

**COMUNIDADES BIOLÓGICAS COMO INDICADORAS PARA LA
CONSERVACIÓN DE AGUAS EPICONTINENTALES**

PCI 8774 – GRIB:

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA EN LA RESERVA EL SANTUARIO: QUEBRADA EL
SANTUARIO, TAUSA – CUNDINAMARCA**

Belsy Julieth Gallego Villalobos

Universidad El Bosque

Facultad de Ciencias

Programa de Biología

Bogotá, D.C.

2017

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA EN LA RESERVA EL SANTUARIO: QUEBRADA EL
SANTUARIO, TAUSA – CUNDINAMARCA**

Belsy Julieth Gallego Villalobos

Director: Biol. M.Sc. Mónica Andrea Castillo Aguilar

Codirector: Biol. Ph.D. Martha Patricia Torres Sánchez

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito para optar al título de

BIÓLOGO

Universidad El Bosque

Facultad de Ciencias

Programa de Biología

Bogotá, D.C.

2017

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE
CALIDAD DE AGUA EN LA RESERVA EL SANTUARIO: QUEBRADA EL
SANTUARIO, TAUSA – CUNDINAMARCA**

Belsy Julieth Gallego Villalobos

APROBADO:

Mónica Andrea Castillo Aguilar

Directora del Trabajo de Grado

Martha Patricia Torres Sánchez

Codirectora del Trabajo de Grado

JURADO:

Sergio Andrés Llano Consuegra.

JURADO:

Nicolás Perea Cremaschi.

JURADO:

Víctor Hernando Rodríguez Saavedra.

Nota de Salvedad:

“La Universidad el Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores, sólo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismos en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a mi familia por su apoyo y amor constante. Especialmente agradezco a mi madre por su esfuerzo de trabajo constante para ayudarme a construir las bases de un mejor futuro para mi vida, a quien no me alcanzarán nunca las gracias y los “te amo” por cada cosa que hace por mí, además por demostrarme que los sueños nunca se deben opacar por las dificultades. A mi hermana, por su constante apoyo en este proceso, además de ser de las pocas personas que creen en cada una de las cosas que me propongo en la vida. Las palabras para agradecer su constante amor, entrega y ayuda en el proceso de construir este sueño de ser profesional siempre se quedaran cortas. Simplemente la vida me premio con la mejor hermana del mundo. A mi padre, por su amor y acompañamiento durante este proceso.

Por otro lado, agradezco a mis directoras de tesis Mónica Andrea Castillo Aguilar y Martha Patricia Torres por su acompañamiento y guía durante esta investigación. Quienes me demuestran que el trabajo constante y bien hecho, forma grandes profesionales.

De igual forma, quiero agradecer al señor Jorge Orjuela dueño de Minas El Santuario por permitir la realización de esta investigación en sus predios, al docente Sergio Llano por su gran ayuda en la obtención de los mapas para la Reserva El Santuario y a la egresada Paola Matheus por su ayuda en el proceso estadístico.

Por último, pero no menos importante agradezco a las mejores amistades que me deja el Bosque, Camila Cárdenas Leiva, Stefano Scovino, Erika Ángel y Daniela Ortiz, quienes me demuestran el verdadero significado de la amistad con cada una de las acciones que hacen por mí.

Tabla de contenido

1.	Introducción.....	19
2.	Marco de Referencia.....	21
	2.1. Antecedentes.....	21
	2.2. Comunidades Biológicas.....	23
	2.2.1. Macroinvertebrados Bentónicos.....	23
	2.3. Métodos biológicos para calidad de agua.....	24
	2.3.1. Índices de Diversidad.....	25
	2.3.2 Analisis de correlación canonica (CCA).....	26
	2.3.3. Índice Del Biological Monitoring Working Party – BMWP.....	27
	2.3.4. Average Score per Taxon – ASPT.....	28
	2.4. Fisicoquímicos para calidad de agua.....	29
	2.4.1. Temperatura.....	29
	2.4.2. Oxígeno disuelto.....	29
	2.4.3. Solidos totales disueltos (TDS).....	30
	2.4.4. Conductividad.....	30
	2.4.5. Salinidad.....	30
	2.4.6. pH.....	31

2.5. Marco legal.....	32
2.5.1. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.....	32
2.5.2. Libro primero del ambiente.....	32
2.5.3. Decreto 1729 de 2002.....	33
2.5.4. Resolución Número 0631 de 2015.....	35
3. Justificación.....	38
4. Objetivos.....	40
4.1. Objetivo general.....	40
4.4. Objetivos específicos.....	40
5. Técnicas y procedimientos.....	41
5.1. Área de estudio.....	41
5.2. Métodos.....	45
5.2.1. Descripción de las estaciones de muestreo.....	45
5.2.2. Fisiogeografía del cuerpo de agua.....	45
5.2.3. Comunidades hidrobiológicas: Macroinvertebrados bentónicos.....	47
5.2.3.1. Colecta y procesamiento de muestras.....	47
5.2.4. Índice del Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia - BMWP/Col-ASPT.....	49

5.2.5. Fisicoquímicos del recurso hídrico.....	50
5.2.6. Análisis estadístico.....	51
5.2.6.1. Índices ecológicos.....	51
5.2.6.2. Análisis de varianza.....	51
5.2.6.3. Análisis de correlación canónica (CCA).....	52
6. Resultados y discusión.....	53
6.1. Descripción de las estaciones de muestro.....	53
6.2. Fisiogeografía del cuerpo de agua.....	54
6.3. Macroinvertebrados bentónicos.....	57
6.4. Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos: Índice BMWP/Col – ASPT.....	60
6.5. Calidad fisicoquímica de la Quebrada El Santuario.....	67
6.5.1. pH.....	68
6.5.1. Temperatura.....	69
6.5.1. Saturación de oxígeno disuelto (ppm).....	70
6.5.1. Sólidos disueltos Totales (TDS).....	71
6.5.1. Conductividad.....	72
6.5.1. Salinidad.....	74

6.5.2. Efectos de contaminación sobre los parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO, Nitratos, Nitritos, Fosforo).....	74
6.6. Análisis estadístico.....	76
6.6.1. Índices ecológicos.....	76
6.6.2. Análisis de correlación canónica.....	78
7. Conclusiones.....	82
8. Bibliografía.....	83
9. Anexos.....	89

Lista de imágenes

Imagen 1: Predio de Reserva El Santuario, Minas El Santuario.....	42
Imagen 2: Método de colecta con red surber y limpieza de material con tamices para las 7 estaciones en la Quebrada El Santuario.....	48
Imagen 3: Método de colecta manual con levantamiento de rocas en las 7 estaciones de la Quebrada El Santuario.....	49
Imagen 4: Estación de muestreo número 4 en la Quebrada El Santuario.....	56

Lista de Tablas

Tabla 1: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	28
Tabla 2: Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP / Col – ASPT.....	29
Tabla 3: Variables fisicoquímicas evaluadas por Laboratorio ANSASCOL S.A.S.....	51
Tabla 4: Referencias geográficas de las estaciones de muestreo.....	53
Tabla 5: Características de las 7 estaciones de la Quebrada El Santuario.....	54
Tabla 6: Características fisiogeográficas de las estaciones de muestreo.....	55
Tabla 7: Clasificación de la calidad según valor BMWP/Col-ASPT en la Quebrada El Santuario.....	63
Tabla 8: Índices de diversidad en las 7 estaciones de muestreo de la Quebrada El Santuario.....	76

Lista de Figuras

Figura 1: métodos y análisis desarrollados.....	41
Figura 2: Ubicación Reserva El Santuario a nivel nacional y municipal.....	43
Figura 3: Ubicación área de estudio y estaciones de muestreo en la Quebrada El Santuario.....	44
Figura 4: diagrama de profundidad y ancho del cauce.....	45
Figura 5: diagrama para la estimación de la velocidad del cauce	46
Figura 6: Comportamiento del caudal a lo largo de la Quebrada El Santuario.....	57
Figura 7: Número de individuos según el orden en la Quebrada El Santuario.....	58
Figura 8: Número de individuos en relación a la Familia, durante los 5 meses de muestreo.....	60
Figura 9: Mapa de calidad de agua en la Quebrada El Santuario.....	64
Figura 10: Modificación de las comunidades bentónicas en la Quebrada El Santuario.....	66
Figura 11: Prueba Tukey para estaciones de muestreo en relación a conductibilidad.....	67
Figura 12: Prueba Tukey para esos muestreados en relación al pH.....	67
Figura 13: Comportamiento de pH en relación a estaciones y meses de muestreo.....	68
Figura 14: Comportamiento de Temperatura Vs. Oxígeno disuelto en relación a estaciones y meses de muestreo.....	70

Figura 15: Comportamiento de Total de sólidos disueltos en relación a estaciones y meses de muestreo.....	72
Figura 16: Comportamiento de conductividad Vs. Salinidad en relación a estaciones y meses de muestreo.....	73
Figura 17: Efectos de contaminación sobre los parámetros fisicoquímicos.....	75
Figura 18: Análisis de correlación canónica (CCA) de las diferentes variables ambientales medidas en la Quebrada El Santuario, en relación a familias muestreada en 7 estaciones....	78

Lista de Anexos

Anexo 1: Estaciones de muestreo a lo largo de la Quebrada El Santuario.....	89
Anexo 2: Abundancia de cada familia muestreada en la Quebrada El Santuario.....	90
Anexo 3: Familias de macroinvertebrados bentónicos muestreados en cada estación en la Quebrada El Santuario.....	90

Resumen

En un ecosistema acuático, la calidad puede variar; pues ciertos ecosistemas, a pesar de tener concentraciones elevadas de sales, durezas, alcalinidades, y valores de pH muy ácidos o muy básicos, logran tener comunidades estables y adaptadas a vivir en dichos medios.

Por tal motivo, es necesario recalcar la actividad de explotación minera en el área de estudio llevada a cabo durante 40 años en una zona del Complejo del Páramo de Guerrero. De manera que se realizó un análisis comparativo de indicadores de calidad de agua, como un acercamiento a la caracterización general de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca de la Quebrada El Santuario localizada en la Reserva el Santuario, municipio de Tausa, Cundinamarca, empleando el índice de calidad BMWP/Col-ASPT, propuesto en Inglaterra en 1970 y modificado por Roldán en el año 2016 para Colombia. Este índice, se estimó a partir de información primaria recolectada, considerando el valor de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad en 7 estaciones distribuidas espacialmente en la quebrada durante los meses de marzo, abril, mayo, junio y agosto del año 2017. Adicionalmente, se obtuvieron parámetros fisicoquímicos en cada una de las estaciones.

