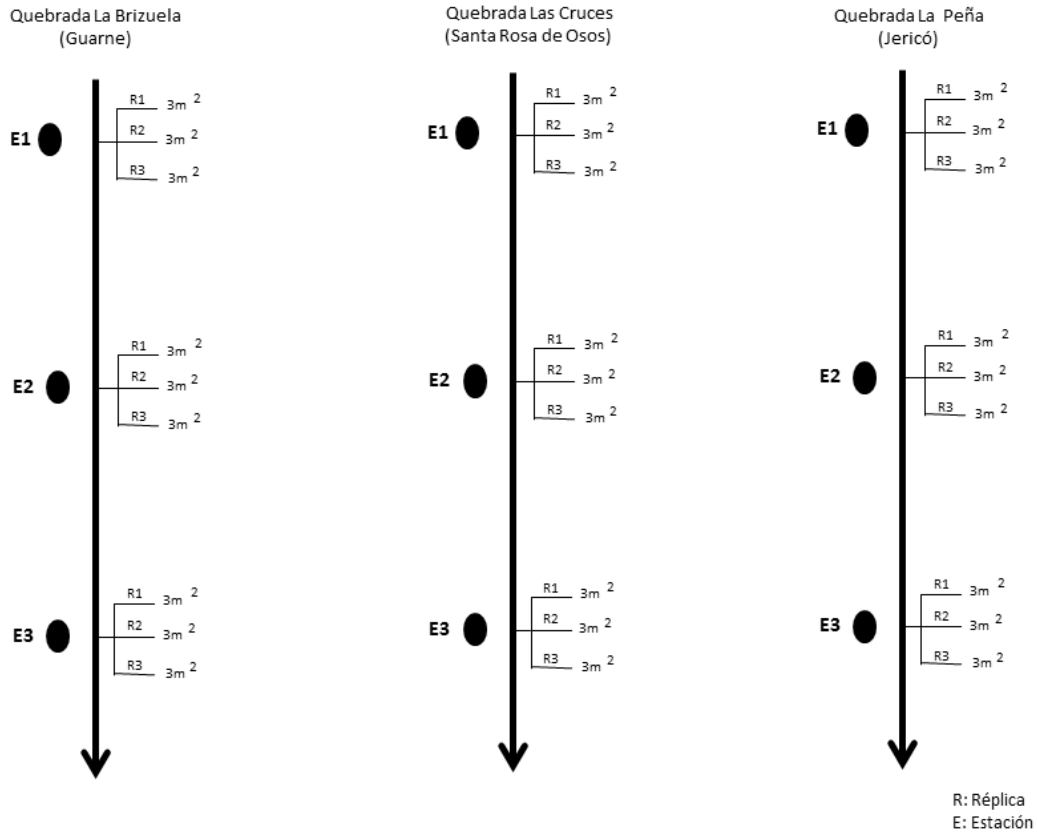


Figura 5 Diseño de muestreo general.

5.3 METODOS DE CAMPO

Para cada una de estas estaciones se establecieron los rasgos físicos más relevantes, como:

Profundidad media: referida a la pendiente transversal del fondo siendo una relación entre área transversal (A) y ancho del canal (w) (Roldán, 1992, p. 121), así:

$$\underline{d} = \frac{A}{w}$$

Para su determinación, se hizo una medición con una vara con escala graduada en centímetros, a lo ancho de la quebrada en cada punto, y se sacó el promedio de las profundidades medidas, además de hacer las respectivas medidas del ancho del canal de la quebrada.

Velocidad media del agua: es la distancia que una masa de agua recorre en una unidad de tiempo y se mide por lo regular en metros por segundo (m/s). Para su determinación se tomó una esfera de icopor pequeña y se midió el tiempo que se demora en recorrer una distancia conocida en metros. Cada muestra se hizo con 5 repeticiones.

Tipo de sustrato: se tuvo en cuenta tipos y tamaños de sustrato minerales que aparecen en el lecho fluvial, y se consideró como sustratos orgánicos la hojarasca y vegetación sumergida. Desde la ribera del río, y sin perturbar el lecho, fueron descritos cada uno de los sustratos minerales en función de la velocidad de la corriente (zonas rápidas y lentas). El criterio usado para la clasificación se tomó de la tabla 2, planteado por Rodríguez et al. 2009 y la descripción general del hábitat se hizo con base en el protocolo de AURIVAS.

Tabla 2. Tipos de sustratos y sus características. Tomado de Rodríguez *et al.* 2009, p 256

Tipos	Características
Sustrato mineral	
Rocas y bloques	Diámetro mayor > 25 cm
Cantos	Diámetro 6-25 cm
Guijarros	Diámetro 2-6 cm
Grava	Diámetro 0,2-2 cm
Arena	Partículas de 6 μ m a 2 mm. Presentan un tacto áspero
Limo/arcilla	Partículas < 6 μ m. Presentan un tacto suave
Sustrato orgánico	
Masas flotantes	Macrófitos flotantes. Masas de bacterias, hongos, musgos o algas. Normalmente acompañados de detritus
Algas	Algas filamentosas, diatomeas
Macrófitos sumergidos	Macrófitos, incluidas briófitos y caráceas
Macrófitos emergentes	Por ejemplo: <i>Typha</i> , <i>Carex</i> , <i>Phragmites</i>
Partes vivas de vegetación terrestre	Raíces o ramas de vegetación riparia
Madera muerta	Troncos, ramas, madera muerta
MOPG	Detritus grueso (> 1 mm): hojas, etc.
MOPF	Depósitos de detritus finos. No se distinguen sus constituyentes

Cobertura vegetal: se hizo de manera cualitativa, es decir, se calculó visualmente la densidad de las especies vegetales presentes en cada una de las estaciones de muestreo. Varias personas recorrieron todo el tramo, registrando la abundancia de cada tipo de hábitat, y se ponderó su cobertura en cada tramo (Rodríguez *et al.* 2009, p. 256).

En general la descripción del hábitat, incluyendo, tipos de sustratos, tipo de corrientes, profundidad, cobertura vegetal, se hizo teniendo en cuenta el protocolo de AUSRIVAS (el Australian River Assessment System es el sistema Australiano oficial para evaluar la condición de un río utilizando macroinvertebrados, y es el protocolo usado por la

APA) para ríos andinos, el cual fue una modificación del protocolo utilizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos en la bioevaluación de los ríos (Barbour *et al.* 1999). En el Anexo 2 se puede observar los diferentes parámetros con que se evaluó el río, permitiendo así calcular el valor del índice de hábitat.

5.3. 1 Recolección de muestras biológicas

Los macroinvertebrados fueron recolectados utilizando una red triangular y una red de pantalla situada a contracorriente y posteriormente revisada. (Un arrastre con red triangular y uno con pantalla por cada réplica). El material recolectado con la red triangular en cada estación fue almacenando en bolsas plásticas rotuladas tipo Ziploc, con alcohol al 70%. Así mismo, en cada estación se efectuó recolección manual de individuos metro a metro para coleccionar en todos los posibles hábitats de cada sitio como vegetación, restos de madera sumergida, rocas, entre otros, por lapsos de treinta minutos en cada sitio, empleando diez minutos aproximadamente por cada réplica. Los especímenes se depositaron en pequeños recipientes de plástico con alcohol al 70% discriminando por quebrada, sitio, réplica y hábitat.

5.3. 2 Medición de parámetros fisicoquímicos

En cada tramo y réplica de las quebradas se midió *in situ* variables químicas y físicas como pH, conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), oxígeno disuelto (mg/l) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$), usando celdas multiparámetro Marca Hash de acuerdo con el estándar methods.

5.4 MÉTODOS DE LABORATORIO

Se procedió a la limpieza de todo el material, su separación y posterior determinación taxonómica (hasta el nivel de género), para la cual se contó con claves taxonómicas de Roldán Pérez (2003), Roldán Pérez (1996), Álvarez (1982), Arango (1983), Aristizábal (2002), Bedoya (1984), Domínguez y Peters (1992), Domínguez y Fernández (2009) y la

asesoría de profesionales expertos en taxonomía de macroinvertebrados acuáticos del grupo de investigación en Limnología y Recurso Hídricos de la Universidad Católica de Oriente, para mejorar las labores de identificación y determinación de los especímenes. Previo registro fotográfico, los organismos fueron almacenados en recipientes pet cristal de 30cc y depositados en la colección de referencia de la Universidad Católica de Oriente (registrada ante el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt).

5.5 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

Descripción de la estructura biológica de la asociación de macroinvertebrados en cada sitio de muestreo

Abundancia relativa: la abundancia de la especie i dividida entre la suma total de abundancias de la riqueza de especies que integran la comunidad. (Moreno *et al.*, 2011).

Riqueza específica (S): número total de especies por un censo de la comunidad. (Moreno, 2001).

Diversidad (Shannon-Weaver, 1949): Este índice refleja igualdad: mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor, unidades bits/individuo. Fórmula (Roldán, 2003):

$$H' = \sum_i^s = 1 \left(\frac{n_i}{n} \right) \log(n_i/n)$$

Donde:

H' = índice de biodiversidad

n_i = número de individuos por especie

n = número total de individuos

$\log N$ = logaritmo natural

S = número de especies

Para su cálculo se utilizó biodiversity pro.

Dominancia (Simpson, 1960):

$$D = \frac{\sum_i^s = 1 ni(n - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

ni= número de individuos por especie

N= número de individuos

S= número de especies

(Roldán, 2003).

Para su cálculo se utilizó biodiversity pro.

Serie de números de Hill (Hill, 1973):

$$NA = \sum (p_i)^{1(1-A)}$$

Es una serie de números que permiten calcular el número efectivo de especies en una muestra, es decir, una medida del número de especies cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa. De toda la serie, los más importantes son:

N0 = número total de especies (S)

N1 = número de especies abundantes = e H'

N2 = número de especies muy abundantes = 1/λ

Se dan en unidades de número de especies. (Moreno, 2001).

Para su cálculo se utilizó PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis.

Equidad de pielou:

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

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

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 0.1, de forma que 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes. (Moreno, 2001). Para su cálculo se utilizó biodiversity pro.

El índice de Bray–Curtis: se considera como una medida de la diferencia entre las abundancias de cada especie presente (Brower y Zar, 1984), y se expresa mediante:

$$I_{BC} = 1 - \frac{\sum(x_i - y_i)}{\sum(x_i + y_i)}$$

donde: x_i = abundancia o densidad de especies i en un conjunto 1; y_i = abundancia de las especies en el otro. (Argumedo H. y Siqueiros B., 2008). Para su cálculo se utilizó biodiversity pro.

Índice Australian River Assessment (AusRivAS): el Australian River Assessment System es el sistema Australiano oficial para evaluar la condición de un río utilizando macroinvertebrados. Dentro de sus componentes se evalúa la condición física del río, en donde se incluye la estimación de la condición física del hábitat existente, evaluados en campo. Para determinar el índice de hábitat se utilizó una tabla para evaluar los parámetros como sustrato para epifauna / cobertura disponible, caracterización del sustrato en las charcas, variabilidad de las charcas, deposición de sedimentos, estado del canal de flujo alteración del canal y Parámetros de Hábitat (Ver anexo 2) obteniendo los diferentes resultados por tramo y periodo en cada una de las quebradas (ver anexo 3). Con dichos resultados se llevó a cabo la regresión múltiple entre índice de hábitat con pH, temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/l), conductividad (μ S/cm) y velocidad (m/s).

Análisis de variabilidad y correlación

Estadística descriptiva: se realizó una descripción del conjunto de los datos obtenidos mediante medidas de tendencia central, posición y dispersión, como frecuencias, media, desviación estándar y coeficiente de variación.

ANOVAS (Analysis of Variance): el análisis de varianza factorial permite evaluar de forma simultánea los efectos que tienen varios factores sobre la variable respuesta

(Mancera *et al.* 2003) En donde se utiliza un nivel de significancia de $P < 0.05$ y se verificarán los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Para los supuestos de normalidad se verifican con Shapiro-Wilk normality test y en el caso de homogeneidad de varianza o varianza constante (homocedasticidad) con Brown-Forsythe Levene-type test modificado en las desviaciones absolutas de la mediana y pruebas simultáneas para hipótesis lineales generales, y la prueba de contraste se verifica con el test de comparación múltiple -Tukey Contrasts. En este caso los factores comparados fueron las quebradas, los tramos de las quebradas (alto, medio y bajo) y los periodos (seco y lluvia), mientras que las variables dependientes fueron los parámetros fisicoquímicos y descriptores biológicos como abundancia y riqueza.

Regresión múltiple: el análisis de regresión consiste en la medición del “grado de dependencia” de una variable dependiente (Y) sobre una variable independiente (X). Esta última es manipulada por el investigador, es decir, éste decidirá qué valores asumirá tal variable, mientras los de la dependiente están determinados por la relación que existe (si es que la hay) entre ambas variables. Así entonces, el análisis de regresión es aconsejable en aquellas situaciones experimentales donde el investigador controla la variable independiente: este tipo de análisis se puede emplear para predecir el valor de “Y” que resulta de la aplicación de un valor específico de “X” (Schifler, 1981). Este análisis se utilizó para establecer el grado de dependencia de la riqueza y la abundancia de macroinvertebrados sobre los diferentes factores ambientales medidos (tipo de corriente, sustratos, variables fisicoquímicas, entre otros).

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa estadístico RWizard Versión 1.2. de Cástor Guisande González, Antonio Vaamonde Liste y Aldo Barreiro Felpeto del 2016.

Calidad del agua: para hallar la calidad del agua se utilizó el *Índice BMWP/Col* (Biological Monitoring Working Party) En donde el puntaje del análisis se da en una escala entre 1 y 10 de acuerdo a la tolerancia de los diferentes grupos de macroinvertebrados

acuáticos a la contaminación orgánica. Valores cercanos a 10, se les atribuyen a aquellas familias más sensibles ante la contaminación, mientras que a las familias con mayores niveles de tolerancia se les asignan valores de bajos (cerca de 1). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total *BMWP/Col*. Con base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados (al menos hasta la categoría taxonómica de familia), se propone utilizar el *BMWP/Col*, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos del país (Roldán, 2003 modificado por Álvarez, 2005). Para estimar el puntaje de los macroinvertebrados se utilizaron los siguientes datos propuestos por Álvarez (2005):

Tabla 3. Estimación de los puntajes de los macroinvertebrados acuáticos

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemeraeidae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesovelidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephyridae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae, Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae	2
Haplotaenidae, Tubificidae	1

Para clasificar las aguas y su significado ecológico, se utilizaron los intervalos propuestos por Álvarez (2005):

Tabla 4. Intervalos para la clasificación de la calidad del agua

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
I	Buena	≥150	Aguas muy limpias	Blue
		123-149	Aguas no contaminadas	Cyan
II	Aceptable	71-122	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	Green
III	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	Yellow

6 RESULTADOS

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT

En términos físicos, se analizó en cada una de las quebradas, por tramo, el tipo de sustrato, corriente y cobertura vegetal. Ver anexo 1 y tabla 5. La división por tramos con diferentes condiciones de hábitat, se llevó a cabo con el fin de establecer la comparación entre las quebradas y determinar el grado de influencia que tienen estos factores para caracterizar la asociación de macroinvertebrados en cada uno de los tramos de las tres quebradas.

Tabla 5. Datos generales del hábitat, los sitios de muestreo en las quebradas Las cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) y La Peña (Jericó), durante el ciclo hidrológico 2015 – 2016

<i>Quebrada</i>	<i>Sitio de muestreo</i>	<i>Tipo de sustrato mineral, corriente y cobertura vegetal</i>
Las Cruces	Alto	Predomina el tipo de sustrato como guijarro y arena, además de sedimentos y escasa cobertura vegetal.
	Medio	Predomina el tipo de sustrato como arena, además de sedimentos y escasa cobertura vegetal.
	Bajo	Predomina el tipo de sustrato como guijarro y arena, además de sedimentos y escasa cobertura vegetal.
La Brizuela	Alto	Predomina la grava y la arena, posee abundante cobertura vegetal herbácea y árboles en ambas riberas. El tipo de corriente es poza, cascada.
	Medio	Predomina canto rodado, posee abundante cobertura vegetal herbácea y árboles en ambas riberas. El tipo de corriente es poza, rizos.
	Bajo	Predomina sedimento y arena, posee escasa cobertura vegetal en ambas riberas. El tipo de corriente es poza
La Peña	Alto	Predomina tipo de sustrato peña, además poseen abundante cobertura vegetal en ambas riberas. Tipo de corriente poza, cascada.
	Medio	Predomina tipo de sustrato peña, canto rodado y guijarro, posee abundante cobertura vegetal en ambas riberas. Tipo de corriente rizos
	Bajo	Predomina tipo de sustrato peña, canto rodado y guijarro, posee abundante cobertura vegetal en ambas riberas. Tipo de corriente poza

6.2 PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA

El pH fue relativamente homogéneo entre quebradas y tramos, y se mantuvo en el rango de 6.8 a 7.9. Se presentaron diferencias significativas entre el periodo de lluvia y sequía ($p=0.0001$) en todas las quebradas, ya que en el periodo seco se presentaron valores de pH relativamente básicos.

En el periodo seco hubo diferencia significativas entre quebradas ($P=0,0001$) siendo la quebrada La Peña la que presentó los menores valores independientemente del tramo de muestreo. En el periodo de lluvias por el contrario fue la quebrada La Peña la que presentó los pH más básicos independientemente del tramo. Las quebrada Las Cruces y La Brizuela aportaron a las diferencias significativas entre tramos ($p=0,0001$) debido a que el tramo bajo mostró menores los valores de pH en todos los periodos de muestreo, especialmente en Las Cruces. (Ver figura 6, anexo 3)

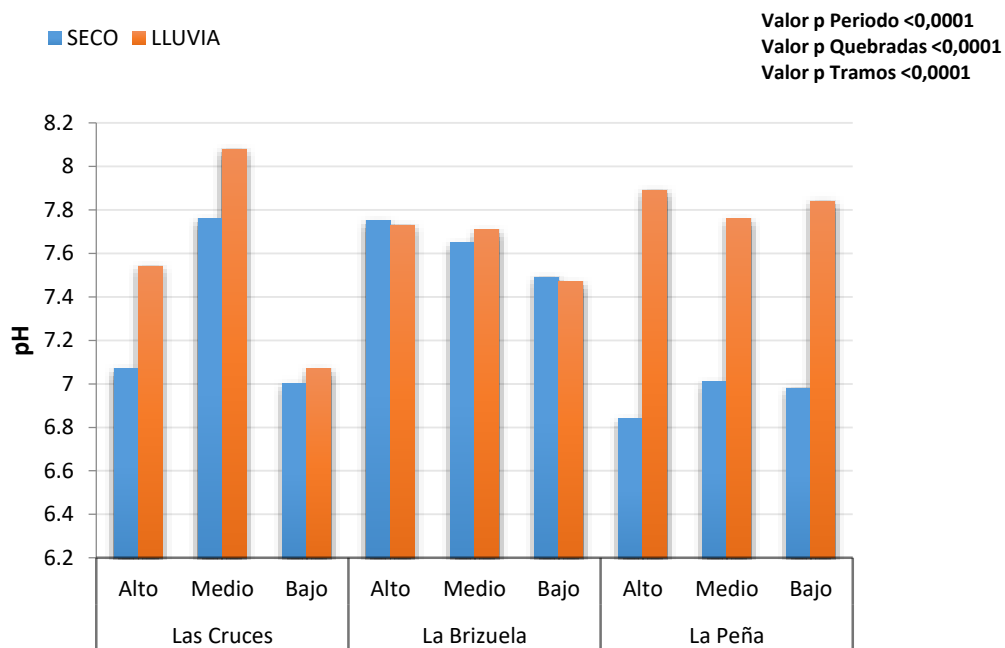


Figura 6. pH por tramo y periodo de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y la Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

La temperatura entre quebradas y tramos, presentaron diferencias significativas ($p=0.0001$) entre el periodo de lluvia y sequía en todas las quebradas, como también diferencia significativa entre el tramo Alto y bajo ($p < 0,0001$) y entre el tramo Alto y medio ($p= 0.000201$), las temperaturas oscilan entre 15.3°C y 18.4°C . (Ver figura 7, anexo 3).