El objetivo de estudio fue determinar la calidad de la Quebrada El Santuario mediante el estudio de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentes en la Reserva El Santuario. Se encontró que la estación 7 se caracteriza por una calidad de agua muy contaminada en situación crítica, evidenciando la perturbación por la zona de explotación minera de carbón que afecta la calidad ecológica y fisicoquímica de la quebrada.

Por último, este trabajo denota el uso de los índices bióticos y fisicoquímicos en los estudios del recurso hídrico, lo cual permite tener una información más amplia para el diagnóstico de las cuencas, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos demuestran un cambio favorable en la calidad de la quebrada desde el año 2015.

Palabras clave: Macroinvertebrados, BMWP/Col-ASPT, estaciones, calidad de agua.

Abstract

In an aquatic ecosystem, quality can be very diverse; because certain ecosystems, despite having high concentrations of salts, hardness, alkalinity, and very acid or very basic pH values, manage to have stable communities adapted to live in these environments.

For this reason, it is necessary to emphasize the mining exploitation activity in the study area carried out during 40 years in an area of the Páramo de Guerrero Complex. So, a comparative analysis of water quality indicators was carried out, as an approach to the general characterization of the quality of the surface waters of the quebrada El Santuario basin located in the Reserva el Santuario, municipality of Tausa Cundinamarca, using the BMWP / Col-ASPT quality index, proposed in England in 1970 and modified by Roldan in 2016 for Colombia. Which, was estimated from primary information collected, considering the value of aquatic macroinvertebrates as quality bioindicators in the 7 stations distributed spatially in the quebrada during the months of March, April, May, June and August of the year 2017. Additionally, physicochemical parameters were obtained in each of the stations.

For this reason, the object of the study was to determine the quality of El Santuario Creek by studying the community of benthic macroinvertebrates present in the El Santuario Reserve. Where it was found that station 7 belongs to a very polluted water quality in a critical situation, evidencing the disturbance by the area of coal mining that affects the ecology and physical-chemical quality of the stream.

Finally, this work denotes the use of biotic and physicochemical indices in water resources studies, which allows having a wider information for the diagnosis of watersheds. Taking

into account that the results obtained show a favorable change in the quality of the bankrupt since 2015.

Key words: Macroinvertebrates, BMWP / Col-ASPT, stations, water quality.

Introducción

En los últimos años el concepto de calidad de agua ha ido cambiando de un enfoque netamente fisicoquímico a uno que integra los demás componentes del ecosistema como lo son las comunidades biológicas. De esta manera, cabe resaltar la Directiva Marco COM-97 del Parlamento Europeo, quienes aceptaron el término de “estado ecológico” como una medida de la calidad de las aguas, para lo cual se propuso la cuenca hidrográfica como una unidad de estudio, además de factores esenciales para la determinación del estado ecológico de las aguas a las comunidades biológicas como indicadores de la calidad de los diferentes ecosistemas acuáticos, relacionando esta variable con mediciones fisicoquímicas. (Roldán, G. 2003)

Dentro de los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de estos ecosistemas se encuentran las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, quienes son sensibles a cambios en variables fisicoquímicas e hidrológicas que se producen por diferentes alteraciones. Mediante el análisis de composición taxonómica y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados se logra determinar el grado de afectación producido por diversas actividades antrópicas. (Roldán, G. 2003)

Del recurso hídrico del país, es importante nombrar que los sitios de páramo son un ecosistema tropical de montaña único por los servicios ambientales que presta, dentro de los que se destacan la regulación y conservación del recurso hídrico. En ellos nace un gran número de quebradas y ríos, destacando a Colombia como uno de los 5 países de Latinoamérica con este ecosistema, el cual aporta los servicios de abastecimiento de agua para el 70% de la población de Colombia (Greenpeace, 2013). El área total de los páramos en Colombia se estima en 1'933.000 Has, con una mayor presencia en la región andina donde

el 80% de los asentamientos urbanos municipales se abastecen de los arroyos, quebradas y riachuelos que nacen en estos ecosistemas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Dada la importancia del agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social de los municipios, la política nacional se ha enfocado en brindar herramientas de estudio y manejo para el uso eficiente de las cuencas hidrográficas que permitan garantizar la sostenibilidad del recurso (Zuliani, 2013). En el estudio de cuencas se realiza una evaluación integral del recurso, obteniendo información de las comunidades biológicas, características físico-geográficas, fisicoquímicas y usos del agua; esta información se constituye en la herramienta para ejecutar un seguimiento al estado del mismo a través del tiempo (CRC, 2010).

Estas valoraciones presentan ventajas en relación con otros tipos de medidas de calidad de agua, porque se realizan con organismos indicadores del medio en que habitan, los cuales están integrados al recurso durante toda su vida, y de esta forma pueden reflejar las fluctuaciones de contaminación (Alba-Tercedor. 1996).

Dado el papel fundamental que desempeñan los macroinvertebrados en los sistemas acuáticos, el presente estudio se desarrolló en una zona del Complejo del Páramo de Guerrero, dentro de la propiedad privada Minas el Santuario en el municipio de Tausa, llevando a cabo una caracterización de las comunidades de macroinvertebrados, en relación a las variables fisicoquímicas de la Quebrada El Santuario.

2. Marco de Referencia

2.1 *Antecedentes*

A nivel nacional y local han sido muchos los estudios de calidad de agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores para el desarrollo de diversos proyectos de infraestructura, potabilización, biodiversidad, entre otros.

En primer lugar, se considera que la contaminación en cualquier ecosistema no es más que un estrés ambiental provocado por un factor externo, como es el caso de un vertido de sustancias o energía al medio acuático por parte del hombre en cantidades que perjudiquen los recursos, como es el caso de los materiales orgánicos, los cuales son muy abundantes en los vertidos urbanos y producen una disminución del contenido de oxígeno y potencian los efectos de muchas sustancias tóxicas (Jaramillo. 2002)

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 (1987). 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 (1988), 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.

Londoño et al. (2010) realizaron un estudio de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en relación con la calidad del agua en tres quebradas de alta montaña de Antioquia, en donde se evidenció que 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. Encontrando buena calidad de agua y estados críticos o muy críticos, que podrían estar determinados por los parámetros físicos y químicos y la estructura de los bioindicadores.

Por otra parte, Gil (2014) realizó un análisis integral de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del Río Garagoa, departamento de Boyacá. Utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos, complementados con parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el fin de aportar metodológicamente en la evaluación y monitoreo de los sistemas fluviales del país teniendo en cuenta distintos grados de intervención. Con lo cual, encontró que las comunidades biológicas propias de los sistemas acuáticos, suelen estar determinadas por diferentes factores que no necesariamente se derivan de acciones naturales sino en los que la acción antrópica puede tener gran injerencia.

Por último, el primer y único estudio realizado hasta el momento en la Reserva El Santuario, se llevó a cabo en el año 2015, el cual buscaba realizar una caracterización de

aspectos bióticos, fisicoquímicos y la calidad de agua presente en la Reserva el Santuario. Esto con el fin de realizar la fase de diagnóstico que se implementa en las diferentes cuencas del país, en donde se argumentó que cualquier cuerpo de agua de origen natural o antrópico posee características físicas y químicas que determinan las comunidades que pueden habitarlo, por tal motivo que los diferentes integrantes de las comunidades hidrobiológicas poseen rangos óptimos de desarrollo y de tolerancia ante las condiciones del medio, haciendo que la presencia de ciertas especies permita determinar cuál es el estado de un cuerpo de agua.

De este modo, en el año 2015 identificaron en la Quebrada El Santuario correlaciones de las comunidades hidrobiológicas con las variables pH, conductividad, alcalinidad, dureza y total de sólidos disueltos, además de tendencias de uniformidad, diversidad y dominancia baja con un índice de pérdida de especies que sugiere que a partir del punto de descarga de agua se produce una pérdida del 38% de los registros de las morfoespecies y finalmente para el índice BMWP sumado a la baja diversidad de especies que se registraron en dos puntos de muestreo se cree que tales sitios presentan muy mala calidad de agua (Rodríguez V, 2015).

2.2 *Comunidades Biológicas*

2.2.1 *Macroinvertebrados Bentónicos*

Las comunidades acuáticas actúan como testigos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales. Específicamente, los macroinvertebrados fueron propuestos desde hace varias décadas como indicadores de la calidad del agua. Estos organismos responden a las condiciones ambientales del ecosistema ya que la mayoría de ellos se desarrollan total o parcialmente en el agua y su presencia o abundancia son el resultado de las relaciones con las variables físicas y químicas del agua (Jaramillo. 2002)

Estas comunidades indicadoras están adaptadas evolutivamente a determinadas características ambientales y presentan ciertos límites de tolerancia a las alteraciones de las mismas.

Categorías generales de macroinvertebrados:

- Tipo I: Son organismos indicadores de aguas claras, en su mayoría son sensibles a los cambios en las condiciones físicas y químicas.
- Tipo II: Son indicadores de aguas medianamente contaminadas, en general son tolerantes a contaminación de tipo orgánico. Se encuentran en hábitats de poca contaminación.
- Tipo III: son organismos tanto estenoicos como eurioicos, se encuentran en medios con niveles muy altos de contaminación por materia orgánica.

2.3 *Métodos biológicos para calidad de agua*

Debido a los factores que condicionan la accesibilidad al agua y producen una desregulación de la disponibilidad espacial y temporal en la oferta hídrica, en los últimos años ha crecido el interés por conocer el estado de los cuerpos de agua y su cambio a través del tiempo (Figuerola et al, 2000). Los cambios ecológicos en los ecosistemas acuáticos por eventos antrópicos o por fenómenos naturales, alteran la estructura de todas las comunidades que allí habitan, ya que muchos residen en espacios a reducida escala (micro-ecosistemas) (Hahn-von Hessberg et al, 2009)

2.3.1 Índices de diversidad

-Índice de Shannon-Weaver:

Basado en la riqueza y abundancia como componentes estructurales de una comunidad, este índice busca describir el comportamiento de la comunidad en estudio con respecto a la calidad ambiental. De esta manera, una comunidad natural presenta una alta diversidad, pero con bajas abundancias por especie, mientras que una comunidad sometida a eventos de contaminación se caracteriza por poseer una baja diversidad, pero con abundancias altas por cada especie; sin embargo, estos patrones también se obtienen en condiciones naturales extremas (Montes & Bohórquez, 2012).

Dentro de los índices más usados se encuentra el de Shannon-Weaver:

$$H' = -\sum (n_i / n) \ln (n_i / n)$$

Donde H' : Índice de diversidad; n_i : Número de individuos por especie y n : Número total de individuos (Montes & Bohórquez, 2012). Valores inferiores a 1 se considera el ecosistema como fuertemente contaminado, entre 1 y 3 como moderadamente contaminado y mayor a 3 como no contaminado.

- Índice de dominancia de Simpson (D_s):

Mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos revisiones sucesivas al azar de la muestra sin que haya reposición; esta probabilidad está influenciada por las especies más dominantes. La fórmula de este índice es la siguiente:

$$D_s = \sum p_i^2$$

$$p_i = n_i / N$$

- p_i : Abundancia proporcional.

- n_i : Número de individuos de la especie i .

- N : Número total de individuos.

Valores cercanos a 1 indican la dominancia de una o dos morfoespecies (Bouza, C. 2005).

- *Índice de Margalef*:

Es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

El índice de Margalef fue propuesto por el biólogo y ecólogo catalán Ramón Margalef y tiene la siguiente expresión:

$$I = (s-1) / \ln N$$

I : es la biodiversidad.

S : número de especies presentes.

N : número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las especies).

La notación $\ln$ denota el logaritmo neperiano de un número.

El mínimo valor que puede adoptar es cero, y ocurre cuando solo existe una especie en la muestra (Sonco, R. 2013).

2.3.2 *Análisis de correlación constricta:*

El análisis de correlación canónica es un tipo de análisis estadístico lineal de múltiples variables, descrito inicialmente en 1935. Actualmente se usa en química, biología, meteorología, demografía, inteligencia artificial, ciencias del conocimiento, ciencias

políticas, sociología, psicometría, investigaciones de educación y ciencias de administración para analizar relaciones multidimensionales entre múltiples variables independientes y múltiples variables dependientes. Aunque el ACC está documentado en libros de texto, y se encuentra en paquetes computacionales, existen ciertos problemas técnicos y de interpretación que impiden su uso rutinario por los investigadores. Se incluyen problemas de computación (singularidad de las matrices, tiempo de computadora), interpretación (visualización, examen de casos individuales), y significancia estadística (niveles de significancia e intervalos de confianza para datos multidimensionales no-normales, incluyendo variables discretas). (Badii, M et al. 2007)

2.2.3 *Índice del Biological Monitoring Working Party - BMWP*

Se estableció en Inglaterra en el año 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua teniendo en cuenta los macroinvertebrados presentes. Es así, que este método solo requiere la identificación taxonómica de los organismos hasta nivel de familia.

Para este índice se tuvieron en cuenta los valores de cada familia modificados por Roldan (2016) para Colombia, teniendo en cuenta que el conocimiento de la taxonomía de macroinvertebrados en los sistemas acuáticos es todavía incompleto para Colombia (Tabla 1)

Presenta datos cualitativos de presencia y/o ausencia, para lo cual se califica con puntaje de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, para posteriormente realizar la sumatoria y obtener el puntaje total BMWP/Col (Tabla 2).

Tabla 1: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (Roldán, 2003)

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnassiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiariidae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae,	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldán, 2016

2.3.3 Average Score per Taxon – ASPT

Conocido como el puntaje promedio por taxón, el cual es el puntaje total de BMWP/Col dividido entre el número de los taxa.

El puntaje se encuentra en una escala de 0 a 10 que indicarán tolerancia a la contaminación de las familias con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP / Col - ASPT.

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	> 150	>9-10	Aguas muy limpias	Azul
		101-120	>8-9	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	>6,5-8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	>4,5-6,5	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	>3- 4,5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Rojo

Fuente: Álvarez, 2006

2.4 Fisicoquímicos para calidad de agua.

2.4.1 Temperatura:

La radiación solar no determina la calidad y cantidad de luz, sino que también afecta la temperatura del agua. Mientras que en las zonas templadas la temperatura varía ampliamente con el cambio de estaciones, en las zonas tropicales permanece más o menos constante a lo largo del año, siempre frías en las altas montañas y cálidas a nivel del mar. En otras palabras, los organismos sometidos a cambios de estaciones toleran más los cambios de temperatura y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios. Por el contrario, para los organismos tropicales al estar adaptados a temperaturas relativamente constantes, cualquier cambio puede ser fatal para su supervivencia (Jill et al. 2003).

2.4.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/l. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los

lagos. En los lagos la fotosíntesis es la fuente más importante de oxígeno y su medición se usa para determinar la productividad primaria, y en cierta medida, deducir el estado de eutrofización (Jill et al. 2003).

2.4.3 Sólidos totales disueltos

Materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas (Jill et al. 2003).

2.4.4 Conductividad

Medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores. Por el contrario, moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas (ej. aceites, fenoles, alcoholes y azúcares) son pobres conductores de una corriente eléctrica. (CORTOLIMA)

2.4.5 Salinidad:

Propiedad importante de aguas usadas industriales y de cuerpos de agua naturales. Originalmente este parámetro se concibió como una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. Dado que la determinación del contenido total de sales requiere de análisis químicos que consumen mucho tiempo, se utilizan en

substitución métodos indirectos para estimar la salinidad. Se puede determinar la salinidad de un cuerpo de agua con base en determinaciones de: conductividad, densidad, índice de refracción ó velocidad del sonido en agua (CORTOLIMA).

2.4.6 pH:

Se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de protones:

$$\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+] = -\log [\text{H}^+]$$

La medida del pH tiene amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas (por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). El pH es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas (Mansilla, G. 2014).

La alcalinidad es la suma total de los componentes en el agua que tienden a elevar el pH del agua por encima de un cierto valor (bases fuertes y sales de bases fuertes y ácidos débiles), y, lógicamente, la acidez corresponde a la suma de componentes que implican un descenso de pH (dióxido de carbono, ácidos minerales, ácidos poco disociados, sales de ácidos fuertes y bases débiles). Ambos, alcalinidad y acidez, controlan la capacidad de tamponamiento del agua, es decir, su capacidad para neutralizar variaciones de pH provocadas por la adición de

ácidos o bases. El principal sistema regulador del pH en aguas naturales es el sistema carbonato (dióxido de carbono, ión bicarbonato y ácido carbónico). (Mansilla, G. 2014).

2.5 *Marco legal*

El desarrollo de este estudio se enmarca en las disposiciones que ejercen el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974) y el Decreto 1729 de 2002, los cuales reglamentan el análisis, la preservación y manejo correcto que se debe aplicar sobre el recurso hídrico.

2.5.1 *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.*

El código ambiental ha estado vigente desde diciembre de 1974, con algunas reformas de sus artículos, pero su estructura ha sido traspasada a la Constitución de 1991 y los lineamientos fueron seguidos por la Ley 99 de 1993. Los siguientes son los artículos pertinentes al estudio:

2.5.2 *Libro primero Del Ambiente*

- Art. 23. Los propietarios, usuarios, concesionarios, arrendatarios y titulares de permiso de uso sobre recursos naturales renovables y elementos ambientales, están obligados a recopilar y a suministrar sin costo alguno, con destino al sistema de informaciones ambientales, la información sobre materia ambiental... - Art. 28. Para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier otra actividad que, por sus características, pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o al ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, será necesario el estudio ecológico y ambiental.

- Art. 39. Para prevenir y controlar los efectos nocivos que pueda producir al ambiente el uso o explotación de recursos naturales no renovables, podrán señalar condiciones o requisitos concernientes a: B. El destino que deba darse a las aguas extraídas en el desagüe de minas.

Capítulo 2 – Prevención y control de la contaminación.

- Art. 134. Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para el consumo humano y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Para dichos fines deberá:

a. Realizar la clasificación de las aguas y fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas. f. Controlar la calidad del agua, mediante análisis periódicos

2.5.3 Decreto 1729 de 2002

Este decreto establece las disposiciones sobre el manejo, ordenación y usos que se pueden realizar sobre las cuencas hidrográficas, el estudio sobre la Quebrada El Santuario puede enmarcarse en la “Fase de Diagnóstico” del Artículo 10 y 11 del presente decreto. A continuación, se presentan los apartados fundamentales a tener en cuenta: “Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.”

Capítulo 2 – De la ordenación

- Art. 4. Finalidades, principios y directrices de la ordenación. La ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus

recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.

La ordenación así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.

Principios a tener en cuenta:

1. El carácter de especial protección de las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de aguas y zonas de recarga de acuíferos, por ser considerados áreas de especial importancia ecológica para la conservación, preservación y recuperación de los recursos renovables.

2. Las áreas a que se refiere el literal anterior, son de utilidad pública e interés social y por lo tanto deben ser objeto de programas y proyectos de conservación, preservación y/o restauración de las mismas.

- Art. 10. Fase de Diagnóstico. Está dirigida fundamentalmente a identificar la situación ambiental de la cuenca, con el fin de establecer potencialidades, conflictos y restricciones de los recursos naturales renovables.

- Art. 11. Elementos de diagnóstico. El diagnóstico deberá contener entre otros, los siguientes aspectos:

1. Delimitación, extensión, localización y situación ambiental de la cuenca hidrográfica, especialmente en las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos.
2. Zonificación ambiental de la cuenca.
3. Caracterización físico-biótica, que comprende entre otros los siguientes aspectos: geográficos, hidroclimáticos y biológicos.
4. Caracterización de las condiciones socioeconómicas y culturales de la población.

2.5.4 Resolución Número 0631 de 2015

“Por la cual se estableces los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan disposiciones”.

Que el artículo 5 de la Ley 99 de 1993 establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene entre sus funciones, regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir la contaminación hídrica en todo el territorio nacional.

- Art. 5. Del parámetro de temperatura y de la zona de mezcla térmica. Para las actividades industriales, comerciales o de servicios que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales, la diferencia de los valores de temperatura en la zona de mezcla térmica del cuerpo de agua superficial receptor con respecto a la temperatura del mismo antes del punto de vertimiento puntual, a una distancia máxima de cien metros (100,00 m) deberá ser menor o igual a 5,00 °C,

considerando para las mediciones y determinaciones la sección transversal y perpendicular del cauce del cuerpo de agua receptor.

- Art. 6 Parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales. Se realizará el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los coliformes termotolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO₅.

- Art.10. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería. Los parámetros fisicoquímicos que se deberán monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades de minería, serán los siguientes:

pH: 6,00 a 9,00 sólidos

Suspendidos Totales: 50,00 mg/L

Acidez, Alcalinidad y Dureza: Análisis y Reporte

Pregunta de Investigación

¿Cómo es la calidad de agua en la Quebrada El Santuario, por medio del estudio de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores y su relación con parámetros fisicoquímicos?

3. Justificación

En la actualidad, el uso sostenible y buen manejo de las microcuencas hidrográficas es de gran importancia, por los numerosos servicios que ofrecen a la sociedad. Debido al suministro mundial de aguas epicontinentales para usos domésticos, agrícolas e industriales que dependen de los caudales que se producen y regulan en las cuencas.