Las mayores diferencias entre el periodo lluvia y seco se presentó en la quebrada las cruces (del orden de 2 grados) y las menores en la quebrada la peña. Las quebradas La Brizuela y La peña presentan mayores temperaturas en el tramo bajo, en cada uno de los periodos, excepto en las cruces, donde el tramo bajo presentó las menor temperatura independientemente del periodo hidrológico. (Ver figura 7, anexo 3).

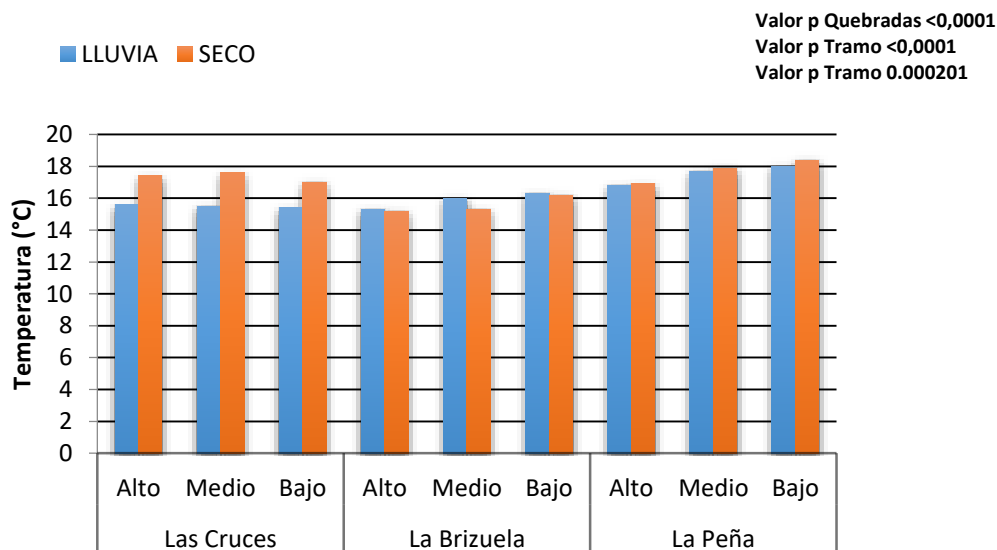


Figura 7. Temperatura por tramo y periodo de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

La conductividad entre quebradas presentaron diferencias significativas ($p=0.03003$) en los tramos alto medio y bajo de cada una de las quebradas, y una diferencia significativa ($p=0.00000001053$) entre el periodo de lluvia y seco en todas las quebradas.

Tanto en el periodo seco como lluvia, la quebrada Las Cruces fue la que presentó la conductividad más baja en el tramo alto como medio con $0.02 \mu\text{S}/\text{cm}$. En el periodo lluvia y seco, la quebrada La Brizuela se destaca por tener la conductividad más alta independiente de los tramos (entre $260 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $281 \mu\text{S}/\text{cm}$) En las tres quebradas, independiente de los periodos, en el tramo alto se presenta menor conductividad y en el tramo bajo se presenta mayor conductividad, con excepción a la quebrada La Brizuela, que presenta en el periodo seco los valores a la inversa (mayor en el tramo alto y menores en el tramo bajo). (Ver figura 8, anexo 3)

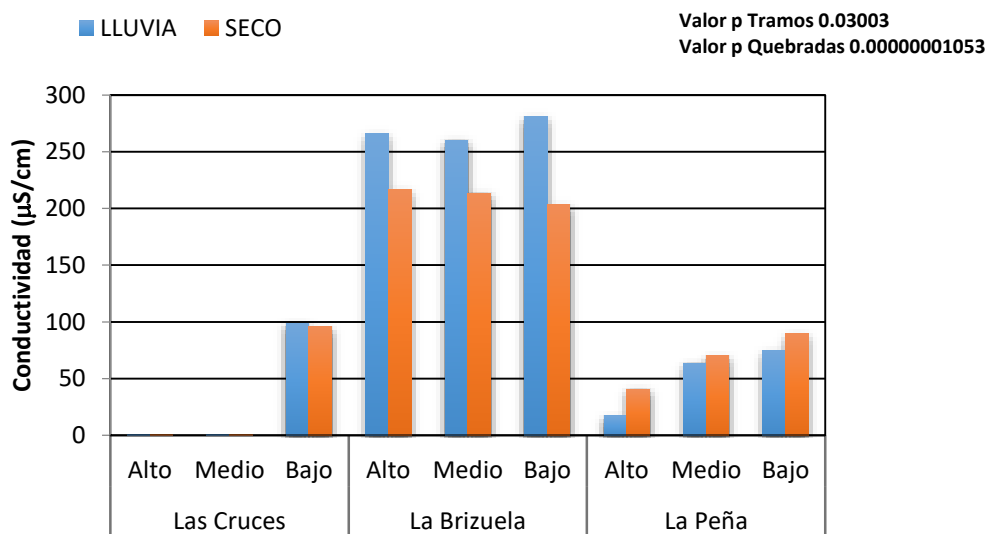


Figura 8. Conductividad entre tramos y periodos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

El oxígeno disuelto entre quebradas y tramos, presentaron diferencias significativas ($p=0,0000001$) entre el periodo de lluvia y sequía en todas las quebradas como también se presentó entre las tres quebradas ($p < 0,0000001$) y entre los tres tramos ($p < 0,0000001$).

La quebrada La Brizuela presenta mayores índices de oxígeno disuelto tanto en el período seco como en el período lluvia en cada uno de los tramos. El mayor índice de oxígeno

disuelto se presenta en el tramo alto en la quebrada Las Cruces en el período seco y la quebrada La Peña en el período lluvia. (Ver figura 9, anexo 3)

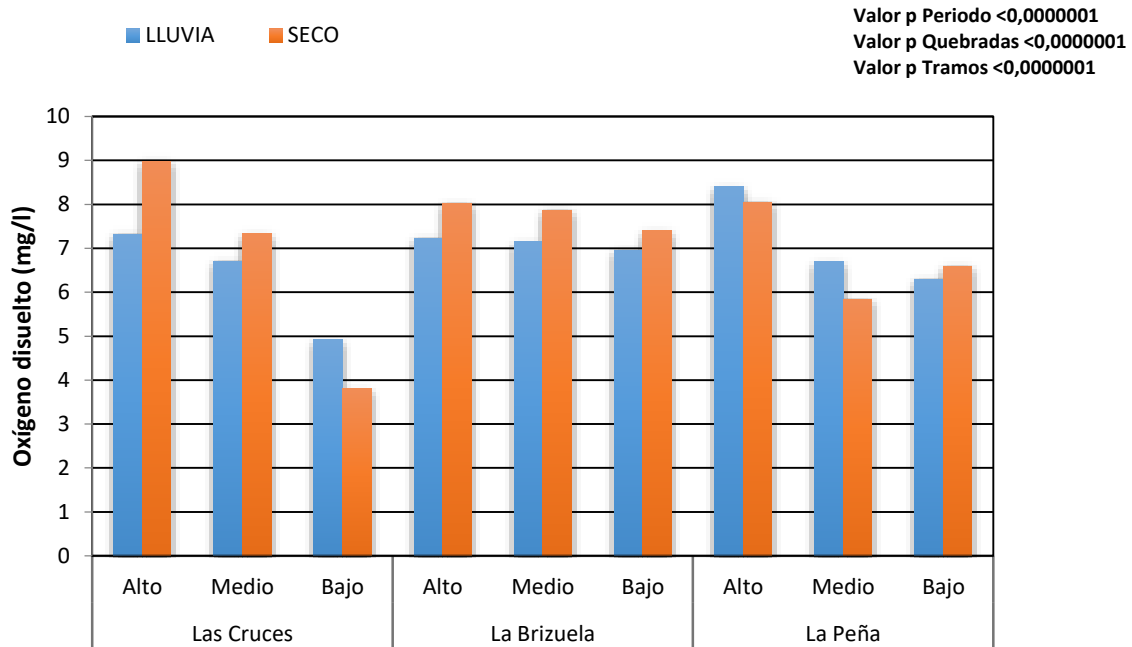


Figura 9. Oxígeno disuelto por tramo y periodo de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

La velocidad media presenta una diferencia entre periodos ($P= 0.004647$). La quebrada Las Cruces en el tramo medio presenta los valores más altos en velocidad media tanto en el periodo seco como en el periodo lluvia. Los valores más bajos los presenta la quebrada Las Cruces en el tramo bajo, en el periodo lluvia, y la quebrada La Brizuela en el tramo medio en el periodo seco. La quebrada Las Cruces presenta la menor variabilidad en la velocidad media entre cada uno de los periodos, mientras que la quebrada La Brizuela presenta una gran variabilidad entre los periodos en el tramo alto y la quebrada La Peña en el tramo medio y bajo. (Ver figura 10, anexo 3)

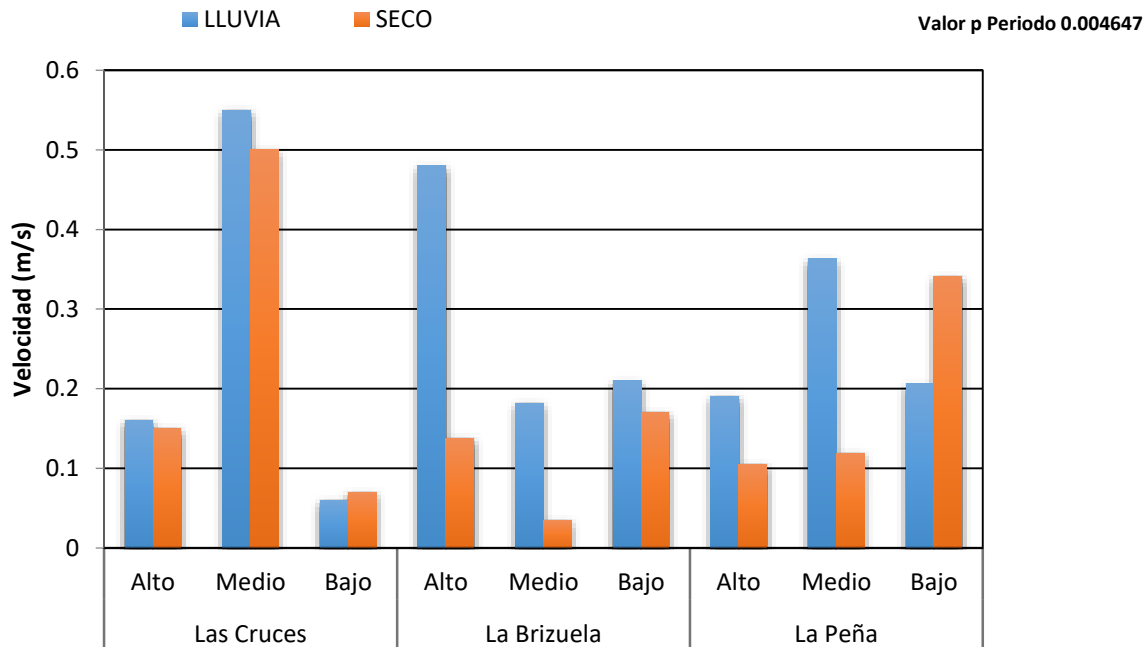


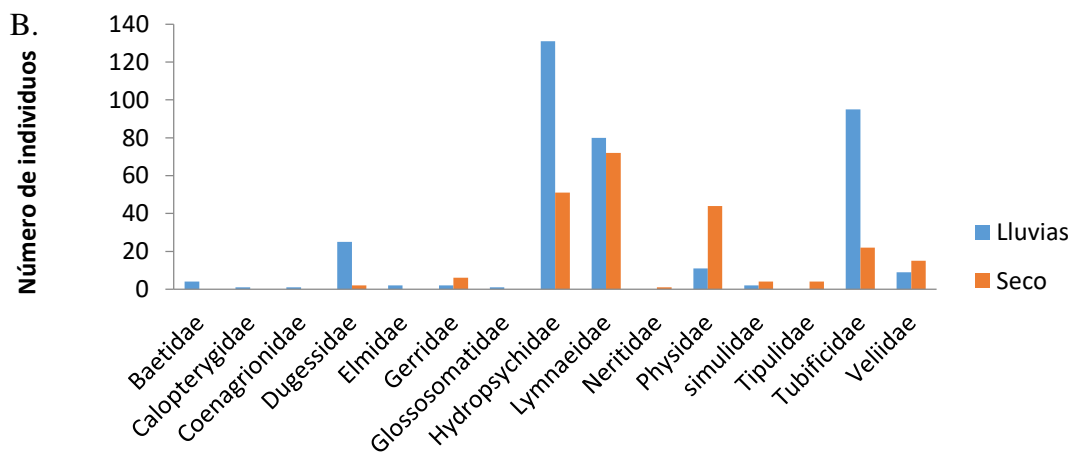
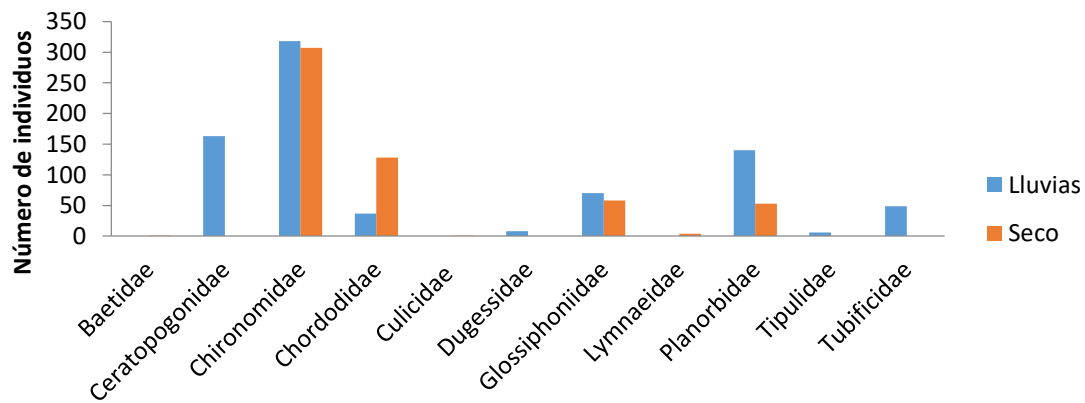
Figura 10. Velocidad media por tramos y periodos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

6.3 COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS

La asociación de especies de macroinvertebrados acuáticos estuvo compuesta por 17 órdenes, 38 familias y 70 géneros; el mayor número de géneros fue para el orden Diptera (13), seguido por Coleoptera (12), Hemiptera (9), Tricoptera (8), Odonata (6), Glossiphoniiformes (4), Haplotaxida (3), Ephemeroptera (3), Hygrophila (3). Dentro de los órdenes recolectados los que presentaron mayor números de individuos fueron: Diptera (40.9%), Hygrophila (11.8%), Gordioidea (11.4%), Tricoptera (10.7%), Haplotaxida (6.5%) y Odonata (5.8%).

Teniendo en cuenta la totalidad de los sitios de muestreo en los dos periodos de muestreo, el mayor número de individuos colectados se presentó en la quebrada Las Cruces (1343), representados el 46.53% en la familia Chironomidae y un 4.05% en la familia

Planorbidae. Las familias menos predominantes en estas estaciones en número de individuos son Baetidae y Culicidae, representados en un 0.074% cada uno (figura 11A). En la quebrada La Brizuela (585) el mayor número de individuos colectados, representa un 31.1 % en la familia Hydropsychidae y un 25.9% en la familia Lymnaeidae; el menor número de individuos encontrados son Calopterygidae, Coenagrionidae y Glossosomatidae, representado en un 0,17% cada uno (figura 11B). En la quebrada La Peña (1460) el mayor número de individuos colectados fue de 34.4% en la familia Chironomidae y un 9.2% de la familia Hydrobidae; mientras que el menor número de individuos encontrados fueron: Baetidae, Glossiphoniidae, Pseudothelpusidae y Pyralidae representado en un 0,068% cada uno (figura 11C).



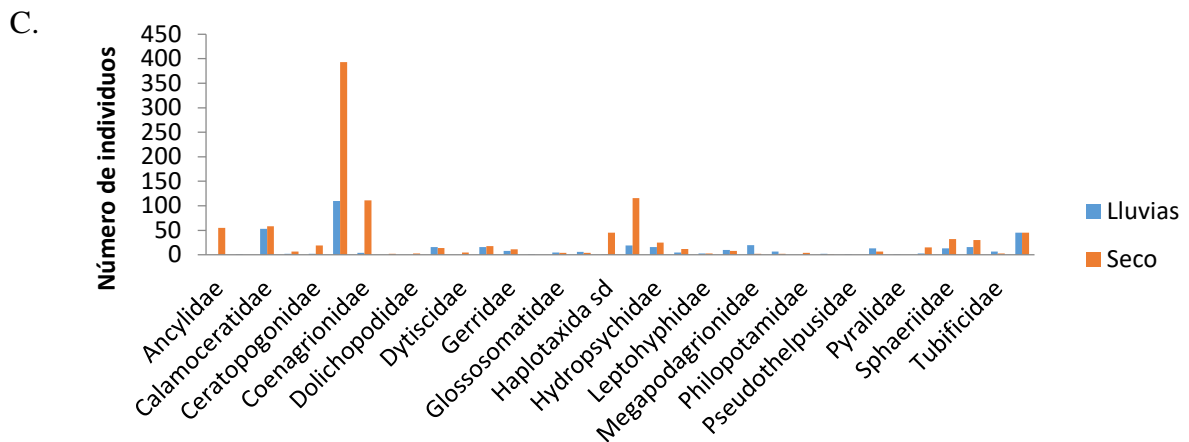


Figura 11. Variación temporal en el número de individuos por familia en las quebradas A) Las Cruces B) La Brizuela y C) La Peña, durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

La quebrada La Brizuela y Las Cruces no compartieron géneros, mientras que las quebradas Las Cruces y La Peña compartieron tres géneros (Ceratopogonidae: *Alluaudomya*, Chironomidae: Orthocladinae y Tanypodinae) y la quebrada La Brizuela y La Peña compartieron tres géneros (Simuliidae: *Simulium*, Baetidae: *Baetodes*, Tubificidae: Tubificidae sd.), ver tabla 6.

Tabla 6. Lista de órdenes, familias y géneros de macroinvertebrados acuáticos encontrados en tres quebradas de alta montaña en noviembre de 2015 y febrero de 2016.