De esta manera, un contaminante u otro evento particular que perturbe las condiciones de un sistema acuático provocarán cambios en las poblaciones de organismos. Teniendo en cuenta la actividad minera desarrollada en el área de estudio que tuvo un tiempo de 40 años, lo cual generó un impacto sobre el área protegida de páramo, generando costos ambientales en cuanto a los perjuicios que le causa al medio ambiente y específicamente al aire, suelo, paisaje y recursos hídricos de la zona donde se llevó a cabo la explotación minera. Dicho esto, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) entregó en el año 2013 29 demandas en contra de títulos mineros identificados en su jurisdicción, los cuales afectaban el Páramo de Guargua¹, ecosistema en el cual se ubica la Quebrada El Santuario.

La magnitud del cambio dependerá del tiempo, intensidad y naturaleza de la perturbación. Las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad del agua basadas casi exclusivamente en análisis fisicoquímicos. La presencia de nuevos productos contaminantes, y el hecho de que los vertimientos son generalmente puntuales en el tiempo, hacen indispensable el empleo de nuevas tecnologías, como es el caso de los estudios de comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Jaramillo, 2002).

¹ <http://www.observatorioambientalcar.co/vercaso.php?id=52>

Argumentado por lo anterior, desarrollar estudios en el campo de la limnología sobre la bioindicación de la calidad del agua, por medio de una evaluación de las comunidades hidrobiológicas, permite iniciar una línea base de la cuenca hidrográfica que posteriormente servirá para usos recreativos y humanos que pueden surgir del recurso, además de planes que se pueden formular para planes de conservación (CRC, 2010).

Por tal razón, la utilización de macroinvertebrados para el presente estudio se debe a que estos han sido ampliamente utilizados como bioindicadores ambientales en relación con su riqueza y abundancia (Roldán et al, 2008). Debido a que el estudio se centra en un cuerpo de agua que nace en un páramo perteneciente al Complejo Guerrero, que cumple la función de abastecimiento y regulación hídrica de la represa de Neusa, los acueductos de Zipaquirá, Cogua, Tausa y una proporción de la capital (Morales et al, 2007), los resultados buscan analizar posibles perturbaciones a causa de la explotación de productos mineros como carbón en la Quebrada El Santuario, que podrían estar afectando la calidad de agua de la misma, teniendo como indicadores a las comunidades biológicas, en relación a variables fisicoquímicas.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- Determinar la calidad de la Quebrada El Santuario por medio del estudio de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentes en la Reserva El Santuario, Municipio de Tausa, Cundinamarca.

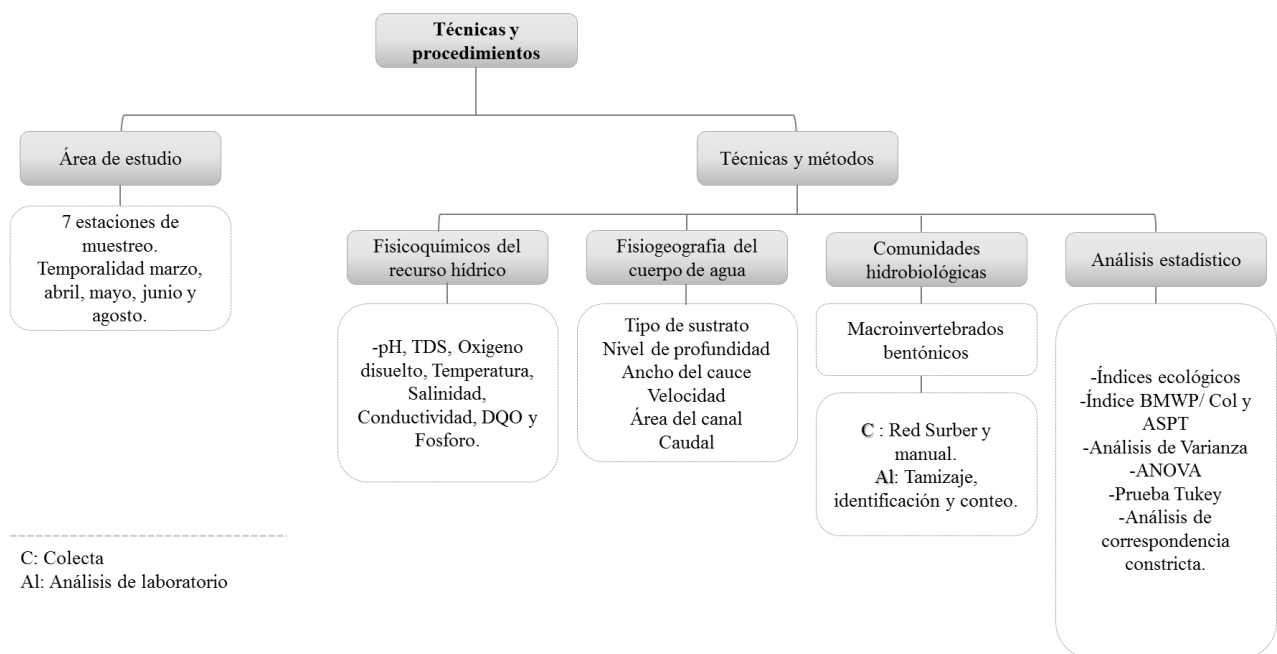
4.2 Objetivos específicos

- Estimar índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos asociados a la Quebrada El Santuario.
- Definir el índice BMWP/Col - ASPT para la calidad de agua en la Quebrada El Santuario en relación a variables ambientales.
- Evaluar las posibles correlaciones de variables físicas y químicas con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la Quebrada El Santuario.

5. Técnicas y procedimientos

En este capítulo se describirán varios aspectos de las técnicas implementadas durante el estudio, haciendo énfasis en el área de estudio y los métodos de toma y tratamiento los datos obtenidos (Figura 1):

Figura 1: Métodos de colecta y análisis de laboratorio para comunidades hidrobiológicas y variables fisicoquímicas del recurso hídrico.



Por: Julieth Gallego

5.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en la vereda San Antonio, área rural del municipio de Tausa, departamento de Cundinamarca (Figura 2), en la Quebrada El Santuario, ubicada en la Reserva El Santuario (Imagen 1), la cual nace y atraviesa la propiedad Minas el Santuario (Figura 3). Se ubica entre latitud 5°11' 47,4" - 5° 11' 42,6" Norte y longitud 74° 02' 47,8" -

74°02'47,2" Oeste, entre 3.624 – 3.720 m de altitud con un valor promedio de humedad relativa en los rangos de 80 a 90% y una temperatura promedio de 8°C.

Imagen 1: Predio de Reserva El Santuario, Minas El Santuario.

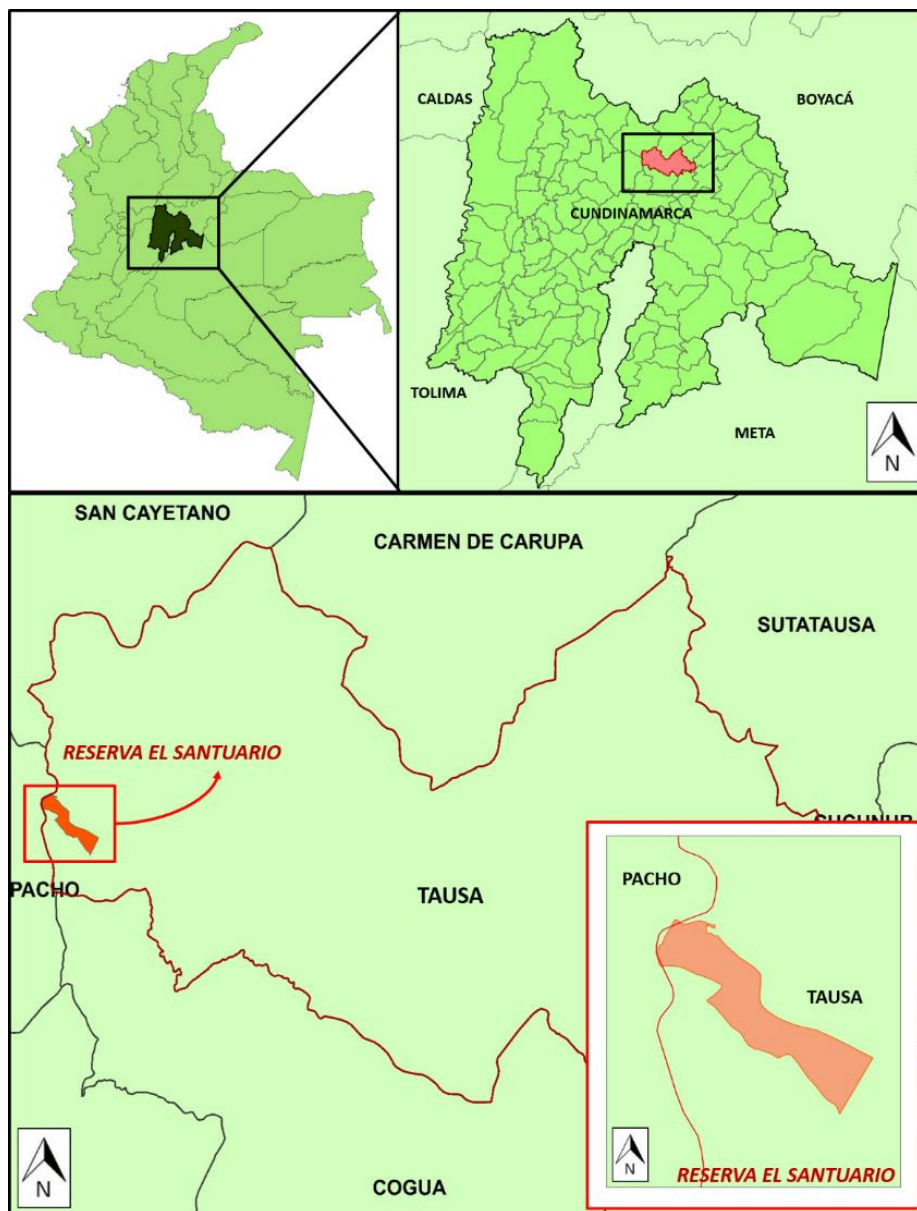


Fotografías: Julieth Gallego.

**a: entrada a la Reserva El Santuario, b: fragmento de la Reserva por el que atraviesa la Quebrada El Santuario, c: Mina El Santuario inactiva desde el 2015.*

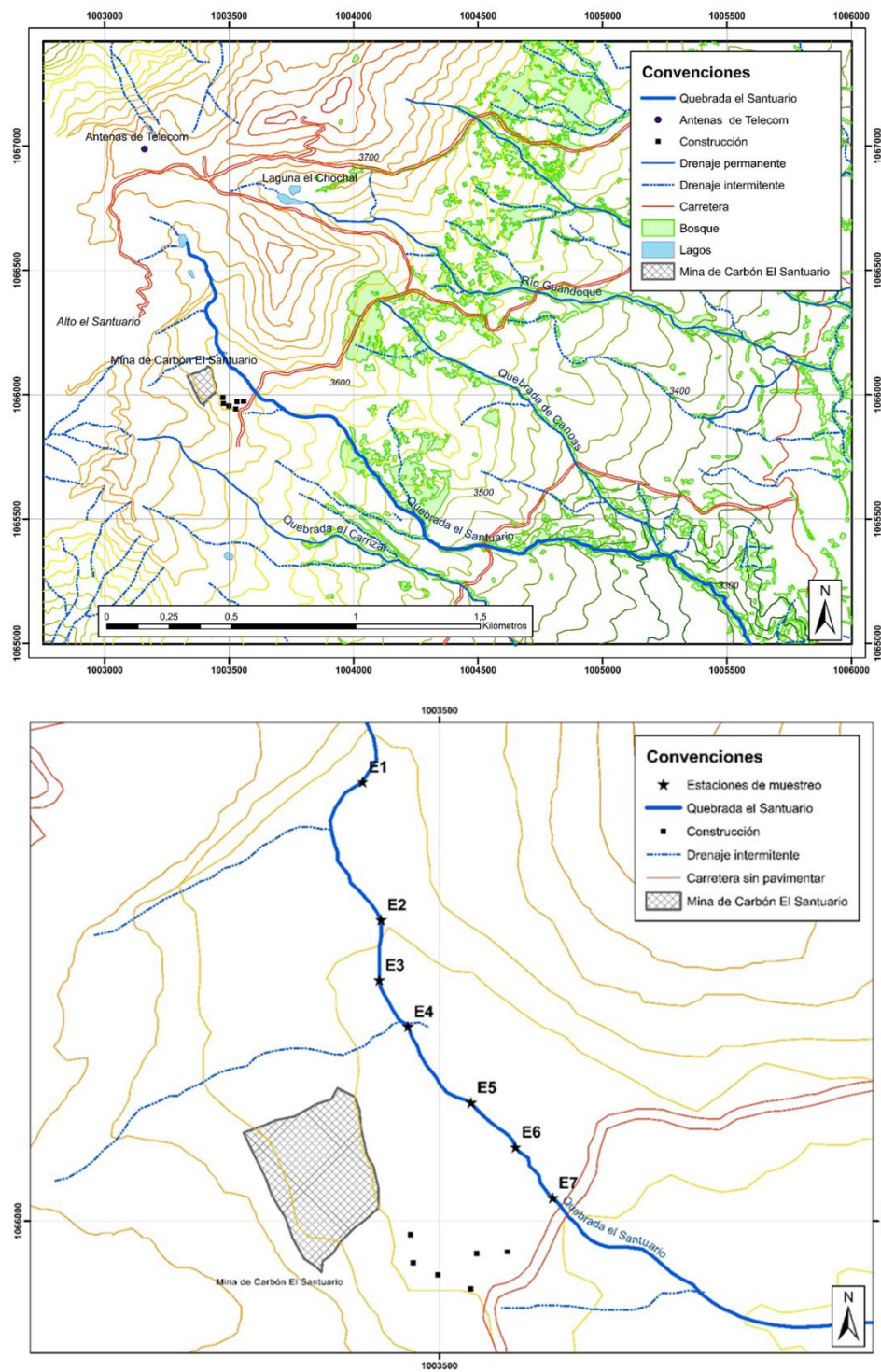
Así mismo, Minas El Santuario se ubica dentro del páramo de Guargua, que a su vez hace parte del complejo de paramos Guerrero al norte de Cundinamarca, este complejo agrupa 39240 ha de ecosistemas de páramo medio entre los 3.200 y los 3.780 msnm de los municipios de Carmen de Carupa, Tausa, Zipaquirá, Subachoque, Cogua, Pacho, San Cayetano y Susa (Figura 2). (Morales et al, 2007)

Figura 2: Ubicación Reserva El Santuario a nivel nacional y municipal.



Por: Julieth Gallego

Figura 3: Ubicación área de estudio y estaciones de muestreo en la Quebrada El Santuario.



Por: Julieth Gallego

5.2 Métodos

5.2.1 Descripción de las estaciones de muestreo

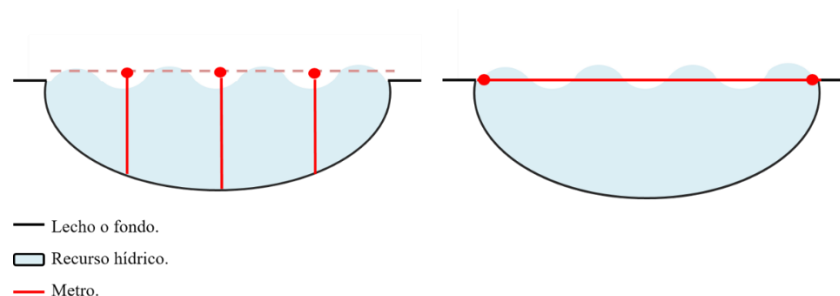
A lo largo de la Quebrada El Santuario, se seleccionaron 7 estaciones de muestreo (Figura 3) las cuales fueron seleccionadas con base en el siguiente criterio técnico: importancia del sitio de muestreo por ser una fuente superficial en cercanías al nacimiento, acuífero o manantial de la zona, considerando la selección de estaciones según la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM.

En cada estación se realizó un muestreo mensual entre marzo y agosto del año 2017 para un total de 35 muestras de sedimento del recurso hídrico en estudio.

5.2.2 Fisiogeografía del cuerpo de agua

- *Niveles de profundidad y ancho del cauce:* Se ubicó un metro en el cuerpo de agua desde el lecho rocoso a la superficie y transversalmente al cauce con cada sección en ambas orillas, teniendo en cuenta tres mediciones respecto a la profundidad con el fin de promediar los datos obtenidos (Figura 4).

Figura 4: diagrama de profundidad y ancho del cauce.

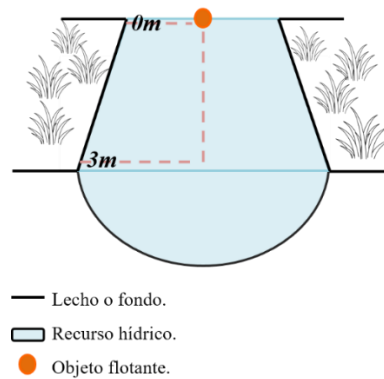


Por: Julieth Gallego.

-*Velocidad*: Se empleó el método del flotador de Hudson (1997), el cual consistió en la ubicación de un tramo recto a lo largo de la quebrada con una distancia de 3 m, en donde se tomó el tiempo registrado de un objeto flotante en recorrer la distancia establecida

(Figura 5)

Figura 5: diagrama para la estimación de la velocidad del cauce.



Por: Julieth Gallego.

-*Tipo de sustrato*: Para llevar a cabo el análisis granulométrico se recogieron 7 muestras sedimentarias del lecho del cauce, correspondiente a la Quebrada El Santuario, las cuales fueron transportadas al Laboratorio de Investigación en Biología INBIBO de la Universidad El Bosque.

Inicialmente, se llevó a cabo la fase de secado de las muestras al aire libre a temperatura ambiente. Cuando estuvieron secas, se obtuvo la cantidad de 0.05 Kg para disponer en la criba superior del juego de tamices que se ubicaron en forma decreciente según el tamaño del poro (500, 180, 90 y 45 μ). Para esta operación de tamizado manual se sacudieron los tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantuvo en movimiento continuo sobre la malla.

Finalmente, se determinó la masa de cada tamiz en una balanza BOECO Germany BXX31 teniendo en cuenta la masa inicial de toda la muestra, con el fin de calcular el tamaño de partícula predominante.

5.2.3 Comunidades hidrobiológicas: Macroinvertebrados bentónicos

5.2.3.1 Colecta y procesamiento de muestras

-Red Surber y recolecta manual

La recolección de los especímenes se realizó por medio una red surber de 30 cm x 30cm con un poro de malla de 300 μ , la cual se ubicó en el lecho del cauce a contracorriente, perturbando el sedimento durante un tiempo de 2 minutos (Imagen 2). Técnica que se llevó a cabo con tres repeticiones en el punto a muestrear según el protocolo propuesto por Pinheiro et al (2004).

Las muestras recolectadas fueron ubicadas en frascos plásticos de 500ml debidamente rotulados, adicionando alcohol a una concentración del 70%, con el fin de llevar a cabo una adecuada preservación durante su transporte desde el lugar de estudio al Laboratorio de Investigación en Biología INBIBO de la Universidad el Bosque, en donde se refrigeraron a una temperatura constante de 4°C.

Para la limpieza de las muestras se implementó un juego de tamices de 500, 180, 90 y 45 micras, los cuales fueron ubicados de manera decreciente en relación con la dimensión de las micras, ubicando la muestra de sedimento en la primera criba para realizar un lavado de la muestra. Esto, con el fin de ubicar más fácilmente los individuos retenidos en cada uno de los tamices para ser trasladados a frascos con alcohol y etiquetados, en relación con la estación y fecha de su recolecta.

Imagen 2: Método de colecta con red surber y limpieza de material con tamices para las 7 estaciones en la Quebrada El Santuario.



Fotografías: Stefano Scovino

**a: ubicación de red surber en el lecho del cauce, b: recolecta de la muestra de sedimento (recuadro blanco: frasco plástico rotulado por estación), c: limpieza de muestras en juego de tamices.*

Para la recolecta manual, se realizó mediante el levantamiento manual de rocas sumergidas por un lapso de 20 minutos por estación a lo largo de la Quebrada El Santuario. Esto, con el fin de hallar en su superficie organismos adheridos que fueron retirados mediante el uso de pinzas entomológicas y pinceles (Imagen 3). Una vez ubicados los macroinvertebrados se dispusieron en viales plásticos con alcohol al 70% debidamente etiquetado y se transportaron al Laboratorio de Investigación en Biología INBIBO de la Universidad el Bosque.

Imagen 3: Método de colecta manual con levantamiento de rocas en las 7 estaciones de la Quebrada El Santuario.



Fotografía: Stefano Scovino

**Recuadro blanco: frasco de colecta por estación con alcohol al 70%.*

La identificación de los individuos se llevó a cabo mediante un estereoscopio, usando la clave taxonómica *An Introduction to the Aquatic Insects of North America* de Merritt Richard (2002) hasta los niveles de familias y géneros, para finalmente ser entregados a la Colección de Referencia de Macroinvertebrados Bentónicos, teniendo en cuenta el manual de calidad del Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque.

5.2.4 Índice del Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia - BMWP/Col-ASPT

Para la valoración del índice de calidad BMWP/Col, se empleó la escala de puntuaciones ecológicas de las familias de macroinvertebrados según el grado de adaptación a las diferentes calidades de agua (Tabla 2) modificado por Roldán (2016) para Colombia.