Orden	Familia	Género	Quebrada La Brizuela (Guarne)	quebrada las cruces (santa rosa de osos)	Quebrada La Peña (Jericó)	
Archaeogastropoda	Neritidae	<i>Neritidae sd</i>	x			
Basommatophora	Ancylidae	<i>Ancylus</i>			x	
Coleoptera	Coleoptera sd.	<i>Coleoptera sd.</i>			x	
	Dytiscidae	<i>Laccophilus</i>			x	
	Elmidae	<i>Cylloepus</i>				x
		<i>Elmidae sd.</i>				x
		<i>Heterelmis</i>				x
		<i>Hexanchorus</i>		x		
		<i>Macrelmis</i>		x		
<i>Stenelmis</i>					x	

	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>			X
		<i>Stenelmis</i>			X
Decapoda	Pseudothelphusidae	<i>Hypolobocera</i>			X
Diptera	Ceratopogonidae	<i>Alluaudomyia</i>		X	X
		<i>Probezzia sp1</i>			X
		<i>Stilobezzia sp1</i>			X
	Chironomidae	<i>Orthocladinae</i>		X	X
		<i>Chironomidae morfo 1</i>			X
		<i>Chironomidae morfo 2</i>			X
		<i>Tanypodinae</i>		X	X
	Culicidae	<i>Culicidae sd</i>		X	
	Dolichopodidae	<i>Rhaphium</i>			X
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	X		X
	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>			X
		<i>Limonia</i>			X
		<i>Tipula</i>	X	X	X
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetide sd.</i>		X	
		<i>Baetodes</i>	X		X
	Leptohiphidae	<i>Tricorythodes</i>			X
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	<i>Glossiphoniidae sp1.</i>		X	
		<i>Glossiphoniidae sp2.</i>		X	
		<i>Glossiphoniidae sp3.</i>		X	
		<i>Oligobdella</i>			X
Gordioidea	Chordodidae	<i>Neochordodes</i>		X	
Haplotaxida	Haplotaxida sd	<i>Haplotaxida sd</i>			X
	Tubificidae	<i>Tubifex</i>		X	
		<i>Tubificidae sd</i>	X		X
Hemiptera	Gerridae	<i>Brachymetra</i>	X		
		<i>Eurygerris</i>	X		X
	Naucoridae	<i>Limnocoris sp1.</i>			X
		<i>Limnocoris sp2.</i>			X
	Veliidae	<i>Huseyella</i>			X
		<i>Microvelia</i>			X
		<i>Rhagovelia sp1.</i>	X		X
		<i>Rhagovelia sp2.</i>	X		
		<i>Rhagovelia sp3.</i>	X		
Hygrophila	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>	X		
	Physidae	<i>Physella</i>	X		
	Planorbidae	<i>Ancylini</i>		X	
Lepidoptera	Pyralidae	<i>Parargyractis</i>			X
Mesogastropoda	Hydrobiidae	<i>Hidrobia</i>			X

Odonata	Calopterygidae	<i>Hataerina</i>	x		x
	Coenagrionidae	<i>Argia spl.</i>	x		x
	Gomphidae	<i>Progomphus</i>			x
	Libellulidae	<i>Brechmohoga</i>			x
	Megapodagrionidae	<i>Megapodagrion</i>			x
	Polythoridae	<i>Polythore</i>			x
Tricladida	Dugessidae	<i>Girardia</i>	x	x	x
Tricoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>			x
	Glossosomatidae	<i>Glossosomatidae sd</i>	x		
		<i>Mortoniella</i>			x
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	x		x
		<i>Smicridea</i>	x		x
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>			x
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>			x
Veneroida	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>			x

Frente al índice de hábitat, en la figura 12 se puede observar que los mayores índices de hábitat se encuentran en la quebrada La Peña en cada uno de los tramos, al igual que en la quebrada la Brizuela en el tramo alto y medio. Los menores índices de hábitat lo presenta la quebrada Las cruces en cada uno de los tramos, al igual que la quebrada La Brizuela en el tramo bajo. (Ver figura 12, tabla 7)

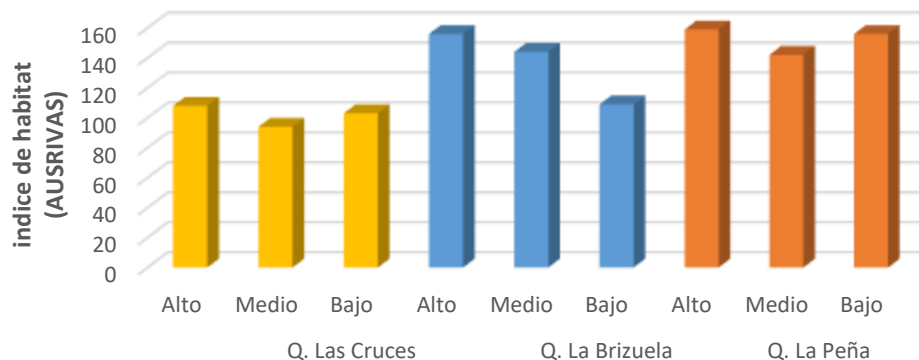


Figura 12. Índice de hábitat (AUSRIVAS) en la quebrada Las Cruces, La Brizuela y La Peña.

6.4 INDICES BIOLÓGICOS

Frente a los índices biológicos tenemos la Abundancia presentada en las quebradas se observa que existe una diferencia significativa entre la quebrada Las Cruces y la quebrada La Brizuela ($p = 0.0148$), y que además, existe una diferencia significativa entre la quebrada La Peña y la quebrada La Brizuela ($p = 0.0036$). (Ver anexo 4, figura 13).

La mayor abundancia la presenta la quebrada La Peña en el tramo bajo, periodo seco, mientras que la Quebrada La Brizuela presenta la abundancia más baja en cada uno de los periodos. La quebrada Las cruces, presenta una diferencia en el tramo alto y medio en cada uno de los periodos seco y lluvia, al igual que la quebrada La Peña en cada uno de sus tramos. (Ver anexo 4, figura 13).

Con relación a los valores de riqueza, existen diferencias significativas entre la quebrada La Peña y las quebradas La Brizuela y Las Cruces ($p < 0.0001$). (Ver anexo 4, figura 13). La quebrada La Peña es la que presenta mayor riqueza en el periodo seco. La de menor riqueza la presenta la quebrada Las Cruces en cada uno de sus periodos y tramos.

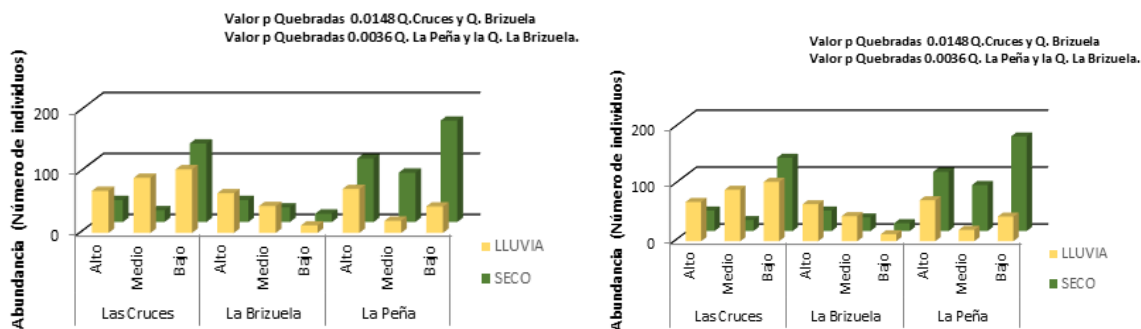


Figura 13. Variación espacial y temporal en la abundancia y riqueza de macroinvertebrados entre periodos y tramos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

Con relación a la Diversidad (H'), existen diferencias significativas entre la quebrada La Peña y Las quebradas La Brizuela y Las Cruces ($p < 0.0001$). Los valores más altos en Diversidad H' en cada uno de los periodos los presenta la quebrada La Peña en cada uno de los tramos y quien más bajos los presenta es la quebrada Las cruces. (Ver anexo 4, figura 14)

Frente a los índices de Dominancia, se presentan diferencias significativas entre la quebrada La Peña y la quebrada La Brizuela ($p = 0.006659$), al igual que se presentaron diferencias significativas diferencia significativa entre la quebrada La Peña y la quebrada Las Cruces, ($p = 0.000133$). (Ver anexo 4, figura 14). La quebrada que mayor dominancia presenta es la quebrada Las Cruces en su tramo alto y medio, tanto en el periodo seco como lluvia, y en el tramo bajo en el periodo seco. La quebrada La Brizuela obtuvo la mayor abundancia en el periodo lluvia. La Peña en cada uno de los periodos presenta la menor dominancia. (Ver anexo 4, figura 14).

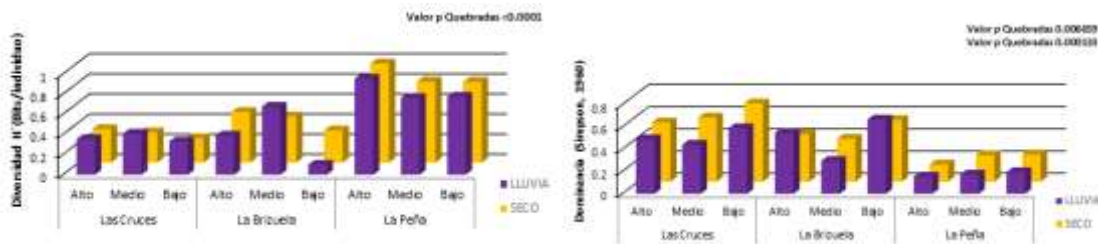


Figura 14. Variación espacial y temporal en la Diversidad y Dominancia de macroinvertebrados por periodos y tramos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

Tabla 7. Descripción de la estructura biológica de la comunidad de macroinvertebrados en tres quebradas de alta montaña durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016.

Quebrada	Sitio de Muestreo	Periodo	Riqueza (S)	Diversidad H' (bits/individuo) (Shannon- Weaver, 1949)	Dominancia (Simpson, 1960)	Equidad de pielou (J')	índice de hábitat AUSRIVAS	índice BMWP/Col
Las Cruces	Alto	Lluvia	4	0,366	0,505	0,609	108	18
	Medio		5	0,57	0,302	0,815	94	27
	Bajo		7	0,538	0,408	0,637	103	19
	Alto	Seco	5	0,464	0,382	0,664	108	27
	Medio		4	0,564	0,282	0,937	94	20
	Bajo		8	0,36	0,596	0,398	103	26
La Brizuela	Alto	Lluvia	8	0,638	0,287	0,668	156	43
	Medio		13	0,821	0,195	0,737	144	59
	Bajo		4	0,391	0,437	0,649	109	18
	Alto	Seco	9	0,714	0,226	0,748	156	41
	Medio		8	0,691	0,246	0,765	144	37
	Bajo		7	0,631	0,273	0,747	109	24
La Peña	Alto	Lluvia	25	1,034	0,161	0,74	159	142
	Medio		13	0,999	0,105	0,897	142	65
	Bajo		18	1,072	0,112	0,854	156	100
	Alto	Seco	32	1,114	0,158	0,74	159	141
	Medio		25	1,034	0,161	0,74	142	142
	Bajo		13	0,999	0,105	0,897	156	65

Tabla 8. Variación temporal de los Números de Hill en tres quebradas de alta montaña, en el ciclo hidrológico 2015 - 2016.

Número de Hill	Q. La Brizuela Periodo Lluvia	Q. La Peña Periodo Lluvia	Q. Las Cruces Periodo Lluvia	Q. La Brizuela Periodo Seco	Q. La Peña Periodo Seco	Q. Las Cruces Periodo Seco
Orden 0	17	34	9	14	41	9
Orden 1	6	16	5	6	12	3
Orden 2	4	9	4	5	6	3

La diversidad de orden 0 en la quebrada La Peña fue dos veces más que la quebrada la Brizuela y cuatro veces más que la quebrada Las Cruces en periodo de lluvia, mientras que en periodo seco la quebrada La Peña fue tres veces más que la quebrada La Brizuela y cuatro veces que la quebrada Las Cruces. (Ver tabla 8, figura 15).

La diversidad orden 1 en la quebrada La Peña en el periodo de lluvia fue tres veces más diversa que la quebrada La Brizuela y Las Cruces, y en el periodo seco fue dos veces más diversa que la quebrada La Brizuela y cuatro veces más diversa que la quebrada Las Cruces. (Ver tabla 8, figura 15).

La diversidad orden 2 en la quebrada La Peña en ambos periodos (lluvia y seco) fue dos veces más que quebrada La Brizuela y la quebrada Las Cruces. (Ver tabla 8, figura 15)

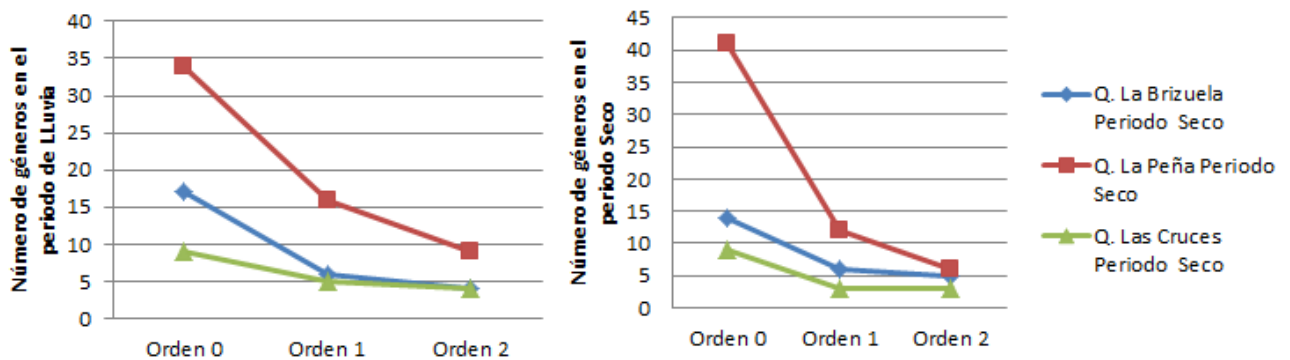


Figura 15. Variación temporal de los Números de Hill en tres quebradas de alta montaña, en el ciclo hidrológico 2015 – 2016.

En cuanto a la Regresión lineal, en las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña, el índice del hábitat explica un 51% de la riqueza de géneros (figura 16A), y en el índice de diversidad H' explica un 64% (figura 16B), lo que mostró la importancia ecológica del hábitat para los sistemas acuáticos. (Ver figura 16)

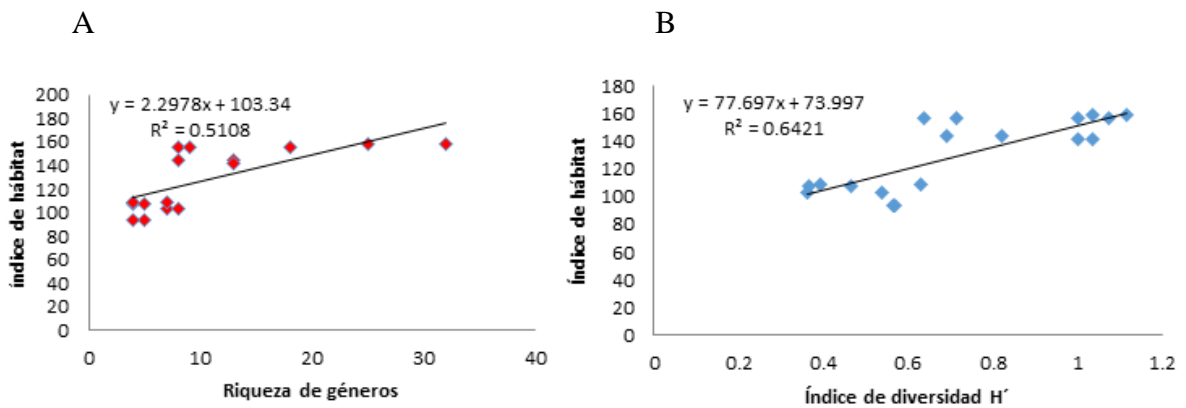


Figura 16. Regresión lineal entre el Índice de hábitat de las quebradas La Brizuela, La Peña y Las Cruces y los índices de A) Riqueza de géneros. B) Índice de diversidad H'.

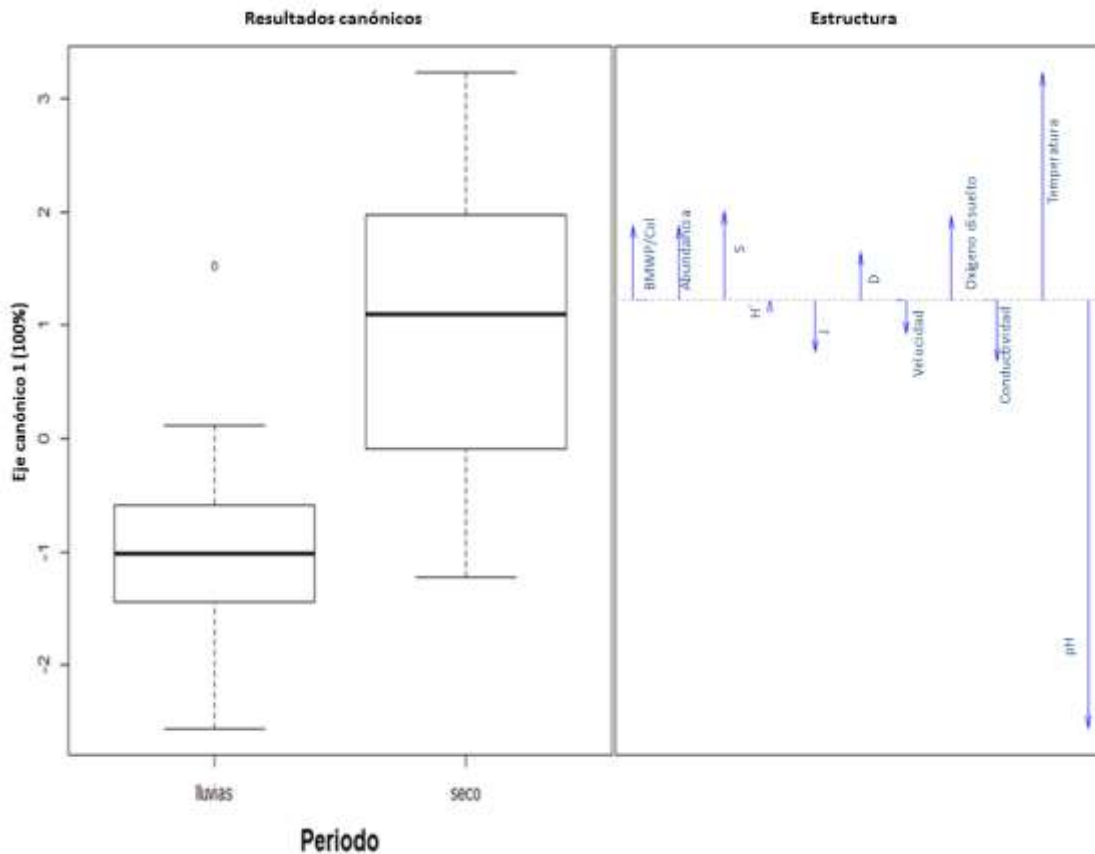


Figura 17. Análisis discriminante Periodo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016. BMWP/Col= Índice de calidad de agua basado en macroinvertebrados para Colombia, S=riqueza, H'= Índice de diversidad de Shannon, J= índice de equidad, D = índice de dominancia de Simpson.