Se realizó una suma de los valores de indicación de cada familia encontrada en las 7 estaciones de muestreo, obteniendo 7 puntuaciones en total (BMWP) para la Quebrada El Santuario. Esta suma permitió un primer nivel de evaluación, pero al incluir en el cálculo el

número de familias por estación se obtuvo una evaluación más precisa, mediante el promedio por taxón ($ASPT = BMWP / \text{número de familias}$).

Finalmente, las puntuaciones (ASPT) fueron relacionadas con cinco categorías de calidad de agua, asignándoles una significación respecto de la misma y un color en la representación cartográfica.

5.2.5 Físicoquímicos del recurso hídrico

Durante los monitoreos se realizó la toma de datos en cada una de las estaciones de muestreo teniendo en cuenta las siguientes variables ambientales del recurso hídrico: pH, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, conductividad, temperatura y salinidad, mediante el uso de un multiparametro HANNA HI9829.

Adicionalmente, se llevaron a cabo muestreos del recurso hídrico teniendo en cuenta el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del IDEAM del año 2007; por lo cual, se emplearon recipientes de vidrio estériles con capacidad de 500ml y tapa de rosca, los cuales fueron ubicados directamente bajo el flujo del afluente contracorriente hasta completar el volumen necesario.

Las muestras fueron transportadas desde el lugar de estudio en una nevera portátil hasta el laboratorio de Investigación en Biología INBIBO de la Universidad el Bosque, en donde se fijaron con H_2SO_4 a $pH < 2.0$ para una adecuada preservación durante el tiempo de análisis de las mismas. Adicionalmente se refrigeraron a una temperatura constante de $4^\circ C$, durante el proceso de análisis mediante un COD Reactor and Test Tube Heater HI 839800 y un COD and Multiparameter Bench Photometer HI 83099, con el fin de obtener datos de DQO y fósforo.

Adicionalmente, se realizaron análisis de DBO_5 , nitritos y nitratos mediante los protocolos establecidos por el Laboratorio ANASCOL S.A.S en Bogotá mediante los métodos Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (S.M) 2012, descritos a continuación (Tabla 3).

Tabla 3: Variables fisicoquímicas evaluadas por Laboratorio ANASCOL S.A.S

VARIABLE	MÉTODO	LCM
Demanda bioquímica de oxígeno – DBO	Incubación a cinco días y electrodo de lumiscencia.5210B modificado. ASTM 888-12 Método C	5
Nitratos	Reducción con cadmio. SM 4500 – NO_3 – E	0,100
Nitritos	Calorimétrico – SM 4500 - NO_2 - B	0,00500
Solidos suspendidos totales	Gravimétrico secado a $103 - 105^\circ\text{C}$. SM 2540 B	10
Fosfatos	Ácido Ascórbico SM 4500 – P – E. Equivalente a fosfatos. Ortofosfatos	0,0500

Fuente: ANASCOL S.A.S, 2017

5.2.6 Análisis estadístico

5.2.6.1 Índices ecológicos

Se calculó la diversidad de Shannon, Margalef, Simpson y la riqueza específica para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentes en la Quebrada El Santuario, teniendo en cuenta las morfoespecies identificadas para las 7 estaciones en estudio. Los cálculos se hicieron con el programa Past (versión 1.57).

5.2.6.2 Análisis de varianza

La prueba de homogeneidad de varianza de Levene de una vía se realizó en el programa estadístico IBM SPSS v19, permitiendo contrastar la hipótesis nula, la cual denotaba que los valores de una variable son iguales o no varían entre cada estación de monitoreo, frente a la hipótesis alternativa que denota que al menos uno de los resultados de las variables difiere

de los demás; para lo cual se realizó un ANOVA con el fin de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas de variables ambientales y estaciones de muestreo. Adicional a esto, en el análisis de Levene al encontrar igualdad de varianzas entre variables ambientales y estaciones de muestreo se llevó a cabo una prueba no paramétrica de chi-cuadrado.

5.2.6.3 Análisis de correlación constricta:

Este análisis se llevó a cabo por medio del programa estadístico RStudio, en la búsqueda de correlacionar la abundancia de macroinvertebrados acuáticos en la Quebrada El Santuario con los parámetros ambientales, con el fin de establecer si alguna variable agrupaba las familias de alguno de las estaciones de muestreo.

6. Resultados y Discusión

6.1 Descripción de las estaciones de muestro

Se definieron 7 estaciones de muestreo (Anexo 1), realizando un recorrido visual del tramo de la Quebrada El Santuario, con el fin de abarcar un área desde aguas arriba a aguas abajo evidenciando la existencia de un flujo de agua constante (Figura 3). Estas estaciones fueron georreferenciadas mediante un GPS Garmin 62csx, para la toma de datos de las coordenadas y la altitud del lugar (Tabla 4).

Tabla 4: Referencias geográficas de las estaciones de muestreo.

ESTACIÓN	COORDENADAS		
	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
1	5° 11' 47,4" N	74° 02' 47,8" W	3.645msnm
2	5° 11' 42,6" N	74° 02' 47,2" W	3.646 msnm
3	5° 11' 41,5" N	74° 02' 46,7" W	3.663 msnm
4	5° 11' 40,4" N	74° 02' 45,08" W	3.633 msnm
5	5° 11' 38,6" N	74° 02' 43,4" W	3.727 msnm
6	5° 11' 36,5" N	74° 02' 42" W	3.624 msnm
7	5° 11' 59,6" N	74° 02' 69" W	3.620 msnm

Por: Julieth Gallego

Las estaciones estudiadas presentaron dominancia de sustrato tipo grava gruesa con presencia de rocas, vegetación herbácea y presencia de árboles (Tabla 5). Adicionalmente se evidenció un vertimiento de agua a la estación 7 proveniente de las instalaciones de la mina de carbón.

Tabla 5: Características de las 7 estaciones de la Quebrada El Santuario.

Estación	Sustrato	Morfología del terreno	Tipo de vegetación
1	Grava gruesa y presencia de piedras	Plana	Herbácea
2	Grava gruesa y presencia de piedras	Plana	Herbácea, arboles
3	Grava gruesa y presencia de piedras	Plana	Herbácea, arboles
4	Grava gruesa y presencia de piedras	Plana con cascada	Herbácea, arboles
5	Grava gruesa y presencia de piedras	Semi - inclinado	Herbácea, arboles
6	Grava gruesa y presencia de piedras	Plana	Herbácea
7	Grava gruesa y presencia de piedras	Semi - inclinado	Herbácea

Por: Julieth Gallego.

La quebrada El Santuario es considerada de alta montaña, teniendo en cuenta que su nacimiento se ubica por encima de los 3600 msnm y presenta valores de pendientes altos y bajos. La inclinación más alta se ubica en su nacimiento con un valor de pendiente de 80°, caracterizándose porque su agua fluye en forma de manantial de una pared rocosa con la inclinación mencionada anteriormente (Rodríguez, V. 2015).

6.2 Fisiogeografía del cuerpo de agua

Esta quebrada se caracteriza por presentar corriente y velocidad media con valores entre 0,03 y 0,33 m/s, (tabla 6) provocando que el cauce tenga reducido lavado y una acumulación baja de material particulado fino. Con lo cual, según Liévano (2007) sustenta que el tamaño y movilidad de las partículas o fragmentos que forman el cauce son importantes para el movimiento del agua a través de ellas, generando tramos de mayor a menor velocidad de la corriente, que determinarán la presencia de diferentes comunidades de organismos asociadas

al tipo de ecosistema teniendo en cuenta, que muchos organismos bentónicos tienen patrones de migración limitados o son sésiles. Por lo que, los órdenes muestreados en las 7 estaciones más abundantes pertenecen a cuerpos de agua de corrientes bajas o remansos de quebradas (Ozcoz, J. 2009).

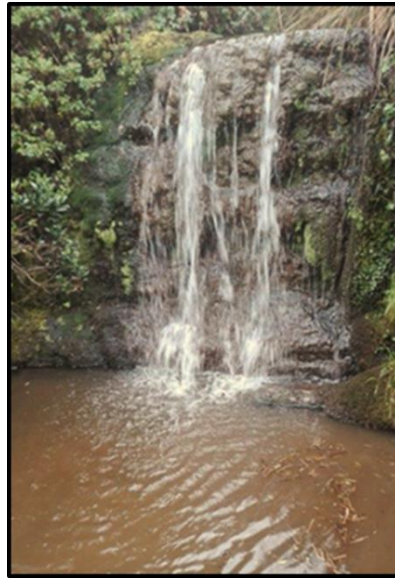
Tabla 6: Características fisiogeográficas de las estaciones de muestreo.

Estación	Área del canal (m²)	Caudal (Q = l/s)
1	0,18	4,60
2	0,04	2,13
3	0,03	2,13
4	0,66	187
5	0,03	4,55
6	0,08	9,10
7	0,04	1,77

Por: Julieth Gallego

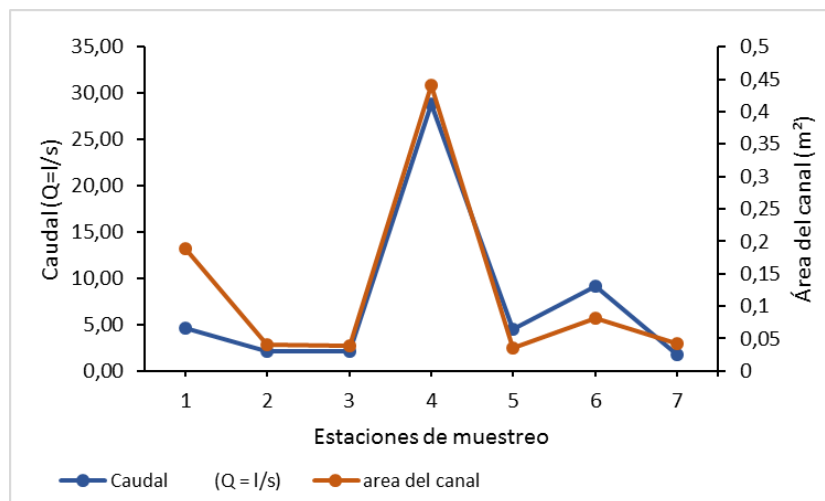
Adicional a esto, la forma y la estructura del cauce en la Quebrada El Santuario se caracteriza por presentar un caudal menor a 10 l/s con un área de canal de 0,03 – 0,18 m² en la mayoría de las estaciones estudiadas (Figura 6). Salvo la estación 4 que presentó un caudal de 187 l/s con un área de 0,66 m² como los valores más altos a lo largo de la quebrada. Esta estación se caracteriza por presentar una caída de agua natural en forma de cascada a diferencia de los demás puntos (Imagen 4), lo cual podría estar influyendo en su valor de caudal y área.

Imagen 4: Estación de muestreo número 4 en la Quebrada El Santuario.



Fotografía: Julieth Gallego

La estación de muestreo (7) ubicada en la zona más baja del área de la quebrada, muestra una reducción de su caudal, como consecuencia de su canalización para el acceso vehicular al predio. Teniendo en cuenta, que las características fisiogeográficas obedecen a fenómenos geológicos y a procesos a diferentes escalas, desde el choque de placas tectónicas a la formación de cordilleras a gran escala. Además, la variabilidad ofrece un amplio espectro de posibilidades tanto en hábitats disponibles como en dietas y formas de vida. (Orjuela L et al. 2010).

Figura 6: Comportamiento del caudal a lo largo de la Quebrada El Santuario

Por: Julieth Gallego.

6.3 Macroinvertebrados bentónicos

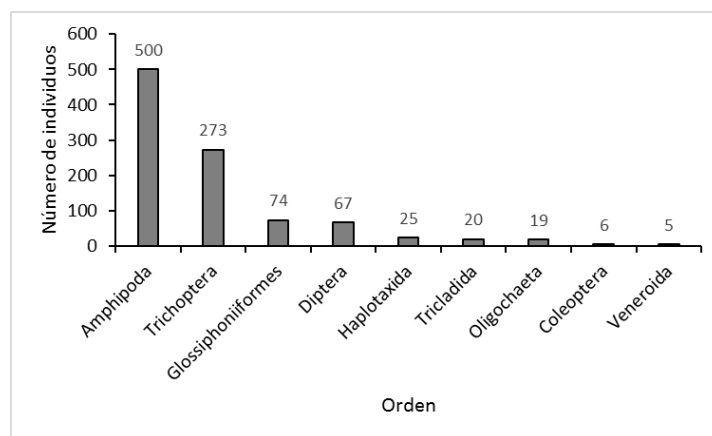
Se recolectaron 989 individuos de macroinvertebrados bentónicos pertenecientes a 9 órdenes y 15 familias, para un total de 12 géneros identificados.

El orden más abundante fue Amphipoda con una única familia Hyalellidae (Anexo 2), con 500 individuos (51%) (Figura 7), quien es considerado el grupo de crustáceos más frecuente en aguas epicontinentales, que logran alcanzar altas densidades si se produce un aumento de materia orgánica en el medio, teniendo en cuenta que estos organismos son detritívoros (Ozcoz, J. 2009), además en el caso de cuerpos de aguas loticos, específicamente en aguas con bajo caudal que favorece a la formación de poblaciones densas.

Adicionalmente, fue la familia más representativa en los meses de marzo y mayo, los cuales hacen parte del periodo lluvioso del municipio y agosto considerado uno de los meses más fríos de la zona, es decir que corresponde a un periodo con tendencia seca (Plan de

Ordenamiento Municipal, 1997 – 2006). Por lo que, se podría considerar que los periodos más fríos ayudan en la abundancia de esta familia, teniendo en cuenta que para el mes de agosto se recolectaron 247 individuos, a diferencia del mes de mayo en el cual se recolectaron 123 individuos. (Figura 8)

Figura 7: Número de individuos según el taxón de orden en la Quebrada El Santuario

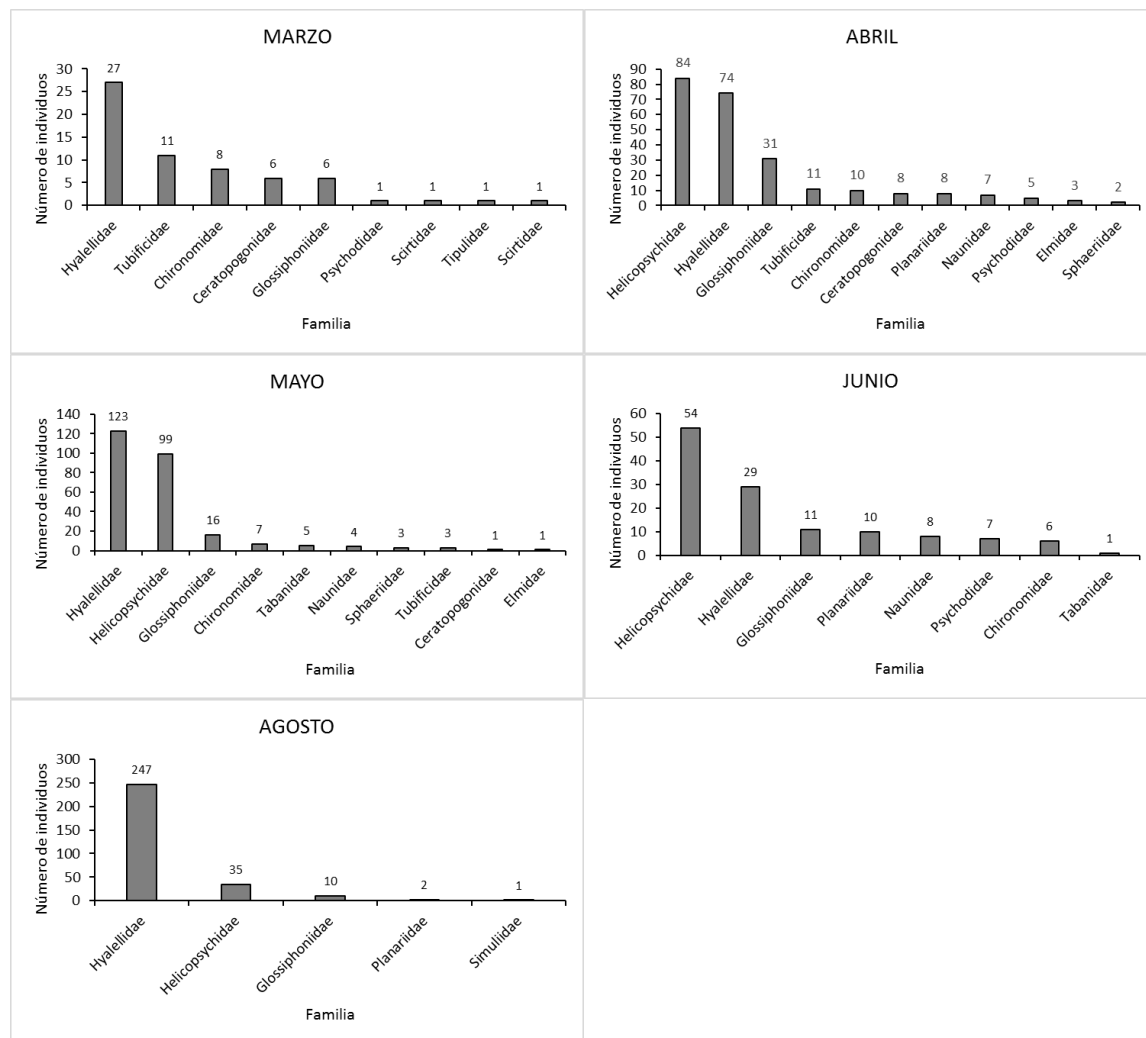


Por: Julieth Gallego.

El segundo orden en abundancia fue Trichoptera (28%) con la familia Helicopsychidae, quien según Roldán (2008) se clasifican como organismos que viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, constituyendo un grupo muy abundante en el trópico americano representado por la familia Helicopsychidae. Se recolectaron 273 individuos de esta familia, la cual se caracteriza por estar ampliamente distribuida en todo tipo de corrientes de agua y tolerar bajos niveles de contaminación (Hahn-vonHessberg1, C. 2009). Adicionalmente, para los meses de abril y junio fue la familia más abundante, teniendo en cuenta que el mes de abril pertenece al periodo lluvioso de la zona y junio como el periodo más frío con tendencia seca. Por lo que, se podría considerar que el periodo lluvioso favorece a su presencia en la Quebrada, por ser el mes con más número de individuos (Figura 8).

El orden menos representativo es Veneroida (0.5%) con la familia Sphaeriidae, quien presenta rangos específicos de variables ambientales, pues generalmente viven en aguas frías, a una temperatura menor de 10 °C, oxigenados con una saturación mayor de 70 % y de baja turbidez. (Canchapoma, K et al. 2016). Adicional a esto, es un grupo que requiere aguas poco contaminadas y fondos oxigenados, para completar su ciclo vital, además las fases juveniles en ocasiones necesitan para sobrevivir anclarse temporalmente al cuerpo de un pez. (Padilla, F et al. 2003).

Por último, el orden con mayor número de familias fue Díptera (7%), al ser uno de los más ampliamente distribuidos y con mayor diversidad (6 morfoespecies), en el que muchas especies presentan larvas acuáticas como los mosquitos y tábanos, entre otros. Algunas especies están adaptadas a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua (Ladreda, R. 2012).

Figura 8: Número de individuos por Familia, durante los 5 meses de muestreo.*Por: Julieth Gallego.*

6.4 Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos: Índice

BMWP/Col - ASPT

En la tabla 7 se presentan los valores de la puntuación BMWP/Col - ASPT obtenidos para las diferentes estaciones de muestreo, según la presencia y abundancia de las familias de macroinvertebrados (Anexo 3). De acuerdo con los resultados obtenidos del cálculo de este

índice, podría decirse que la Quebrada El Santuario presenta aguas en su mayoría moderadamente contaminadas de calidad dudosa en las que la comunidad de macroinvertebrados podrían encontrar ciertas limitaciones para su establecimiento, como en la estación 2 con aguas muy contaminadas.

Por otra parte, en la estación 7, aguas abajo de la quebrada, se reportaron aguas muy contaminadas de calidad crítica, lo que se traduce en condiciones bastante limitantes para los individuos de la comunidad, reflejadas en una comunidad más pobremente conformada (Figura 10).

Por lo que, el orden Diptera se caracteriza por poseer una gran tolerancia a la contaminación, al ser capaz de habitar por extensos periodos aguas con concentraciones muy bajas de oxígeno. Resaltando su presencia con diferentes familias en las estaciones muestreadas, en donde la familia Chironomidae fue la más representativa, la cual se caracteriza por su tolerancia a la contaminación, logrando verse favorecida por la abundante presencia de material alóctono en el sistema, ya que los individuos pertenecientes a esta familia se caracterizan por su preferencia a cuerpos de agua con abundante carga de material suspendido (Gil, J. 2014). En relación con los datos obtenidos, los sólidos disueltos no se encontraron en exceso, a diferencia de la investigación realizada en el año 2015, en donde la carga de solidos era más abundante logrando establecer esta familia como la más representativa posiblemente.

En relación con el orden Amphipoda, este se ve influenciado por cargas de materia orgánica en el medio, como posibles resultados de agentes contaminantes, además de verse favorecidos por una baja corriente (Figura 6). Por último, el orden Trichoptera a diferencia de los órdenes ya mencionados se caracteriza por su preferencia a aguas limpias y

oxigenadas, que en relación a los datos obtenidos se encuentra en las estaciones 1 a 6, con lo que se podría establecer un posible cambio en el tiempo, favorable para la quebrada al presentar aguas moderadamente contaminadas de categoría dudosa a diferencia del año 2015 con categorías de aguas muy contaminadas en situación crítica.