Dentro del análisis discriminante por periodo, las variables que permiten diferenciar el periodo de lluvia y seco en las quebradas Las Cruces, La Brizuela y la Peña es el pH y la temperatura. (Ver figura 17)

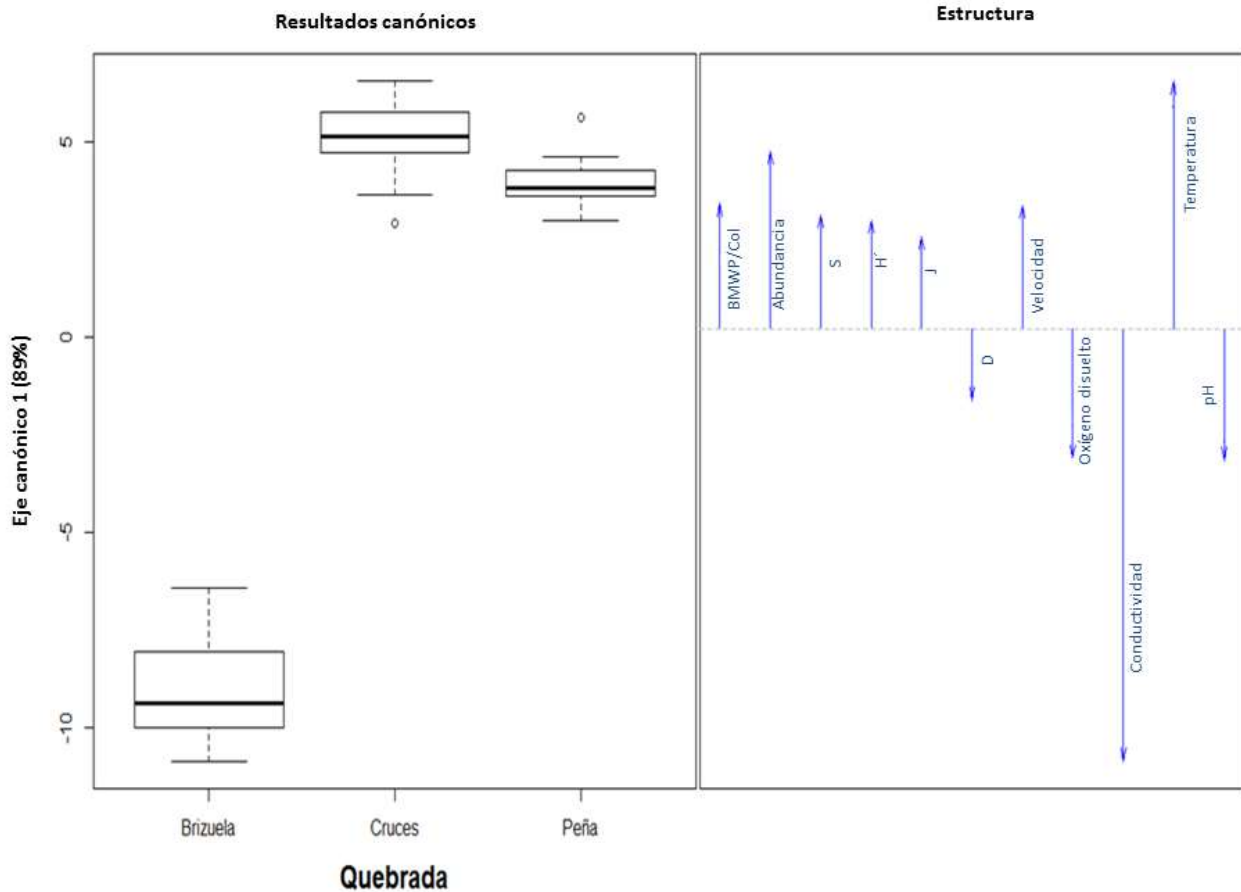


Figura 18. Análisis discriminante Quebrada de La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016. BMWP/Col= Índice de calidad de agua basado en macroinvertebrados para Colombia, S=riqueza, H'= Índice de diversidad de Shannon, J= índice de equidad, D = índice de dominancia de Simpson.

En el análisis discriminante por quebrada, se observa que las quebradas las Cruces y La Peña se diferencia de la quebrada La Brizuela, ya que, en las dos primeras se encuentran los valores extremos (máximos y mínimos) de BMWP/Col, Abundancia de organismos, Riqueza de géneros (S), Diversidad H y Equidad. Acompañadas de parámetros físicos como

valores diferenciados de velocidad del agua y temperatura. Mientras que en la Brizuela los valores son intermedios. (Ver figura 18)

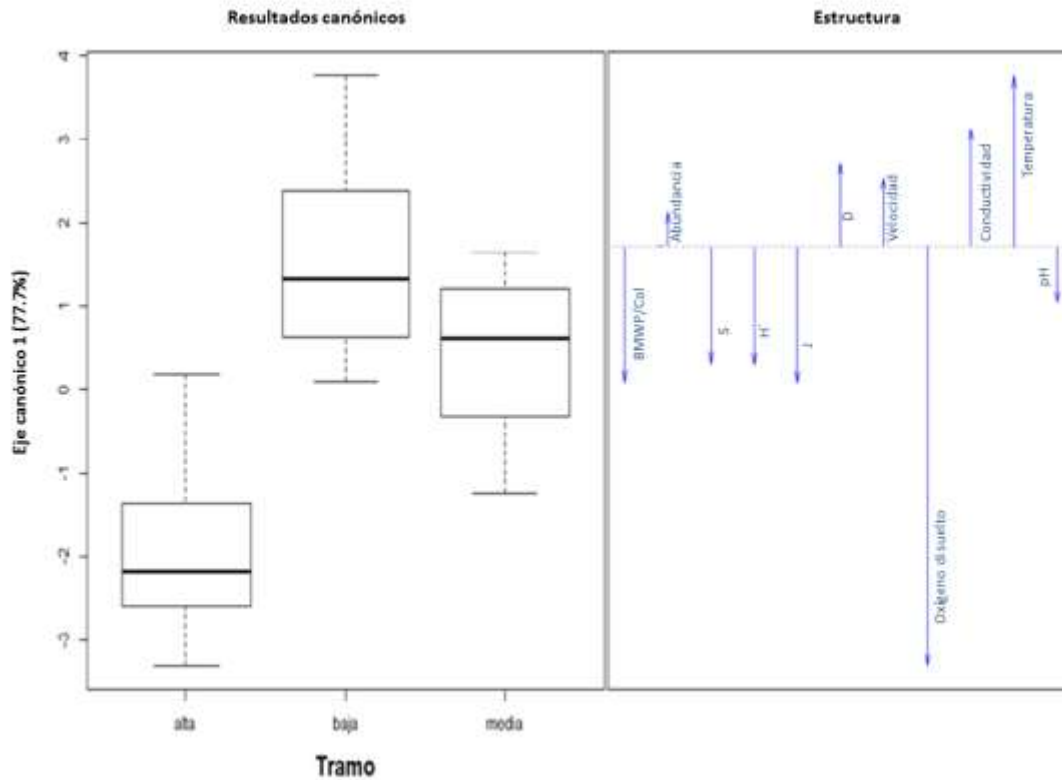


Figura 19. Análisis discriminante Tramo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016. BMWP/Col= Índice de calidad de agua basado en macroinvertebrados para Colombia, S=riqueza, H'= Índice de diversidad de Shannon, J= índice de equidad, D = índice de dominancia de Simpson.

En el análisis discriminante por tramo, el oxígeno disuelto (OD) es la variable que permite diferenciar los tramos. El tramo bajo posee mayores valores de conductividad y temperatura frente a los índices fisicoquímicos. En cuanto a los índices biológicos predomina la dominancia (D). (Ver figura 19)

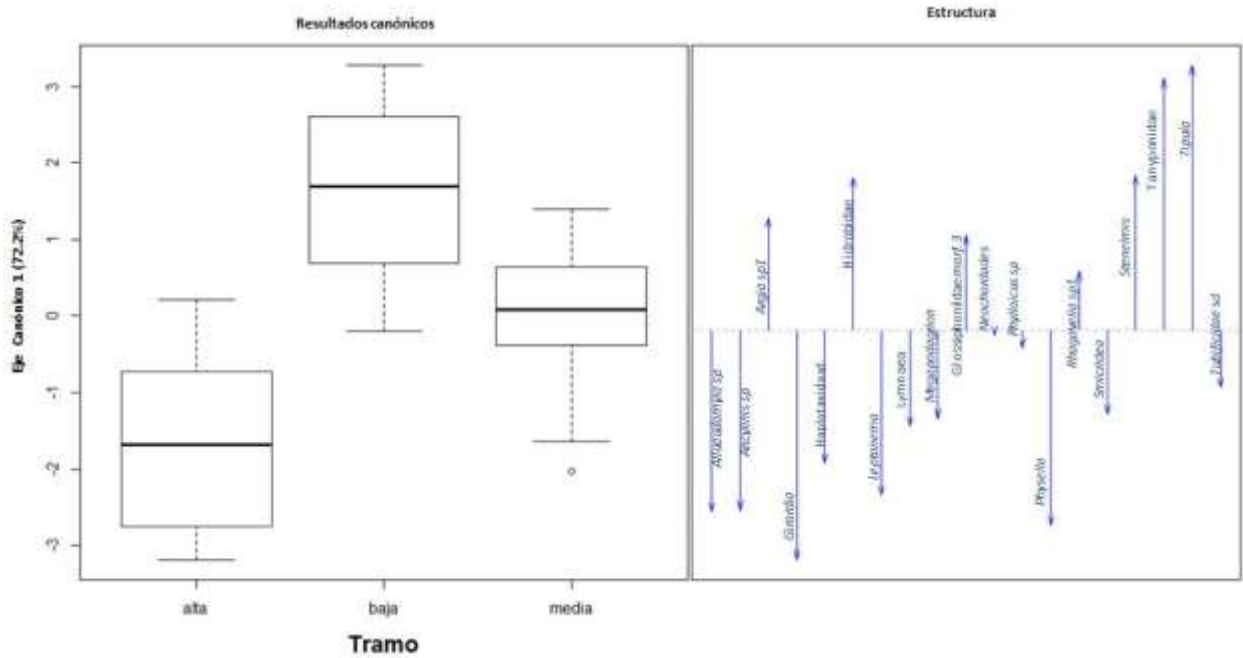


Figura 20. Análisis discriminante géneros asociados a tramo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

Los géneros que están asociados a los tramos medio y bajos son *Tipula*, *Tanypodinae*, *Stenelmis*, *Hidrobidae* y *Argia sp1*, mientras que en el tramo alto estuvo asociado con *Girardia*, *Physella*, *Haplotauxida sd*, *Alluaudomyia sp* y *Ancylinis sp*. (Ver figura 20)

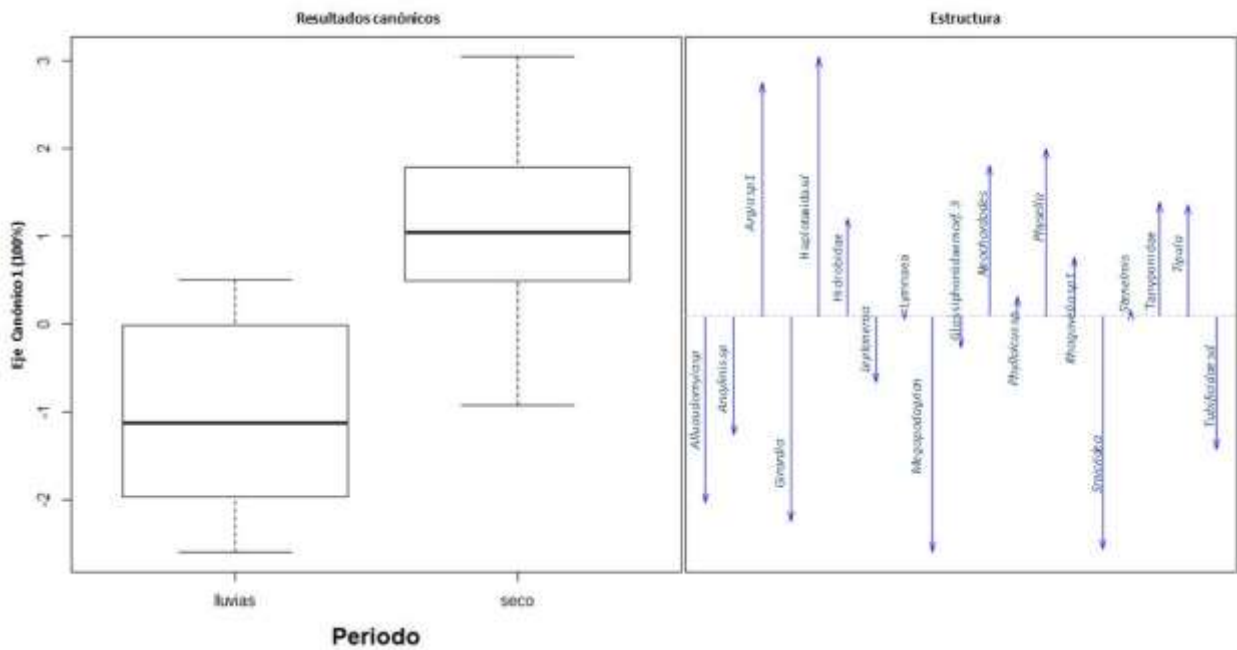


Figura 21. Análisis discriminante de géneros asociados a periodo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

Los géneros asociados con el periodo seco son *Argia sp1* y *Haptotaxidasp* y aquellos géneros que se encuentran asociados con el periodo de lluvias son *Smicridea*, *Megapdagrion*, *Girardia* y *Alluaudomyiasp*. (Ver figura 21)

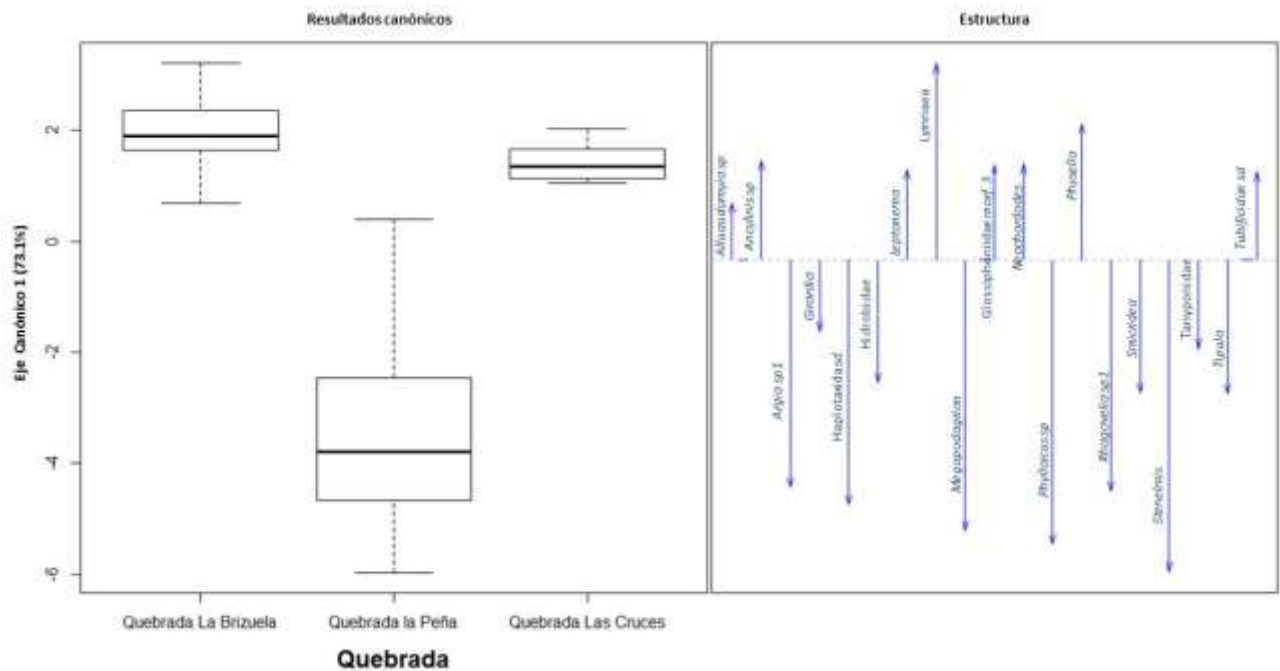


Figura 22. Análisis discriminante de géneros asociados a las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

Los géneros asociados a la quebrada La Brizuela y Las Cruces son *Limnaea* y *Physella* y los géneros que están asociados a la quebrada La Peña son *Stelnemis*, *Phylloicussp*, *Megapodagrion* y *Haplotaenias*. (Ver figura 22)

En la figura 23 se presenta el análisis de similitud entre sitios de muestreo. Los sitios ubicados en la quebrada La Brizuela conforman un grupo diferenciado con 43% de similitud, mientras que las quebradas Las Cruces y La Peña conforman un segundo grupo con 28.2%. Este grupo se diferencia en más de un 50%, con excepción de los muestreos en temporadas de lluvia en los sitios medio y alto de ambas quebradas, los cuales se diferenciaron en un grupo con 54% de similitud.

En la quebrada La Brizuela el sitio de muestreo del tramo bajo en ambos ciclos hidrológicos mostró un 76.7% de taxa similares. El sitio de muestreo del tramo medio en ambos ciclos hidrológicos y el tramo alto en periodo de lluvia mostraron una similitud de

taxa entre el 62.2% - 63.6%. Los valores de similitud fueron mayores entre quebradas que entre los periodos hidrológicos.

Bray-Curtis Cluster Analysis (Single Link)

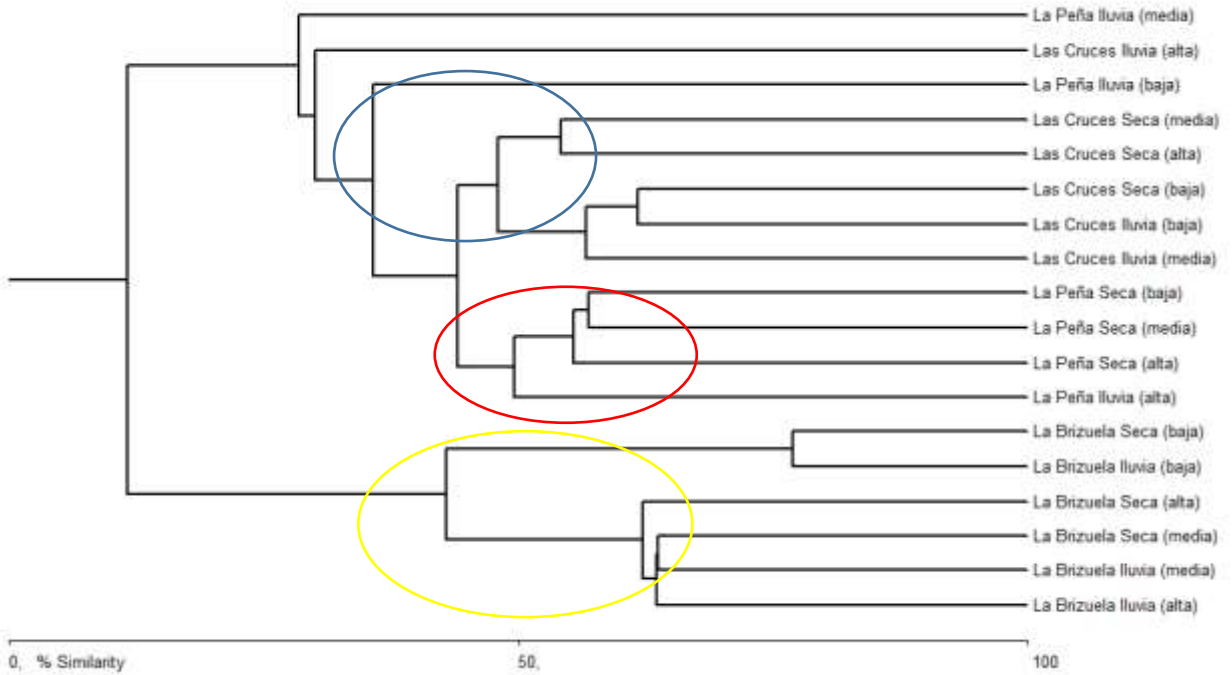


Figura 23. Agrupamiento de las quebradas evaluadas en función de la abundancia de las taxa según periodo y sitio de muestreo.

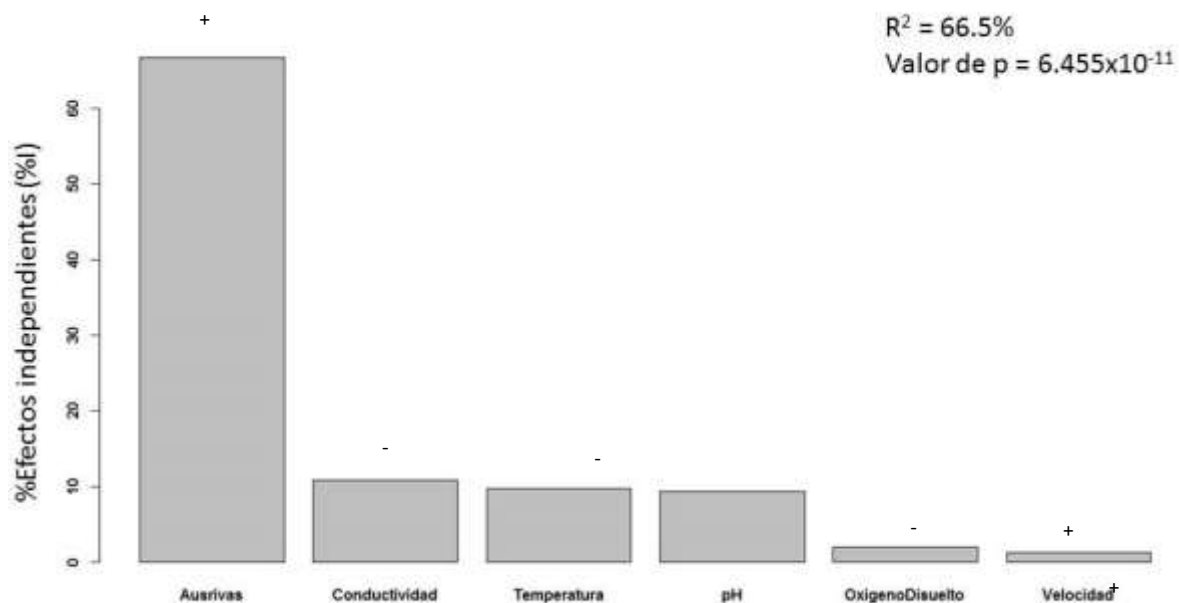


Figura 24. Regresión múltiple entre Riqueza de Macroinvertebrados vs parámetros fisicoquímicos y de hábitat (AUSRIVAS) de las quebradas La Brizuela, Las Cruces y La Peña durante el periodo hidrológico 2015 – 2016.

El análisis de regresión explicó un 66.5 % de la varianza en la riqueza de macroinvertebrados, donde el hábitat, representado por el índice AUSRIVAS, conductividad y pH tienen efecto significativo. Siendo el índice de hábitat quien mayor contribución tuvo en el r^2 . La relación del hábitat con la riqueza fue positiva, mientras que pH y conductividad tienen una relación negativa. El análisis general de la relación entre las variables fue significativa con una $p=5.455 \times 10^{-11}$. Cabe destacar que la cobertura vegetal fue uno de los elementos considerados dentro del índice AUSRIVAS (Ver anexo 2).

6.5 CALIDAD DEL AGUA

La quebrada que mayores valores presentó en el índice BMWP/Col fue la quebrada La Peña, mostrando diferencias significativas entre el tramo alto y bajo ($p < 0.0001$). Así mismo, muestra diferencias significativas entre las quebradas La Peña con respecto a las quebradas Las Cruces y La Brizuela ($p < 0.0001$). (Ver anexo 4, figura 25)

Tanto en el período seco como en el período lluvia, la quebrada La Peña presenta mayores índices de BMWP/Col, en cada uno de los tramos. La quebrada que menor índice presenta es la quebrada Las cruces en cada uno de los periodos. (Ver anexo 4, figura 25)

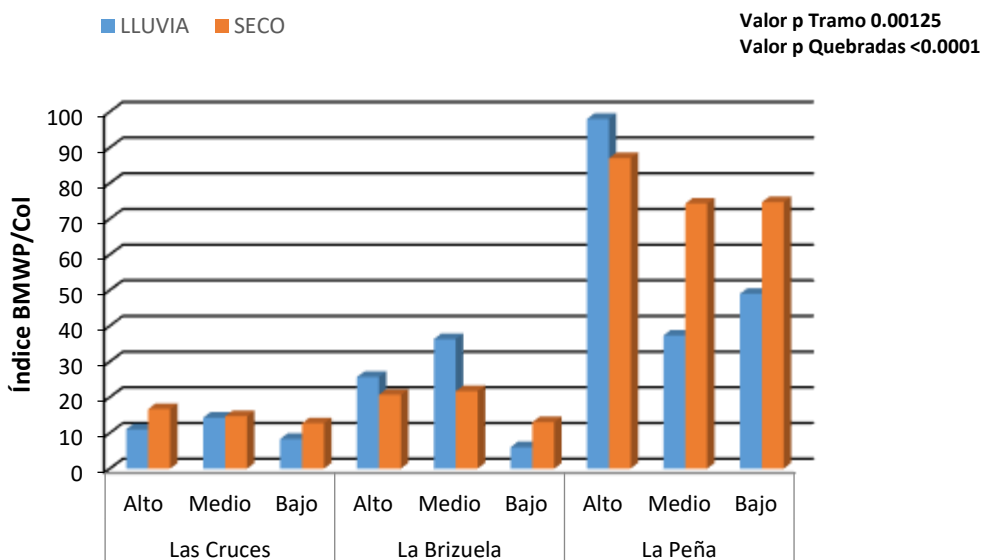


Figura 25. Índice BMWP/Col por periodos y tramos de las quebradas Las Cruces, La Brizuela y La Peña durante el ciclo hidrológico 2015-2016.

La calidad de agua según el BMWP/Col modificado por Álvarez, 2005, se observó que la quebrada La Peña, el agua es de buena calidad en ambos periodos, el tramo dos (cuenca media) presento en época de lluvia una contaminación moderada. La quebrada La Brizuela presenta en ambos periodos una condición de contaminación moderada a fuerte y la quebrada Las Cruces presenta una contaminación mayor que las dos quebradas anteriores en ambos periodos. (Ver tabla 9).

Tabla 9. Calidad de la aguas de las quebradas de alta montaña La Peña (Jericó), La Brizuela (Guarne) y las Cruces (Santa Rosa de Osos) de acuerdo al índice BMWP/Col, durante el ciclo hidrológico 2015 - 2016

Quebrada	Sitio	Periodo	Clase	Calidad	Significado
La Peña	Alto	Lluvia	I	Buena	Agua muy limpia
	Medio		III	Dudosa	Agua moderadamente contaminada
	Bajo		II	Aceptable	Agua ligeramente contaminada
	Alto	Seca	I	Buena	Agua muy limpia
	Medio		I	Buena	Agua muy limpia
	Bajo		I	Buena	Agua muy limpia
La Brizuela	Alto	Lluvia	V	Crítica	Agua muy contaminada
	Medio		III	Dudosa	Agua moderadamente contaminada
	Bajo		V	Muy Crítica	Agua fuertemente contaminada
	Alto	Seca	V	Crítica	Agua muy contaminada
	Medio		V	Crítica	Agua muy contaminada
	Bajo		V	Crítica	Agua muy contaminada
Las Cruces	Alto	Lluvia	V	Muy Crítica	Agua muy fuertemente contaminada
	Medio		V	Crítica	Agua muy contaminada
	Bajo		V	Muy Crítica	Agua fuertemente contaminada
	Alto	Seca	V	Crítica	Agua muy contaminada
	Medio		V	Muy Crítica	Agua fuertemente contaminada
	Bajo		V	Crítica	Agua muy contaminada

En las quebradas La Brizuela, La Peña y Las Cruces, el índice del hábitat explica un 56.5% el índice BMWP/Col.; así se muestra en la figura 26.

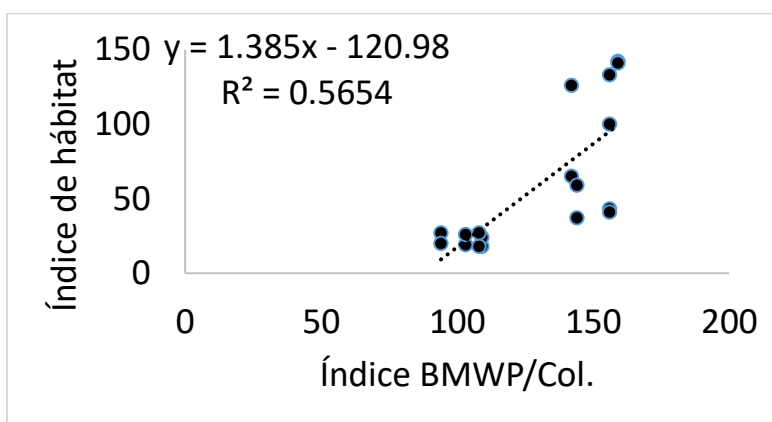


Figura 26. Regresión lineal entre el Índice de hábitat de las quebradas La Brizuela, La Peña y Las Cruces y el índice BMWP/Col.

7. DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas de las tres quebradas analizadas mostraron similitud en los parámetros de pH, temperatura y oxígeno disuelto en ambos periodos del ciclo hidrológico; la conductividad varió entre las quebradas, siendo la quebrada La Brizuela la de mayor valor en ambos periodos (seco y lluvia). Los parámetros fisicoquímicos al no tener una diferencia muy marcada entre periodos de muestreo pudo deberse al fenómeno del Niño, debido a que se prolongó hasta el mes de marzo del año 2016 (IDEAM, 2015), lo que causa estabilización en las condiciones ambientales (Ríos Pulgarín *et al.*, 2016). El hábitat que posee cada quebrada es muy diferente, la quebrada Las Cruces se caracterizó por estar rodeada de pasto, sin tener ningún tipo de matorral; la quebrada la Brizuela en los sitios de muestreo alto y medio se caracterizó por poseer vegetación en las orillas, potreros e industrias, el tramo bajo se caracterizó por tener pasto y la quebrada La Peña todo su cauce aún conserva vegetación matorral y árboles, sus alrededores son potreros o cultivos de café; ello explica las diferencias ambientales entre quebradas, e implica que las condiciones de deterioro por pérdida de la cobertura son máximas en las cruces, y mínimas en La Peña, mientras que en la Brizuela son intermedias.

Las variaciones en los parámetros físicos y químicos del agua son de gran importancia en el desarrollo de los macroinvertebrados, los cuales son sensibles a los cambios en dichos parámetros. En este estudio se encontró, que en las tres quebradas dichas variables fueron el oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH, estando de acuerdo con varios estudios, en donde estos parámetros son importantes para el desarrollo de la vida acuática (Quinn y Hickey, 1990; Roldán, 1996; Toro *et al.* 2002; Domínguez y Fernández, 2009; Meza *et al.* 2012 citados en Morelli y Verdi, 2014, Carvacho, 2012, Vivas *et al.* 2002 citado en Corvacho, 2012); los valores de oxígeno disuelto y pH en las tres quebradas estuvieron dentro de los rangos normales (6 a 9 mg/l) para los cuerpos de aguas naturales neotropicales (Roldán, 1992; Roldan, 2003; Cortolima, 2008), permitiendo así una condición necesaria para el desarrollo de los organismos acuáticos en lo que se refiere a la transferencia de energía

en los diferentes niveles tróficos de las cadenas alimenticias (Malmqvist, *et al.*, 2004 citado en Mosquera Murillo y Córdoba Aragón, 2015), además de acelerar los procesos de descomposición de detritos, contribuir al reciclaje de nutrientes (Wotton y Malmqvist, 2001; Hanson, *et al.*, 2010 citado en Mosquera Murillo y Córdoba Aragón, 2015); y aumentar la productividad primaria, (Wallace y Webster, 1996; Allan y Castillo, 2007 citado en Mosquera Murillo y Córdoba Aragón, 2015). Generalmente, las aguas contaminadas con materia orgánica pueden tener pH muy ácido; y la densidad y la diversidad de macroinvertebrados se ve afectada, puesto que se evidencia la dominancia de algunas especies que tienen la capacidad de adaptarse a estas condiciones (Pave y Marchese, 2005). En el caso de las tres quebradas aunque el BMWP/Col. indicó contaminación orgánica, evidenciada en la presencia de las familias como Chironomidae, Ceratopogonidae y Lymnaeidae, en éstas el pH y los otros parámetro *in situ* permanecieron dentro de los límites normales, permitiendo pensar que debe haber otros factores, además de los químicos, que influyen en el establecimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, es decir, se debe ver la quebrada como un todo (microhábitats, sustrato, geomorfología, hábitat de ribera, perturbaciones tanto naturales como antropogénicas, entre otros).

La evaluación de la condición de un río desde una perspectiva geomorfológica se expresa en el hábitat del río, o estructura física, como lugar para el desarrollo de las comunidades biológicas. Desde una perspectiva biológica, el hábitat se considera como un lugar sobre el cual se organizan y desarrolla las dinámicas ecológicas de los ecosistemas (Townsend y Hildrew, 1994, Montgomery, 1999, Norris Y Thoms, 1999 citado en Parsons *et. al.*, 2002). Teniendo presente las características de la quebrada La Peña, como la abundante vegetación en la ribera (la cual provee hojarasca), diversidad de sustratos (peña, canto rodado y guijarro) y de hábitat hidráulicos (poza, rizo y cascada), así como condiciones físicas y químicas dentro de los rangos normales de los cuerpos de agua, se explica que se vean favorecidos altos valores de los índices de hábitat y BMWP/Col. Así mismo, las condiciones ambientales contribuyeron a la mayor diversidad de orden 0, 1 y 2 en ambos periodos hidrológicos.

El hábitat jugó un papel importante en la riqueza y abundancia de géneros, debido a que a pesar de la intervención antropogénica (pastoreo y agricultura) las riberas tuvieron abundante vegetación, brindando así protección al sistema acuático, actuando como trampas naturales (zona buffer) para retener sedimentos, nutrientes y otros contaminantes desde los suelos adyacentes al curso de agua (Gergel *et al.* 2002; Baudry y Thenail, 2003 citado en Palma *et al.* 2009). Adicionalmente, al tener un fondo pedregoso, favoreció mayor superficie para el crecimiento de la biopelícula (perifiton) de la cual se alimentan diversos consumidores primarios. Los sustratos dominados por hojarasca (en los tres sitios muestreado de cada quebrada) brindan una mayor disponibilidad de recursos para organismos fragmentadores, además de favorecer valores altos de riqueza, permite sostener una mayor densidad de organismos (Burdet y Watts, 2009; Meza *et al.* 2012 citado en Morelli y Verdi, 2014). En general, El hábitat suministra espacio físico y proporciona fuente de alimento para las especies y a la presencia de una mayor heterogeneidad y diversidad de estructuras físicas del hábitat le corresponde una mayor diversidad de las comunidades biológicas que lo ocupan (Smith y Smith, 2000 citado en Pardo *et al.* 2002). El efecto de la heterogeneidad del hábitat fluvial se evidenció en la estructura de la asociación de especies y los índices biológicos de la quebrada La Peña. Corroborando que este es uno de los principales factores de influencia de la riqueza de especies de invertebrados acuáticos (Voelz y McArthur, 2000 citado en Pardo *et al.* 2002, Paukert y Willis, 2003 citado en Gil Gómez, 2014).

En cuanto a la composición, los macroinvertebrados más abundantes en la quebrada La Peña fueron Chironomidae, organismos tolerantes a la contaminación generada por el enriquecimiento de materia orgánica e inorgánica (Rivera Usme *et al.* 2013, Forero *et al.* 2014, Chalar *et al.* 2011 citado en Forero *et al.* 2014, Roldán 2003, Forero *et al.* 2013); esto debido a que la quebrada es la fuente de agua del ganado que habita a sus alrededores, además en el sitio de muestreo bajo hay una descarga de aguas negras de la Institución Educativa San José. También fueron abundantes Coenagrionidae, organismos muy generalistas (Santos 1981 citado en Rivera Usme *et al.*, 2013) que pueden soportar grados altos de contaminación y prefiere la vegetación de la orilla (Roldán 1988 citado en Rivera Usme *et al.* 2013); Hydrobidae, que están asociados a lugares con mucha vegetación acuática y materia orgánica

en descomposición (Roldán y Ramírez, 2008); Haplotaxida, viven en aguas contaminadas y muy contaminadas, asociados a contaminación de materia orgánica (Roldán, 1988 citado en Rivera Usme *et al.* 2013, Roldán y Ramírez, 2008). Lo que nos sugiere que el hábitat de esta quebrada pudo jugar un papel importante en el establecimiento de estas familias de macroinvertebrados, debido a su oferta de materia orgánica como la hojarasca, la agricultura (cultivo de café principalmente), ganadería y descargas de aguas residuales, además el tipo de sustrato permite que el agua al chocarse con las rocas incorpore el oxígeno en el agua, permitiendo así la oxidación de muchos de los compuestos orgánicos que están en ésta. Aunque los parámetros fisicoquímicos permiten condiciones favorables para el desarrollo de la vida acuática, la composición particular de la comunidad de macroinvertebrados indica que éstos son sensibles ante las diferentes transformaciones que está sufriendo el ecosistema en la quebrada La Peña.

Por otro lado, aunque la quebrada Las Cruces igualmente presenta condiciones fisicoquímicas dentro del rango normal de los cuerpos de agua, presentó características de hábitat como escasa vegetación en la ribera (escasa hojarasca), sustrato de arena, guijarro y sedimentos, hábitat de poza y rizos, los cuales fueron acompañados por índice de hábitat, BMWP/Col. e índices de diversidad de orden 0, 1 y 2 bajos para ambos periodos hidrológicos. Dicha quebrada a sus alrededores posee una alta modificación causada principalmente por la deforestación (perdida de cobertura) y diversas actividades humanas como la construcción de casas, actividades industriales, desarrollo de agricultura y pastoreo, provocando así una fuerte degradación del ambiente alrededor del cuerpo de agua. Los resultados de estas modificaciones son el incremento en la sedimentación, formación de bancos de arena y consecuente la alteración de la geomorfología de los hábitats ribereños (Naiman *et al.* 1993; Ríos y Bailey, 2006; Innis *et al.* 2000 citado en Palma *et al.* 2009). La alternancia y variación natural entre fuentes alóctonas y autóctonas de materia orgánica puede verse modificada por cambios en el uso del suelo, deforestación, urbanización, etc. Estos últimos cambios son susceptibles de alterar la hidrología superficial, la relación natural entre las fuentes alternativas de energía características de cada sistema fluvial y como consecuencia el hábitat físico. (Pardo *et. al.*, 2002). Estas situaciones conllevan a la pérdida

de diversidad de especies de macroinvertebrados, y evidencia que a pesar de poseer en general buenas condiciones de oxígeno disuelto, pH, temperatura y conductividad eléctrica, el hábitat influyen en la estructura biológica de la quebrada. La poca heterogeneidad en la estructura física del hábitat conlleva a poca diversidad de invertebrados acuáticos (Voelz y McArthur, 2000 citado en Pardo *et al.* 2002), situación que se vió reflejada en la riqueza de géneros en la quebrada Las Cruces. Las familias de macroinvertebrados más abundantes fueron Glossiphonidae y Chironomidae los cuales son organismos tolerantes a la contaminación generada por el enriquecimiento de materia orgánica e inorgánica (Rivera Usme *et al.* 2013; Forero *et al.* 2014; Chalar *et al.* 2011 citado en Forero *et al.* 2014; Roldán, 2003; Forero *et al.* 2013); Ceratopogonidae, el cual es un indicador de aguas oligomesotróficas (Rivera Usme *et al.* 2013); Tubificidae, de quien autores como Roldán (1988) citado en Rivera Usme *et al.* 2013 afirman que como otros oligoquetos se encuentran asociados a bajas concentraciones de oxígeno, contaminación por materia orgánica, aguas turbias y eutrofizadas. Estos organismos presentan además un alto grado de adaptabilidad debido a sus características morfológicas y fisiológicas y se les asocia con la presencia de sedimentos alóctonos (Roldán y Ramírez, 2008, Rivera Usme *et al.* 2013) y Planorbidae está asociada a lugares con materia orgánica en descomposición (Roldán y Ramírez, 2008). La conductividad eléctrica estuvo dentro de los rangos de las aguas superficiales tropicales de montaña (Roldan, 2003), con variaciones propias del ciclo hidrológico e incrementos asociados a la cantidad de materia orgánica. (Rodrigo *et al.* 2001). Por otro lado, se debe considerar que el suelo del altiplano de santa rosa en su mayoría corresponden a suelos residuales y saprofitos derivados de la cuarzodiorita del batolito antioqueño (Arias y González 2001 citado en González Castrillón, 2009). En términos generales los suelos son pobres en nutrientes, ácidos y con alto contenido de materia orgánica y bajo en bases. Presenta marcada lixiviación y la materia orgánica forma en algunas áreas una gruesa capa de humus. El pH varía entre 4,5 y 5 debido a que son suelos pobres en nitrógeno y fosforo asimilable. Dada la poca fertilidad se hace indispensable el uso de fertilizantes para su aprovechamiento agrícola (toro y Vanegas 2002 citado en González Castrillón, 2009) página 209.

Con relación a la cobertura vegetal presente en la ribera determina la cantidad de luz que llega al canal del río, aspecto que influencia, entre otros, al desarrollo de los productores primarios del sistema, ocasionando una mayor o menor capacidad de albergar organismos. Se considera que la variedad de zonas más o menos iluminadas introduce una mayor heterogeneidad de hábitats, ya que, además tiene en cuenta la presencia de hojas, troncos o raíces en el cauce fluvial o sus orillas proporcionando así un hábitat físico singular que puede ser colonizado por organismos acuáticos que pasan a dar una mayor diversidad al sistema a la vez que pueden entrar en la cadena trófica del mismo (Durán *et. al*, 2013).

En la quebrada la Brizuela se presentaron valores intermedios en los parámetros biológicos (riqueza, diversidad y BMWP) y mayor variabilidad a lo largo del gradiente longitudinal, los sitios de muestreo alto y medio se caracterizaron por una abundante cobertura vegetal (provee hojarasca) en la ribera, sustrato de grava, arena y canto rodado, con diversidad de hábitat (poza, rizo y cascada), condiciones de oxígeno disuelto y pH dentro de los rangos normales de los cuerpos de agua, conductividad eléctrica alta (9.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$), resultado que concuerda con otros cuerpos de aguas neotropicales (Rueda Delgado *et al.* 2006; Blanco *et al.* 2004; Mathuriau y Chauvet, 2002; Rincón *et al.* 2005 citado en Caleño Ruiz, 2014). El índice de hábitat en esta quebrada fue alto pero valores de BMWP/Col. fueron bajos, contradiciendo la afirmación de Leiva (2004 citado en Morelli y Verdi, 2014) de que los altos valores de diversidad se relacionan directamente con un buen balance en las comunidades y con las condiciones del hábitat. En la quebrada la Brizuela hubo baja diversidad y riqueza, no viéndose reflejado el hábitat en la comunidad de macroinvertebrados, por lo que es necesario avanzar en investigaciones que analicen el tipo de vegetación que rodea la quebrada, los tipos de iones que se encuentran en el agua (ya que se encontró valores de conductividad alta) y el uso del suelo que se hace alrededor de dicha quebrada.

La Brizuela es intermedia, que al parecer es porque presenta diferencias en las coberturas entre tramos, lo anterior indica que la quebrada presenta tramos donde las condiciones son buenas y otros donde son críticas, lo cual se refleja en los

macroinvertebrados, mientras que las demás quebradas son menos variables entre tramos. Otro elemento diferenciador en lo ambiental es la conductividad, teniendo presente que el suelo del municipio de Guarne en su mayoría corresponden a suelos residuales y saprofitos derivados de la cuarzodiorita del batolito antioqueño (Arias y gonzalez 2001 citado en González Castrillón, 2009). En términos generales los suelos son pobres en nutrientes, ácidos y con alto contenido de materia orgánica y bajo en bases. Presenta marcada lixiviación y la materia orgánica forma en algunas áreas una gruesa capa de humus. El pH varía entre 4,5 y 5 debido a que son suelos pobres en nitrógeno y fósforo asimilable. Dada la poca fertilidad se hace indispensable el uso de fertilizantes para su aprovechamiento agrícola (toro y Vanegas 2002 citado en González Castrillón, 2009). En el tramo ubicado en la parte baja se presentó escasa cobertura vegetal (escasa hojarasca) en la ribera, sustrato de sedimento y arena, hábitat de poza, condiciones de oxígeno disuelto y pH dentro de los rangos normales de los cuerpos de agua neotropicales y conductividad eléctrica alta, coincidiendo con índice de hábitat bajo y BMWP/Col. bajo. Allí la materia orgánica proveniente de fuentes alóctonas y autóctonas pueden verse modificada por cambios en el uso del suelo, deforestación, urbanización, entre otras. Estos últimos cambios pueden alterar la hidrología superficial, la relación natural entre las fuentes alternativas de energía características de cada sistema fluvial y como consecuencia el hábitat físico (Pardo *et al.* 2002). Cabe resaltar que esta tendencia observada en la Brizuela también fue observada en los estudios realizados por Figueroa *et al.*, 2007 y Mosquera *et al.*, 2008 citado en Madera *et al.*, 2016. Pese a que aparentemente los sitios ubicados en el tramo alto y medio de la cuenca poseían abundante vegetación en la ribera, no nos permite explicar con certeza por qué ésta quebrada muestra condiciones de calidad crítica, lo que nos lleva a que hay que tener en cuenta otras variables y hacer un seguimiento más prolongado a dicha quebrada. La sensibilidad a las perturbaciones antropogénicas puede variar entre especies dentro de un entorno local y es probable que varíe entre las poblaciones, comunidades y ecosistemas de diferentes áreas geográficas (Kiffney y Clements, 1996). Sensibilidad que es reflejada en esta quebrada en la respuesta a la conductividad o al tipo de sustrato, en donde los fondos arenosos o arenoso-limosos albergan pocas especies, con pocos individuos por especie (Pintos *et al.* 1992; Chalar, 1994; Arocena, 1998; Boccardi, 2004 citados en Morelli y Verdi, 2014), ya que son sustratos inestables con

las corrientes de agua, así lo demostró Morelli y Verdi, (2014) y la pobreza en estos sustratos en la diversidad y abundancia ha sido documentada por Molina *et al.* 2008.

Los macroinvertebrados más abundantes encontrados en la quebrada La Brizuela fueron de la familia Hydropsichidae, la cual está ampliamente distribuida en todo tipo de corrientes de agua, tolera bajos niveles de contaminación y es una de las familias más diversas del orden Trichoptera en Colombia (McCafferty, 1981; Merritt y Cummins, 1996 citados en Hahn von Hessberg, 2009), además Forero *et al.* (2013) encontró esta familia asociada a materia orgánica. La familia Tubificidae, presente en la quebrada como una de las más abundantes, se caracteriza por vivir en aguas contaminadas y muy contaminadas, asociados a materia orgánica (Roldán, 1988 citado en Rivera Usme *et al.* 2013, Roldán y Ramírez, 2008). Lymnaeidae están asociados a lugares con mucha vegetación acuática y materia orgánica en descomposición (Roldán y Ramírez, 2008) y Physidae es característica de aguas con importantes niveles de contaminación (Rivera Usme *et al.* 2013). La presencia de estas familias ratifica condiciones de deterioro, puesto que la familia Tubificidae se caracteriza por vivir en este tipo de hábitat (Ariza, 2016), reconocida como indicadora de aguas de mala calidad (Álvarez, 2005, citado en Hahn von Hessberg, 2009). Este tipo de familia se caracteriza por un alto grado de adaptabilidad en presencia de sedimentos alóctonos debido a sus características morfológicas y fisiológicas (Rivera Usme *et al.* 2013). La familia Physidae se caracteriza por habitar en aguas con importantes niveles de contaminación y altos valores de alcalinidad (Pennak 1978, citado en Rivera Usme *et al.* 2013).

Las tres quebradas poseen características similares físicas y químicas (a excepción de la conductividad eléctrica), lo cual influyó en la estructura de la comunidad biológica de la Brizuela. El elemento diferenciador por su influencia en fue la disponibilidad, heterogeneidad y calidad del hábitat de cada quebrada que influyó en el establecimiento de la estructura de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos, encontrándose pocos géneros similares entre quebradas. La presión antropogénica actúa de manera diferente en cada quebrada, llevando a que la calidad biológica refleje cambios en distintos atributos de

la comunidad bentónica, como la riqueza, composición y abundancia (Cao *et al.* 1997 citado en Corvacho, 2012). Los procesos que llevan a la heterogeneidad del hábitat puede actuar de manera local y de microhábitat (Frisell *et al.* 1986, Lake, 2000 citados en Pardo *et al.* 2002, Batlle y Golladay, 2001 y González *et al.* 2012, citados en Ariza, 2016) y de acuerdo con Leiva (2004) citado en Morelli y Verdi, 2014, los altos valores de diversidad se relacionan directamente con un buen balance entre las comunidades y las condiciones del hábitat, caso que se presentó en la quebrada La Peña.

Con respecto al tipo de lecho o sustrato que se encontró en las quebradas, los cuales proporcionan diferentes nichos para colonizar y recursos para la deriva y la alimentación de los macroinvertebrados acuáticos, situación que concuerda en su mayoría con los estudios de Allan, Flecker, Segnini, Taphorn, Sokol y Kilng, 2006 citado en Gil Gómez, 2014 que sostienen que en los ríos de montaña la diversidad no parece diferir entre microhábitats dada la predominancia de los sustratos rocosos de variado tamaño, tanto en los rápidos como en los remansos. Estas características que se ven reflejadas en la composición y diversidad de las quebradas estudiadas pero no en su índice de diversidad H' , el cual mostró diferencia entre quebradas, esto debido posiblemente a las diferentes presiones antrópicas a las que se ven sometidas por ejemplo, el tipo de sustrato rocoso cambia a arena o sedimento, esto hace que la diversidad cambie en los cuerpos de agua (Leiva, 2004 citado en Morelli y Verdi, 2014, Naiman *et al.* 1993; Ríos y Bailey, 2006; Innis *et al.* 2000 citado en Palma *et al.* 2009).

Las familias de macroinvertebrados encontradas estuvieron en su mayoría de acuerdo con Roldan, 1999 y Roldán, 2003, quien sustenta que en los ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, presentan aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, quironómidos y ciertos moluscos; pero ocasionalmente pueden presentarse algunos pocos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias. Las tres quebradas no están de acuerdo con todas las características anteriores, pero si se encontraron familias de macroinvertebrados con puntajes altos y bajos según el BMWP/Col, conviviendo en el mismo ecosistema, esta

dinámica obedecería al tipo de sustrato, vegetación de ribera que aporta hojarasca incrementando la materia orgánica y la presencia de microhábitat diversos (poza y rizados).

Hay familias encontradas que nos permite hacernos una idea del ecosistema, como las familias Chironomidae, Tipulidae y el orden Haplotaenida que son indicadoras de abundancia de materia orgánica (Roldan, 2003). La familia Lepidoptera, Elmidae, Megapodagrionidae y Hydropsychidae (*Leptonema* y *Smicridea*) se asocia a que la quebrada posee fondo pedregoso y vegetación sumergida y viven sobre rocas (Roldan, 2003). En general, esta composición de especies permite suponer que las quebradas tienen descargas de materia orgánica (autóctona o alóctona), el sustrato del lecho conformado por rocas de diferente tamaño, más que todo medianas y grandes, posibilita el movimiento del agua entre canales estrechos y constituye una base firme para la fijación o adherencia de organismos de vida sedentaria y a su vez favorecen la oxigenación física del agua. La combinación de estas características con las altas pendientes propicia una alta diversidad de hábitats para los macroinvertebrados (rizos o caballitos, rápidos, corrientes, cascadas y pozas) (Arango *et al.* 2008). Por otro lado, también se observó que en sistemas basados en material alóctono como la hojarasca, los macroinvertebrados fragmentadores son vitales para mover esta energía a otros niveles tróficos disponibilizando recursos para otras especies. Dentro de los fragmentadores están algunos Chironomidae, y homópteros (Hemiptera) semiacuáticos que succionan savia. (Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A., 2010). Los fragmentadores utilizan partículas de gran tamaño, como las hojas de árboles que caen al río y las degradan. En el proceso, generan fragmentos pequeños de materia orgánica que son accesibles a otros organismos, como los recolectores y filtradores. Al mismo tiempo, los macroinvertebrados filtradores, como las larvas de Simuliidae, remueven partículas finas (seston) del agua y proveen alimento para otros invertebrados acuáticos (Hanson *et al.* 2010). Los aporte de hojarasca antes mencionados, se observaron en todos los sitios de muestreo de la quebrada La Peña y en dos sitios de muestreo de la quebrada La Brizuela, mientras hubo escasa hojarasca en la rivera en el sitio tres de la quebrada La Brizuela y en los tres sitios de muestreo de la quebrada Las Cruces, en donde predominó el pasto. Ello contribuiría a explicarla

posible pérdida de la diversidad (mostrada en los números de Hill) en relación con impactos antropogénicos (Hanson *et al.* 2010).

El índice de hábitat influye en el BMWP/Col. y H' debido a que un hábitat heterogéneo proporciona mayor disponibilidad de sustratos que pueden ser colonizados, mientras que un hábitat homogéneo permite que ciertos tipos de macroinvertebrados se adapte a este ambiente, propiciando la dominancia de algunas poblaciones que la diversidad de organismos como se presentó en la quebrada Las Cruces. Dado que las quebradas en estudio tuvieron comportamientos similares fisicoquímicamente pero biológicamente hablando fueron muy distintas, se debe tener en cuenta otras variables de estudio para entender la ecología de cada quebrada. Lo expuesto anteriormente nos permite ver que el índice BMWP/Col. es una buena herramienta como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos del país (Roldán, 2003), aunque al basarse en presencia y ausencia, se debe analizar con cautela algunos resultados debido a que hay que leer el contexto en general, es decir, tener en cuenta, además de los parámetros fisicoquímicos, el hábitat en el que está expuestos los macroinvertebrados acuáticos. Lo anterior nos lleva a concluir que los parámetros físicos y químicos del agua son un complemento a los bioindicadores junto con la calidad y cantidad del hábitat, es decir, hay que ver el ecosistema como un todo, para entender mejor las contradicciones que pueden presentarse entre la calidad química del agua y los bioindicadores y tener una idea más realista de la salud de los cuerpos de agua, en especial en los escenarios de deforestación.

8. CONCLUSIONES

Las quebradas Las Cruces (Santa Rosa de Osos), La Brizuela (Guarne) y La Peña (Jericó) presentaron diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados tanto entre cuencas como entre tramos de las quebradas. Cambios fisicoquímicos del hábitat se asociaron con dichas diferencias y reflejaron un efecto importante de las actividades que se desarrollan a los alrededores de las quebradas como la agricultura, la ganadería y el turismo. Aunque no se presentaron diferencias fisicoquímicas importantes en el agua, el tipo de cobertura vegetal fue diferente en los diferentes tramos de las quebradas, siendo la quebrada la Peña la que conservó cobertura en sus tres tramos, la quebrada la Brizuela en sus tramos alto y medio y la quebrada las Cruces no la presentó en sus tres tramos, lo cual se reflejó en sus índices biológicos.

Parámetros como el índice de AUSRIVAS, están directamente relacionados con la riqueza de macroinvertebrados, incluso por encima de parámetros fisicoquímicos importantes como conductividad y pH. Dado que la riqueza de especies afecta directamente índices de calidad basados en composición como BMWP, es necesario que los estudios complementen la medición de variables químicas con la medición de parámetros de hábitat.

La calidad del agua de las quebradas de alta montaña La Peña (Jericó), La Brizuela (Guarne) y Las Cruces (Santa Rosa de Osos), según el BMWP/Col modificado por Álvarez, 2005 durante los dos periodos hidrológicos 2015 – 2016, mostró que la primera mantuvo una buena calidad, la segunda la mantuvo crítica y la tercera se mantuvo entre crítica y muy crítica. Además los índices de hábitat mostraron gran importancia en la estructuración de la comunidad biológica de cada una de las quebradas, así como una importante relación con el índice BMWP/Col modificado por Álvarez, 2005. En quebradas con baja cobertura e índices de hábitat, como la quebrada Las Cruces, se encontraron los menores valores de BMWP/Col, mientras que la quebrada La Peña, la que presenta mejores condiciones de hábitat y de conservación de cobertura, muestra un alto puntaje en los índices de BMWP/Col y es la

quebrada que mayor diversidad de especies presenta. Confirmando la influencia del hábitat sobre las comunidades de macroinvertebrados y la necesidad de que Las variables fisicoquímicas y los bioindicadores sean complementados por dichas variables del hábitat que permitan un diagnóstico más certero sobre la dinámica de los macroinvertebrados que habitan en los cuerpos de agua y se vean reflejados en las valoraciones de calidad de agua.

RECOMENDACIONES

Los resultados evidencian la necesidad de que los estudios de calidad de agua consideren aspectos como la geomorfología de cada una de las quebradas en especial los tipos de sustratos, estudiar los tipos y abundancia de la vegetación ribereña que pueden intervenir en la consolidación de sustratos y la oferta de nutrientes y como la altitud puede influir en el tamaño y sensibilidad de la comunidad de los macroinvertebrados frente a las perturbaciones antropogénicas. Adicionalmente, profundizar en la revisión de la ecología de los géneros de macroinvertebrados neotropicales, permita mejorar la resolución de los actuales índices bioindicadores de calidad de agua.

Es igualmente necesario actualizar los métodos de evaluación de la diversidad, ya que este valor es considerado un indicador clave de la salud de los ecosistemas. En nuestro trabajo encontramos que el índice de diversidad H' fue bajo para las tres quebradas no obstante, al usar los números de Hill nos permitió comparar las tres quebradas y encontrar un patrón de diversidad coherente con los cambios ambientales observados. Ello evidencia la necesidad de incluir en los estudios otros índices como los números de Hill o los índices Q que provean más información y permitan conclusiones más asertivas.

Por último, si se hace una determinación taxonómica más detallada se completaría la ecología de ciertos géneros de macroinvertebrados acuáticos, y así se podría ser más asertivos en el puntaje de la calidad del agua (Guerrero *et al.* 2003 citado en Ariza, 2016, Forero *et al.* 2014).

LISTA DE REFERENCIAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1): 35-64. Recopilado de [http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028\(1\)%2004%20Acosta.pdf](http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028(1)%2004%20Acosta.pdf).
- Alba Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería, Volumen II, 203-213. Recuperado de http://www.ephemeroptera-galactica.com/pubs/pub_a/pubalbaj1996p203.pdf.
- Alba Tercedor, J. y Sánchez Ortega, A. (1988) Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de hellawell (1978). *Limnética*, 4, 51-56. Recuperado de http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne04/L04u051_Metodo_calidad_basado_BMWP.pdf.
- Alfaro, V., Escobar, H. y Hernández, D. (2014). Uso y manejo del agua para el consumo humano en relación a la protección jurídica del medio ambiente (tesis de pregrado). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5833>
- Álvarez, L. F. (1982). Estudio del orden Hemiptera (Heteroptera) en el Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia.
- Álvarez, L. (2005). Desarrollo para una metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos.

Contrato N° 05-01-24843-0424PS entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” y Luisa Fernanda Álvarez Arango.

Arango, M. C. (1983). Estudio de los odonatos inmaduros del Departamento de Antioquia (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia.

Arango, M., Álvarez, L., Arango, G., Torres, O. y Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia, 9, 121-141. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n9/n9a10.pdf>

Arce, O. (2006). Indicadores biológicos de calidad del agua (Tesis de maestría). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

Aristizábal, H. (2002). Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Parte I: Familia Gerridae. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N°. 20.

Ariza, C. (2016). Determinación de la calidad de agua a través de la identificación de macroinvertebrados acuáticos en la Microcuenca Arroyo La uebrada, departamento de la Guajira, Colombia. Scientific International Journal, 13(2), 5-16. Recuperado de <http://www.nperci.org/C.%20Ariza-Calidad%20del%20agua-V13N2.pdf>

Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., y Stribling, J.B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/268338682_Rapid_bioassessment_protoc

[ols foruse in streams and wadable rivers Periphyton benthic invertebrates and fish](#)

Bedoya, I. (1984). Estudio de los dípteros acuáticos (Diptera) en diferentes pisos altitudinales en el Departamento de Antioquia (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia.

Caicedo, O. y Palacio, J. (1998). Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada la Mosca (Guarne, Antioquia), Colombia. Actualidades biológicas, 20(69), 61-73. Recuperado de <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba1998v20n69art1.pdf>

Caleño Ruiz, Y. (2014). Efecto de la extracción de agua sobre el procesamiento de la materia orgánica y el ensamblaje de macroinvertebrados, en la quebrada mata de los Cajuches (Tauramena-Casanare) (Tipo de tesis inédita). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Castellanos, P. M. y Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. Revista Académica Colombiana de Ciencias, 32(122), 79-86. Recuperado de http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_32/122/79-86.pdf

Castells, X. E. (2012). Reciclaje de residuos industriales. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Reciclaje_de_residuos_industriales.html?id=8yWSZEbQSXgC&redir_esc=y

Chapman, D. (1996). Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring. Recuperado de

https://books.google.com.co/books?id=Lp1pEhsxZGsC&source=gbs_book_other_versions

Clavijo, C. (2009). Reseña de Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología" de E. DOMÍNGUEZ & H. R. FERNÁNDEZ (eds.). Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay, 9(92), 211 Sociedad Malacológica del Uruguay Montevideo, Uruguay.

Cornare. (2006). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca la Brizuela (POMCA). Recuperado de: <http://www.cornare.gov.co/POMCAS/Documentos/La-Brizuela.pdf>.

Cortolima. (2008). Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/e01.pdf.

Corvacho Aranguiz, C. (2012). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile. (Tesis inédita de maestría). Recuperado de http://www.ub.edu/fem/docs/treballs/TESIS_MASTER_Caroline%20Carvacho.pdf.

Domínguez, E. y Peters, W. (1992). Claves para ninfas y adultos de las familias y géneros de Ephemeroptera (Insecta) sudamericanos. Biología Acuática N. 16, 1-38. Recuperado de http://www.ephemeroptera-galactica.com/pubs/pub_d/pubdomingueze1992p1.pdf

Dominguez, E., Molineri, C. y Nieto C. (2009). Ephemeroptera. En E. Domínguez y H. R. Fernandez (Ed.), Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología (pp.55-93)

Durán, C., Navarro, P. y Rodríguez, M. (2013). Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la directiva Marco del Agua: Protocolos de Muestreo y

análisis de indicadores hidromorfológicos. Recuperado de www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=15955

El Tiempo. (27 de agosto 2015). Fenómeno del Niño podría llegar hasta marzo del 2016. El Tiempo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/fenomeno-del-nino-en-colombia-2015-2016/16296881>

Forero, A., Reinoso, G. y Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia* 35(2),371-387. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v35n2/v35n2a12.pdf>

Forero, L. C., Longo, M., Ramírez R. J. J. y Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICERN-MAE), Colombia. *Revista Biologica Tropical*, 62 (Supl. 2), 233-247. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62s2/a16v62s2.pdf>

Gil Gómez, J. (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. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1803/1/tesisJAGG.pdf>

Giraldo, (2006). Macroinvertebrados acuáticos encontrados en quebradas altoandinas al oriente de Cundinamarca y su relación con la calidad de agua. VII seminario colombiano de limnología y I reunión internacional sobre ríos y humedales neotropicales. Asociación Colombiana de Limnología (Neolimnos), Tolima.

Gobernación de Antioquia. (2015). Santa Rosa de Osos- Antioquia. Recuperado de http://www.santarosadeosos-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

González Castrillón, E. (2009) Gestión del agua y planificación territorial en ámbitos metropolitanos: el caso del área metropolitana del Valle de Aburrá. Doctorado thesis, Universidad Autónoma de Madrid. Capítulo 4.4.2 hasta capítulo 4.4.6 Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1568/5/43492541.20095.pdf>

Hahn von Hessberg, C. M., Ricardo Toro, D., Grajales Quintero, A., Duque Quintero, G. M. y Serna-Uribe, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de caldas, municipio de palestina, Colombia. Boletín Científico Museo de Historia Natural 13 (2), 89 – 105. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v13n2/v13n2a06.pdf>

Hanson, P., Springer, M. y Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Revista Biologica Tropical, 58 (Supl. 4), 3-37. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a01v58s4.pdf>

Hart, B., Maher, B. y Lawrence, I. (1999). New generation water quality guidelines for ecosystem protection. Freshwater Biology, 41, 347-359. Recuperado de <http://appliedecology.edu.au/wp-content/uploads/2014/04/Hart-etal-1999-New-generation-water-quility.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. (2015). Informe sobre la evolución del fenómeno de variabilidad climática El Niño. Boletín 007. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/fenomeno-el-nino-se-intensifica-y-alcanza-intensidad-moderada

Jaramillo Rojas, C., Molina P, F. y Betancur V, T. (2011). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. Revista Ingenierías

Universidad de Medellín, 10 (19), 33-45. Recuperada de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v10n19/v10n19a04.pdf>

Kiffney, P. y Clements, W. (May, 1996). Effects of metals on stream macroinvertebrate assemblages from different altitudes. *Ecological Applications*, 6(2), 472-48.

Kubosova, K., Brabec, K., Jarkovsky, J., y Syrovatka, V. (2010). Selection of indicative taxa for river habitats: a case study on benthic macroinvertebrates using indicator species analysis and the random forest methods. *Hydrobiologia*, 651(1), 101-114. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/225363458_Selection_of_indicative_taxa_for_river_habitats_A_case_study_on_benthic_macroinvertebrates_using_indicator_species_analysis_and_the_random_forest_methods

López, E., Reinoso, G., Guevara, G. y Villa, F. (2006). Estructura, distribución y relaciones con el índice de calidad de agua de la tricóptero fauna en la cuenca del Río Prado (Tolima, Colombia). VII seminario colombiano de limnología y I reunión internacional sobre ríos y humedales neotropicales. Resúmenes del VII seminario colombiano de limnología y I reunión internacional sobre ríos y humedales neotropicales. Asociación Colombiana de Limnología (Neolimnos), Tolima.

Madera, L., Angulo, L. C., Díaz, L. C., y Rojano, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Información Tecnológica*, 27(4), 103-110. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v27n4/art11.pdf>

Mancera Pineda, J.E., Peña Salamanca, E. J., Giraldo Henao, R. y Santos Martínez, A. (2003). Introducción a la modelación ecológica. Principios y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia. Sede San Andrés. Pp. 14-15-17

- Meza, A. M., Rubio, J., Dias, L., y Walteros, Y. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443-456. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v34n2/v34n2a13.pdf>
- Molina, C. I., Gibon, F. M., Pinto, J., y Rosales, C. (2008). Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 105-116. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a13v7n1-2.pdf>
- Montoya, Y., Acosta, Y. y Zuluaga, E. (2011). Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. *Caldasia*, 33(1), 193-210. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v33n1/v33n1a12.pdf>
- Morelli, E. y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, 1160-1170. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v85n4/v85n4a17.pdf>
- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, 84pp. Recuperado de <http://www.observatorioirsb.org/cmsAdmin/uploads/m-todos-biodiversidad.pdf>
- Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E. y P. Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1249-1261. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n4/v82n4a19.pdf>

- Moya, N., Domínguez, E., Goitia, E. y Oberdorff, T. (2011). Desarrollo de un índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. *Ecología Austral*, 21: 135-147. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v21n2/v21n2a02.pdf>
- Niemi, G. J. y McDonald, M. E. (2004). Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 35, 89-111. Recuperado de <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132?journalCode=ecolsys>
- Núñez, J. (2001). Manejo y conservación de suelos. San José, Costa Rica, EUNED editorial Universidad estatal a distancia.
- Palma, A., Figueroa, R. y Ruiz, V. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana* 73(1), 57-63. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/gayana/v73n1/art09.pdf>
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J., Vivas, S., Bonada, N., Alba Tercedor, J., Jáimez Cuéllar, P., Moyà, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M. L., Toro, M. y Vidal Abarca, M. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4), 115-133. Recuperado de http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne21/L21b115_Indice.habitat.fluvial.rios.mediterraneos.proyecto.Guadalmed.pdf
- Parsons, M., Thoms, M. y Norris, R. (2002). Australian River Assessment System: Review of Physical River Assessment Methods — A Biological Perspective, Monitoring River Health Initiative Technical Report no 21, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra. Recuperado de <https://ausrivas.ewater.org.au/review/download/protocol-2.pdf>

- Pave, P. J. y Marchese, M. (2005). Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). *Ecología austral*, 15(2), 183-197. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v15n2/v15n2a08.pdf>
- Posada García, J. A., Abril Ramírez, G. y Parra Sánchez, L. N. (2008). Diversity of Aquatic Macroinvertebrates of Páramo de Frontino (Antioquia, Colombia). *Caldasia*, 30(2), 441-455. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0366-52322008000200011&script=sci_arttext
- Pulgarín Silva, R. (2006) .Construcción de un inventario patrimonial en la microcuenca la Brizuela- oriente antioqueño- apoyado en los SIG: una posibilidad de comprender el territorio. Universidad de Antioquia. Facultad de Eucación. *Uni-Pluri/Versidad* 6(2), 1-18. Recuperado de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/unip/article/view/11975/10852>
- Ramírez Arciniegas, L. (2012). Municipio De Santa Rosa De Osos: Plan ambiental Municipal. Recuperado de <http://www.santarosadeosos-antioquia.gov.co/apc-aa-files/31363363623432363263303561633165/plan-ambiental-municipal-s.r.o..pdf>
- Ramírez, J. y Roldán, G. (1989). Contribución al conocimiento limnológico y de los macroinvertebrados acuáticos de algunos ríos de la región del Urabá antioqueño. *Actualidades Biológicas*, 18(66), 113-116. Recuperado de <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba1989v18n66art3.pdf>
- Reynaga, M. C., y Dos Santos, D. A. (2012). Rasgos biológicos de macroinvertebrados de ríos subtropicales: patrones de variación a lo largo de gradientes ambientales espacio-temporales. *Ecología austral*, 22, 112-120. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v22n2/v22n2a04.pdf>.

- Ríos-Pulgarín, M.I., Arango-Jaramillo, M.C., Barletta, M., Mancera-Rodríguez. 2016. The role of the hydrological cycle on the temporal patterns of macroinvertebrate assemblages in an Andean foothill stream in Colombia. *J. Limnol.*, 2016; 75(s1): 107-120. DOI: 10.4081/jlimnol.2016.1394
- Ríos Touma, B., Encalada, A. y Fornells, N. (2011). Macroinvertebrate Assemblages of an Andean High-Altitude Tropical Stream: The Importance of Season and Flow. *International Review of Hydrobiology*, 96 (6), 667-685.
- Rivera Usme, J. J., Pinilla Agudelo, G. A. y Rangel, J. O. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia* 35 (2), 389- 408. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v35n2/v35n2a13.pdf>
- Rodrigo, M. A., Rojo, C., Armengol, X., & Mañá, M. (2001). Heterogeneidad espacio-temporal de la calidad del agua en un humedal costero: El Marjal de la Safor (Valencia). *Limnetica*, 20(2), 329-339. Recuperado de http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne20/L20b329_Calidad_agua_marjal_Safor.pdf
- Rodríguez, A., Muñoz, I., Bonada, N., Gaudes, A. y Tomanova, S. (2009). La biota de los ríos: los invertebrados. En A. Elosegi y S. Sabater (Ed.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. (pp. 253-270). Bilbao: Fundación BBVA. Recuperado de http://www.fbbva.es/TLFU/microsites/ecologia_fluvial/pdf/cap_14.pdf
- Roldan Pérez, G. (1992). *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Roldan Pérez, G. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. El Fondo para la protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis"-FEN Colombia.
- Roldán Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista Academia Colombiana de Ciencia*, 23(88), 375-387. Recuperado de http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf
- Roldán Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia Uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán Perez, G. y Ramírez Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=FA5Jr7pXF1UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Scheffler, W.C. (1981). *Bioestadística*. Estados Unidos: Fondo Educativo Interamericano S.A.
- Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial, Municipio de Jericó, Antioquia. (2010). *Formulación del esquema de ordenamiento territorial de Jericó*. Recuperado de http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/jerico_antioquia_eot.pdf
- Terneus, E., Racines, M. J. y Hernández, K. (2012). Evaluación Ecológica del Río Lliquino a Través de Macroinvertebrados Acuáticos, Pastaza–Ecuador. *Revista de Ciencias*, 16, 31-45. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4416/1/Evaluacion%20ecologica.pdf>

- Testi, A., Bisceglie, S., Guidotti, S. y Fanelli, G. (2009). Detecting river environmental quality through plant and macroinvertebrate bioindicators in the Aniene River (Central Italy). *Aquatic ecology*, 43(2), 477-486. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007/s10452-008-9205-8#page-1>
- Tomanova, S., Tedesco, P., Campero, M., Van Damme, P., Moya, N. y Oberdorff, T. (2007). Longitudinal and altitudinal changes of macroinvertebrate functional feeding groups in neotropical streams: a test of the River Continuum Concept. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie*, 170 (3): 233–241.
- Vannote, R., Minshall, W., Cummins, K., Sedell, J. y Cushing, C. (1980). The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 130-137. Recuperado de http://www.colorado.edu/geography/geomorph/envs_5810/vannote_1980.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Sitios de muestreo de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces.



Estación 1, Quebrada La Peña (Jericó, Antioquia)



Estación 2, Quebrada La Peña (Jericó, Antioquia)



Estación 3, Quebrada La Peña (Jericó, Antioquia)



Estación 1, Quebrada La Brizuela (Guarne, Antioquia)



Estación 2, Quebrada La Brizuela (Guarne, Antioquia)



Estación 3, Quebrada La Brizuela (Guarne, Antioquia)



Estación 1, Quebrada Las Cruces (Santa Rosa de Osos, Antioquia)



Estación 2, Quebrada Las Cruces (Santa Rosa de Osos, Antioquia)



Estación 3, Quebrada Las Cruces (Santa Rosa de Osos, Antioquia)

Anexo 2. Parámetros para medir el hábitat

Parámetros de Hábitat	Categorías de condición																				
	Excelente					Bueno					Regular					Pobre					
1. Sustrato para epifauna / cobertura disponible	Más del 50% del sustrato es favorable para la colonización de epifauna y peces bentónicos, mezcla de ramas cortadas y clavos en el fondo, troncos sumergidos, orillas en pendiente (socavadas), guijarros (cantos) u otros hábitats estables y en un estado que permite un potencial de colonización completo (p.e. troncos caídos que no cayeron recientemente y no transitorios).					30-50% de una mezcla de hábitats estable; buena oferta potencial para una colonización completa, hábitat adecuado para el mantenimiento de poblaciones, hay presencia de sustratos adicionales en forma de materiales recién caídos, los cuales aún no están preparados para la colonización.					10-30% de una mezcla de hábitat estable, disponibilidad de hábitat menos que el deseable. Sustrato comúnmente perturbado o removido.					Menos de 10% de sustrato estable, es evidente la falta de hábitat. El sustrato es inestable o ausente					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
2. Caracterización del sustrato en las charcas	Mezcla de materiales que hacen parte del sustrato, con grava y prevalece la arena firme, raíces entrelazadas y es común encontrar vegetación sumergida					Mezcla de arena blanda, fango o arcillas, el fango puede ser dominante, mucha raíces entrelazadas y vegetación sumergida presente.					Todo fango o arcilla o arena en el fondo, pocas raíces entrelazadas y en algunos casos pueden no estar presente, no hay vegetación sumergida.					Una capa de arcilla dura o de rocas; no hay presencia de raíces o vegetación					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
3. Variabilidad de las charcas	Una mezcla igual de charcas grandes y pequeñas, profundas y someras, pequeñas y poco profundas.					La mayoría de las charcas son profundas y muy pocas someras					Muchas charcas poco profundas que prevalecen sobre las de mayor profundidad.					La mayoría de las charcas son poco profundas y pequeñas o incluso están ausentes.					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
4. Deposición de sedimentos	Pocas o no muy grandes islas o barras aisladas y menos de 20% del fondo están afectados por deposición de sedimento.					Se observa algún incremento en la formación de barras, en su mayor parte de grava, arena o sedimento fino. 20-50% del fondo se encuentra afectado, leve deposición en charcas.					Deposición moderada de grava, arena o sedimento fino sobre barras nuevas y antiguas, del 50-80% del fondo está afectado, por la deposición de sedimento en zonas obstruidas, en constricciones en curvas y recodos, deposición moderada en charcas permanentes.					Fuertes deposiciones de material fino, incremento en el desarrollo de barras, más del 80% del fondo cambian frecuentemente, las charcas casi siempre están ausentes debido a la gran deposición de sedimento.					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Parámetros de Hábitat	Categorías de condición																				
	Excelente					Bueno					Regular					Pobre					
5. Estado del canal de flujo	El agua alcanza la base de las orillas, y una cantidad mínima del sustrato del canal se encuentra expuesto					El agua ocupa >75% del canal disponible, el canal tiene <25% del sustrato del canal expuesto.					El agua ocupa entre 25-75% del canal disponible y/o el sustrato está expuesto en su mayor parte					Muy poca agua se encuentra en el canal y en su mayor parte se encuentra en charcas.					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
6. Alteración del canal	La canalización o el dragado están ausente o es mínimo, arroyo (quebrada) con un patrón normal.					Alguna canalización presente, usualmente en áreas de puentes que unen varios puntos. Evidencia cercana de las canalizaciones en el pasado, por ejemplo puede estar presente un dragado (mayor de 20 años) pero no se presentan canalizaciones que sean recientes.					La canalización puede ser extensa, terraplenes o banales o pequeñas estructuras de soporte de las orillas presentes en ambos márgenes. 40-80% de la corriente del arroyo canalizada o interrumpida.					Orillas de la ribera con muros de gavión o cemento, más del 80% del arroyo esta canalizado e interrumpido, el hábitat dentro de la corriente fuertemente alterado o removido enteramente.					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Parámetros de Hábitat	Categorías de condición																				
	Excelente					Bueno					Regular					Pobre					
7. Sinuosidad del Canal	Las curvas en la quebrada incrementan su longitud de 3 a 4 veces a diferencia de que esta fuera en línea en recta. (Un canal ondulado es considerado normal en las zonas costeras, en los planos de inundación y otras áreas bajas. Este parámetro no es fácilmente valorado en estas áreas)					Las curvas u ondulaciones en la quebrada incrementan su longitud 3-4 veces a diferencia de que se está fuera en línea recta.					Las curvas u ondulaciones en la quebrada incrementan su longitud 1-2 veces a diferencia de que se está fuera en línea recta.					Canal recto; un distancia considerable de la quebrada ha sido canalizada.					
Puntaje	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
8. Estabilidad de la ribera u orilla	Orilla estable, evidencias de erosión o de fallas en la orilla ausentes o mínimas, con un bajo potencia de problemas futuros. <5% de la orilla se encuentra afectada.					Moderadamente estable, son poco frecuentes las áreas con erosión, y en gran parte pueden restaurarse. Del 5-30% de la extensión de la orilla tiene áreas de erosión.					Moderadamente inestable, del 30-60% de la extensión de la orilla del arroyo presenta áreas de erosión. Alto potencial de erosión durante las inundaciones.					Inestable, muchas áreas erosionadas. Las áreas dañadas por la fricción son frecuentes a lo largo de las secciones rectas y curvas en la quebrada; es obvio el desprendimiento de las orillas (hoyos lleno de fango?). 60-100% de las orillas tiene cicatrices de erosión.					
Puntaje	Orilla iz.		10	9		8	7	6			5	4	3			2	1	0			
Puntaje	Orilla der.		10	9		8	7	6			5	4	3			2	1	0			
9. Protección por vegetación	Más del 90% de la superficie de la ribera y la zona ripiara adyacente está cubierta por vegetación nativa, incluyendo árboles, arbustos mayores (undertorey) o no hay macrofitas leñosas. La fragmentación de la vegetación con las zonas de					70-90% de la superficial de la ribera está cubierta por vegetación nativa, pero una clase de plantas no está bien representada; la fragmentación de la vegetación es evidente pero no afecta el completo potencial del crecimiento de					50-70% de la superficie de la ribera cubierta por vegetación. La fragmentación es obvia; parches de suelo desnudo o cerca es común la vegetación plantada. Menos de la mitad del potencial de crecimiento de las plantas con altura de					Menos del 50% de la superficie de la ribera está cubierta por vegetación, la fragmentación de la vegetación de la orilla es muy alta, la vegetación ha sido removida hasta 5 centímetros o menos de la mitad a la altura del pasto.					

Parámetros de Hábitat	Categorías de condición											
	Excelente			Bueno			Regular			Pobre		
	pastoreo o siega (corte) es mínima o no es evidente. Casi todas las plantas crecen naturalmente.			las plantas para cualquier extensión grandes. Más de la mitad del potencial de crecimiento de la plantas con altura de rastrojo 2 se encuentran en el área restante.			rastrosos permanecen en el campo después de la cosecha.					
Puntaje	Orilla iz.	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Puntaje	Orilla der.	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
10. Puntaje de la zona riparia	El ancho de la zona riparia es mayor de 18 metros, las actividades humanas (p.e. caminos, pastos, plantaciones...) no tienen impacto sobre la zona riparia.			El ancho de la zona riparia es de 12-18 metros, las actividades humanas tienen un impacto mínimo sobre la zona riparia.			El ancho de la zona riparia es de 6-12 metros, las actividades humanas tienen un gran impacto sobre la zona riparia.			El ancho de la zona riparia es de <6 metros, vegetación riparia pequeña o no está presente debido a las actividades humanas.		
Puntaje	Orilla iz.	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Puntaje	Orilla der.	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Tomada de

http://www.cornare.gov.co/LA/Gramalote/ANEXOS/Anexo_1_21_Protocolo_AUSRIVAS/Anexo%201.21_Protocolo%20AUSRIVAS.pdf

Anexo 3. Índices fisicoquímicos de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces.

	Periodo	Quebrada	Tramo	Mínimo	Máximo	Media	CV(Coeficiente de Variación)%	
pH	Lluvioso	La Brizuela	Alto	7,69	7,75	7,73	0,42	
			Medio	7,68	7,75	7,71	0,47	
			Bajo	7,20	7,68	7,47	3,32	
		Las Cruces	Alto	7,49	7,59	7,54	0,66	
			Medio	7,99	8,20	8,08	1,36	
			Bajo	7,04	7,09	7,07	0,35	
		La Peña	Alto	7,86	7,95	7,89	0,62	
			Medio	7,69	7,81	7,76	0,80	
			Bajo	7,79	7,89	7,84	0,64	
	Seco	La Brizuela	Alto	7,66	7,83	7,75	1,13	
			Medio	7,59	7,68	7,65	0,64	
			Bajo	7,39	7,59	7,49	1,33	
		Las Cruces	Alto	7,05	7,08	7,07	0,22	
			Medio	7,74	7,78	7,76	0,27	
			Bajo	7,00	7,00	7	0,00	
		La Peña	Alto	6,67	7,09	6,84	3,21	
			Medio	7,00	7,02	7,01	0,165	
			Bajo	6,88	7,04	6,98	1,25	
	Valor p Periodo <0,0001 (Se transformaron los datos x3)Si hay diferencia significativa entre periodos							
	Valor p Quebradas <0,0001 (Se transformaron los datos x3) Si hay diferencias significativas entre La quebrada la Brizuela con las quebradas Las Cruces y La Peña (alto, medio y bajo)							
	Valor p Tramos <0,0001 (Se transformaron los datos x3) Si hay diferencias significativas entre tramos(alto, medio y bajo)							
	Temperatura (°C)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	15,1	15,7	15,3	2,10
				Medio	15,8	16,3	16	1,65
				Bajo	15,9	16,8	16,3	2,77
Las Cruces			Alto	15,4	15,9	15,6	1,61	
			Medio	15,3	15,7	15,5	1,34	
			Bajo	15,3	15,6	15,4	1,12	
La Peña			Alto	16,6	16,9	16,8	0,91	
			Medio	17,4	17,9	17,7	1,50	
			Bajo	17,4	18,8	18	3,93	
		La Brizuela	Alto	15,1	15,3	15,2	0,76	
			Medio	15,3	15,4	15,3	0,38	
			Bajo	16,1	16,4	16,2	0,94	
		Las Cruces	Alto	17,3	17,6	17,4	0,88	

	Seco		Medio	17,4	17,7	17,6	0,87	
			Bajo	16,9	17,1	17	0,68	
		La Peña	Alto	16,6	17,1	16,9	1,49	
			Medio	17,7	18	17,9	0,85	
			Bajo	18	18,7	18,4	2,05	
Valor p Quebradas <0,0001 Si hay diferencia significativa entre las tres quebradas								
Valor p Tramo <0,0001 Si hay diferencia significativa entre el tramo Alto y bajo								
Valor p Tramo 0.000201 Si hay diferencia significativa entre el tramo alto y medio.								
Oxígeno disuelto(mg/l)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	7,21	7,24	7,23	0,21	
			Medio	7,12	7,21	7,15	0,69	
			Bajo	6,89	7,05	6,95	1,25	
		Las Cruces	Alto	7,30	7,36	7,32	0,44	
			Medio	6,67	6,75	6,71	0,60	
			Bajo	4,87	4,97	4,92	1,02	
		La Peña	Alto	8,2	8,7	8,4	2,98	
			Medio	6,6	6,8	6,7	1,49	
			Bajo	6,1	6,4	6,3	2,44	
	Seco	La Brizuela	Alto	7,94	8,11	8,02	1,06	
			Medio	7,69	8,04	7,87	2,23	
			Bajo	7,29	7,49	7,4	1,37	
		Las Cruces	Alto	8,97	8,99	8,98	0,11	
			Medio	7,13	7,59	7,33	3,22	
			Bajo	3,70	3,90	3,8	2,63	
		La Peña	Alto	7,97	8,14	8,05	1,06	
			Medio	5,81	5,87	5,84	0,52	
			Bajo	6,39	6,79	6,59	3,04	
	Valor p Periodo <0,0000001 Si hay diferencia significativa entre los dos periodos							
	Valor p Quebradas <0,0000001 Si hay diferencia significativa entre las tres quebradas							
Valor p Tramos <0,0000001 Si hay diferencia significativa entre los tres tramos								
Conductividad (µS/cm)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	265	267	266	0,38	
			Medio	260	261	260	0,22	
			Bajo	280	282	281	0,36	
		Las Cruces	Alto	0,02	0,02	0,02	0,00	
			Medio	0,02	0,02	0,02	0,00	
			Bajo	98,3	99,9	98,9	0,88	
		La Peña	Alto	17,1	17,2	17,1	0,33	
			Medio	63,2	63,5	63,4	0,24	
			Bajo	74,5	74,9	74,7	0,28	

	Seco	La Brizuela	Alto	215,5	217,5	216,5	0,46	
			Medio	212,9	213,9	213,6	0,27	
			Bajo	202,1	204,1	203,1	0,49	
		Las Cruces	Alto	0,03	0,06	0,04	35,25	
			Medio	0,02	0,05	0,03	45,83	
			Bajo	94,80	97,1	95,8	1,22	
		La Peña	Alto	39,6	41,5	40,5	2,34	
			Medio	69,8	70,4	70,2	0,46	
			Bajo	88,5	90,0	89,5	0,94	
	Se utilizó la prueba de kruskal Wallis:							
	Valor p Tramos 0.03003 si hay diferencia significativa entre tramos							
	Valor p Quebradas 0.0000001053 Si hay diferencia significativa entre quebradas							
	Velocidad (m/s)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	0,47	0,49	0,48	2,08
Medio				0,17	0,19	0,18	5,55	
Bajo				0,20	0,22	0,21	4,76	
Las Cruces			Alto	0,15	0,17	0,16	6,25	
			Medio	5,11	5,81	5,5	6,41	
			Bajo	0,04	0,07	0,06	26,95	
La Peña			Alto	0,18	0,20	0,19	5,26	
			Medio	0,34	0,39	0,36	6,93	
			Bajo	0,20	0,22	0,21	4,76	
Seco		La Brizuela	Alto	0,13	0,16	0,14	10,66	
			Medio	0,03	0,06	0,04	35,25	
			Bajo	0,15	0,19	0,17	12	
		Las Cruces	Alto	0,12	0,18	0,15	20	
			Medio	4,00	6,00	5	20	
			Bajo	0,05	0,09	0,07	28,57	
		La Peña	Alto	0,10	0,12	0,11	9,09	
			Medio	0,11	0,13	0,12	8,33	
			Bajo	0,33	0,36	0,34	4,45	
Se utilizó la prueba de kruskal walis								
Valor p Periodo 0.005459 Si hay diferencia significativa entre periodos								

Anexo 4. Índices biológicos de las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces.

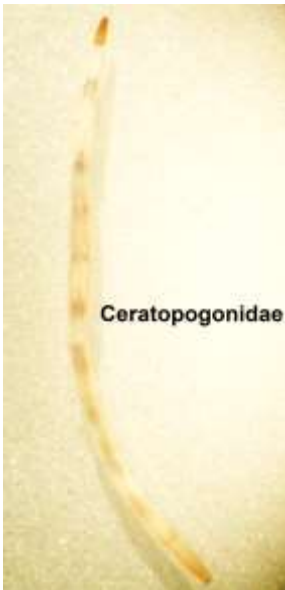
	Periodo	Quebrada	Tramo	Mínimo	Máximo	Media	CV(Coeficiente de Variación)%	
índice BMWP/Col	Lluvioso	La Brizuela	Alto	18	39	25.7	45.2	
			Medio	30	43	36.3	17.9	
			Bajo	1	13	6.0	104.1	
		Las Cruces	Alto	8	17	11.0	47.2	
			Medio	7	20	14.3	46.4	
			Bajo	4	12	8.3	48.5	
		La Peña	Alto	78	113	98.0	18.4	
			Medio	24	44	37.3	30.9	
		Bajo	34	59	49.0	27.0		
	Seco	La Brizuela	Alto	7	32	20.7	61.3	
			Medio	15	30	21.7	35.2	
			Bajo	8	21	13.0	53.8	
		Las Cruces	Alto	15	20	16.7	17.3	
			Medio	12	17	14.7	17.1	
			Bajo	2	22	12.7	79.5	
		La Peña	Alto	60	115	87.0	31.6	
			Medio	63	86	74.3	15.5	
		Bajo	62	89	74.7	18.2		
	Valor p Tramo 0.00125 Si hay diferencia significativa entre el tremo alto y bajo.							
	Valor p Quebradas <0.0001 Si hay diferencia significativa entre la Q. La Peña y las quebradas La Brizuela y Las Cruces							
	En la ANOVA se trasformó los datos con SQR.							
	Diversidad H' (bits/individuo) (Shannon- Weaver, 1949)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	0.258	0.565	0.390	40.4
				Medio	0.489	0.852	0.677	26.8
				Bajo	0.000	0.301	0.100	173.2
Las Cruces			Alto	0.235	0.536	0.354	45.3	
			Medio	0.295	0.583	0.409	37.3	
			Bajo	0.167	0.485	0.331	48.1	
La Peña			Alto	0.845	1.074	0.955	12.0	
			Medio	0.559	0.889	0.764	23.4	
		Bajo	0.624	0.888	0.776	17.6		
Seco		La Brizuela	Alto	0.137	0.789	0.504	66.2	
			Medio	0.431	0.473	0.459	5.2	
			Bajo	0.217	0.379	0.321	28.1	
		Las Cruces	Alto	0.230	0.480	0.333	39.1	
			Medio	0.132	0.466	0.302	55.3	
			Bajo	0.000	0.496	0.243	102.0	
		La Peña	Alto	0.876	1.074	0.985	10.2	

			Medio	0.560	1.086	0.807	32.8
			Bajo	0.597	0.943	0.804	22.7
Valor p Quebradas <0.0001 Si hay diferencia significativa entre la Q. La Peña y las quebradas La Brizuela y Las Cruces							
Dominancia (Simpson, 1960)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	0.396	0.687	0.548	26.6
			Medio	0.162	0.496	0.296	59.6
			Bajo	0.000	1.000	0.667	86.6
		Las Cruces	Alto	0.312	0.640	0.491	33.8
			Medio	0.268	0.586	0.441	36.5
			Bajo	0.442	0.768	0.590	28.0
		La Peña	Alto	0.094	0.240	0.155	49.0
			Medio	0.092	0.305	0.173	66.4
			Bajo	0.109	0.256	0.195	39.3
	Seco	La Brizuela	Alto	0.163	0.819	0.425	81.8
			Medio	0.301	0.443	0.386	19.5
			Bajo	0.491	0.600	0.555	10.3
		Las Cruces	Alto	0.353	0.644	0.532	79.5
			Medio	0.326	0.818	0.577	42.6
			Bajo	0.448	1.000	0.704	39.5
		La Peña	Alto	0.082	0.247	0.155	54.1
			Medio	0.069	0.416	0.238	72.9
			Bajo	0.147	0.333	0.245	38.1
Valor p Quebradas 0.006659 Si hay diferencia significativa entre la Q. La Peña y la Q. La Brizuela.							
Valor p Quebradas 0.000133 Si hay diferencia significativa entre la Q. La Peña y la Q. Las Cruces.							
En la ANOVA se trasformó los datos con SQR.							
Equidad de pielou (J')	Lluvioso	La Brizuela	Alto	0.428	0.625	0.543	18.9
			Medio	0.541	0.852	0.737	23.1
			Bajo	0.000	1.000	0.333	173.2
		Las Cruces	Alto	0.781	0.962	0.878	10.4
			Medio	0.581	0.980	0.843	26.9
			Bajo	0.555	0.694	0.605	12.7
		La Peña	Alto	0.687	0.873	0.803	12.6
			Medio	0.800	0.936	0.889	8.7
			Bajo	0.783	0.931	0.838	9.6
	Seco	La Brizuela	Alto	0.454	0.874	0.723	32.2
			Medio	0.675	0.992	0.794	21.7

			Bajo	0.542	0.767	0.677	17.6	
		Las Cruces	Alto	0.608	0.798	0.723	14.0	
			Medio	0.439	0.978	0.687	39.6	
			Bajo	0.000	0.637	0.376	88.8	
		La Peña	Alto	0.698	0.930	0.806	14.5	
			Medio	0.503	0.923	0.734	29.0	
			Bajo	0.597	0.802	0.690	15.0	
Abundancia	Lluvioso	La Brizuela	Alto	23	95	65.0	57.6	
			Medio	27	59	44.0	36.6	
			Bajo	2	19	12.3	73.6	
		Las Cruces	Alto	42	83	69.0	33.9	
			Medio	12	178	90.3	92.3	
			Bajo	31	154	104.3	62.1	
		La Peña	Alto	46	118	72.0	55.5	
			Medio	15	29	20.0	39.0	
			Bajo	24	73	43.3	60.2	
		Seco	La Brizuela	Alto	21	54	36.0	46.4
			Medio	18	28	24.0	22.0	
			Bajo	5	19	13.7	55.4	
			Las Cruces	Alto	21	51	36.0	41.7
			Medio	11	30	19.3	50.2	
			Bajo	49	213	128.7	63.8	
			La Peña	Alto	28	151	104.0	63.9
			Medio	29	144	81.0	71.9	
		Bajo	124	223	166.3	30.7		
<p>Valor p Quebrada 0.0148 Si hay diferencia significativa entre la Q. Las Cruces y la Q. La Brizuela</p> <p>Valor p Quebradas 0.0036 Si hay diferencia significativa entre la Q. La Peña y la Q. La Brizuela.</p> <p>En la ANOVA se trasformó los datos con LN</p>								
Riqueza (S)	Lluvioso	La Brizuela	Alto	4	8	5.3	43.3	
			Medio	7	10	8.3	18.3	
			Bajo	1	2	1.3	43.3	
		Las Cruces	Alto	2	4	2.7	43.3	
			Medio	2	4	3.3	34.6	
			Bajo	2	5	3.7	41.7	
		La Peña	Alto	13	17	15.7	14.7	
			Medio	5	9	7.3	28.4	
			Bajo	6	11	8.7	29.0	
		Seco	La Brizuela	Alto	2	8	5.0	60.0

		Medio	3	5	4.0	25.0
		Bajo	2	5	3.3	45.8
	Las Cruces	Alto	2	4	3.0	33.3
		Medio	2	3	2.7	21.6
		Bajo	1	6	3.3	75.5
	La Peña	Alto	12	23	17.7	31.2
		Medio	10	15	12.7	19.9
		Bajo	10	20	15.0	33.3
<p>Valor p Quebradas <0.0001 Si hay diferencia significativa entre la Q. La Peña y las quebradas La Brizuela y Las Cruces. En la ANOVA se transformó los datos con LN</p>						

Anexo 5. Fotografías de las familias más comunes de Macroinvertebrados en las quebradas La Peña, La Brizuela y Las Cruces.







Simuliidae



Tipulidae

Anexo 6. Comunicación escrita UCO sobre la NO INCLUSIÓN de especies para la colección de Macroinvertebrados (CMA – UCO)



UCO
Universidad Católica de Oriente

Rionegro, 27 de febrero de 2017

A QUIEN CORRESPONDA

Mediante comunicación escrita, los estudiantes Jazmin Bibiana Londoño Londoño, Diana Patricia Moreno Arbelaz y Olga Lucía Suárez Restrepo le manifestaron a La Universidad Católica de Oriente analizar la posibilidad de incluir varios individuos de macroinvertebrados recolectados en el trabajo de grado: Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad de agua de tres quebradas de alta montaña de Antioquia, Colombia, en la colección de referencia denominada Macroinvertebrados (CMA-UCO).

Una vez analizados los listados, se toma la decisión de no recibir los ejemplares, debido a que no son de interés para la colección, ya que se cuenta con gran número de lotes pertenecientes a estos organismos.

Atentamente,



LUISA FERNANDA ALVAREZ
Jefe Unidad de Gestión Ambiental
Coordinadora Laboratorio de Limnología



**LABORATORIO
DE LIMNOLOGÍA**

TEL. 569 90 90
EXT. 532 Y 285





• PBX: +(57) (4) 569 90 90 • Fax: +(57) (4) 531 39 72
 • A.A. Rionegro: 008 • Móvil: 052956 • www.uco.edu.co
 • Sector 3, Cra. 46 No. 408 30 Rionegro-Antioquia-Colombia.