Por lo anterior, en el año 2015 la quebrada presentó contaminación muy crítica en 7 de 10 estaciones de muestreo (Anexo 4); clasificación que actualmente corresponde a 1 de 7 estaciones en el área de estudio, teniendo en cuenta el aporte de agua proveniente de la mina esta zona. De esta manera, se podría mencionar que la calidad biológica ha mejorado pues la cuenca pasó de presentar en la mayoría de su trayecto una contaminación muy crítica a una moderada. Sin embargo, es importante llamar la atención sobre el impacto que aún persiste causado por el aporte de agua. Pues de acuerdo con Branco (1994) citado en Roldán, G. (2008) la palabra contaminación se refiere a la simple transmisión de elementos por el agua, compuestos o microorganismos que pueden perjudicar los mismos cuerpos de agua.

Según los valores del índice BMWP/Col-ASPT, las estaciones 1, 3, 4, 5 y 6 (tabla 5) se encuentran catalogadas en clase III correspondiente a aguas moderadamente contaminadas (rango 4,5 – 6,5). La estación 2 se encuentra catalogada como clase IV de aguas muy contaminadas (rango 3 – 4,5) y por último la estación 7 en la clase V obedece a aguas fuertemente contaminadas en situación crítica (rango 1- 3).

Tabla 7: Clasificación de la calidad según valor BMWP/Col-ASPT en la Quebrada El Santuario. (Roldán 2003)

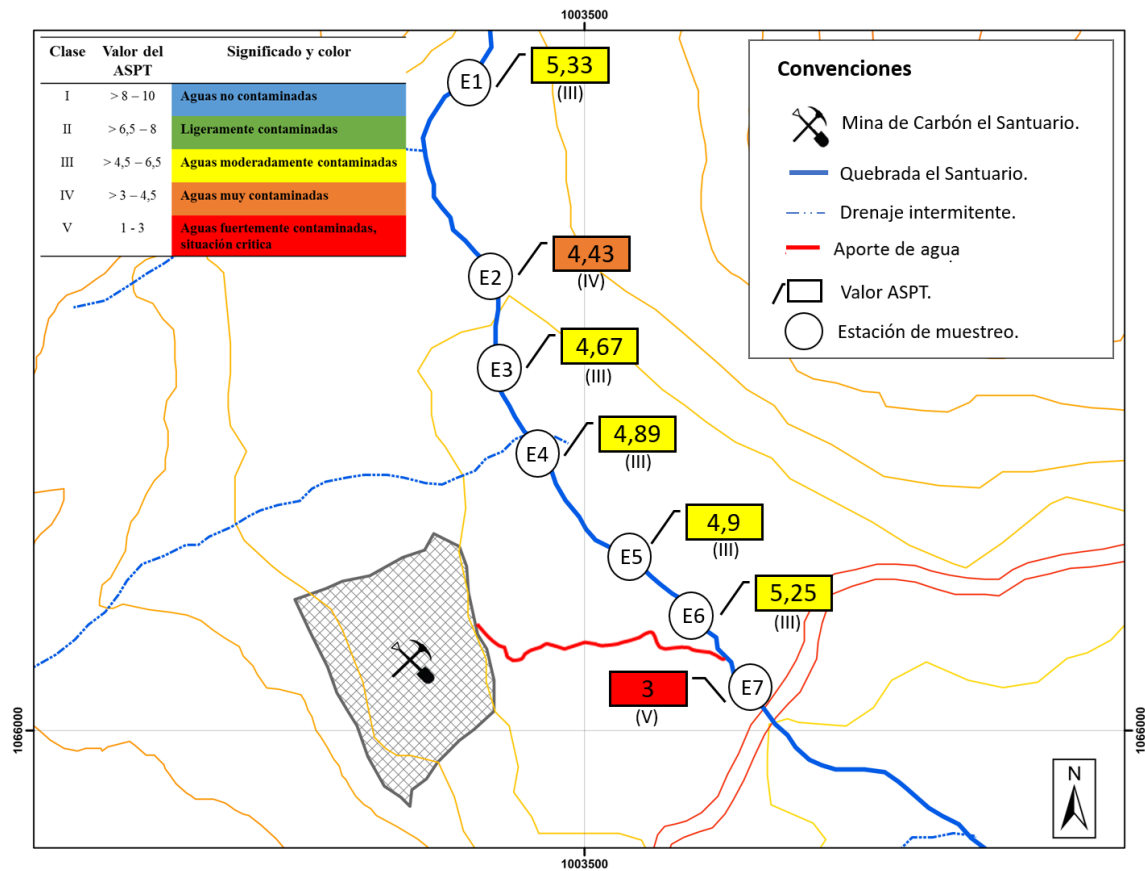
Orden	Familia	Estaciones de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Amphipoda	Hyaellidae	7	7	7	7	7	7	
Coleoptera	Elmidae					6	6	6
	Scirtidae				7	7		
Diptera	Ceratopogonidae	3	3		3	3	3	3
	Chironomidae			2		2	2	2
	Psychodidae						7	
	Simuliidae						8	
	Tabanidae		5		5	5		
	Tipulidae				3			
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	3	3	3	3	3		
Haplotaxida	Tubificidae		1	1	1	1	1	1
Olygochaeta	Neunidae	?	?	?	?	?		
Trichoptera	Helicopsychidae	8	8	8	8	8	8	
Tricladida	Planariidae	7		7	7	7		
Veneroida	Sphaeriidae	4	4					
	Valor BMWP	32	31	28	44	49	42	12
	Familias	7	8	7	10	11	8	4
	Valor BMWP/Col-ASPT	5,33	4,43	4,67	4,89	4,9	5,25	3
	Color y clase BMWP/Col-ASPT	III	IV	III	III	III	III	V

**Valores de familias según Roldán (2003).*

Por: Julieth Gallego.

Para la descarga incluida en el estudio, la Quebrada El Santuario presenta un aporte de agua proveniente de la Mina de Carbón El Santuario (Figura 9), en la parte baja entre la estación 6 y 7, en donde se evidencia el valor más bajo de BMWP/Col-ASPT convirtiendo esta zona en aguas fuertemente contaminadas en situación crítica, teniendo en cuenta que antes de esta desembocadura la contaminación se considera moderada según los valores obtenidos.

Figura 9: Mapa de calidad de agua en la Quebrada El Santuario



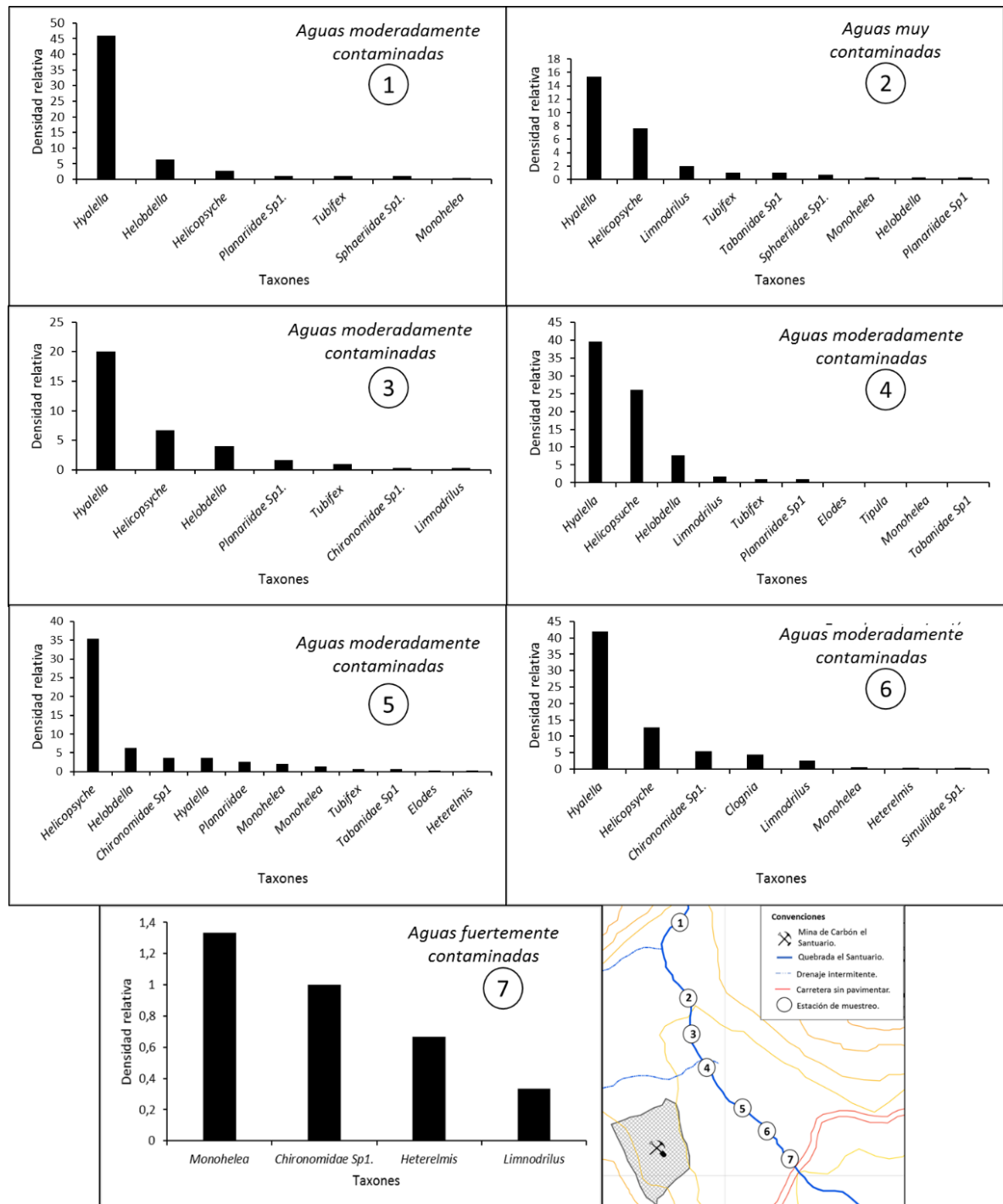
Fuente: Julieth Gallego

En términos generales, se puede afirmar que el estado actual de la calidad biológica de las aguas superficiales de la cuenca de la Quebrada El Santuario en relación con los datos obtenidos por Rodríguez (2015), ha cambiado a través del tiempo. Cabe resaltar que ese año se detuvo la explotación minera.

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos que se registra en cada estación (Figura 10), presenta una variación en su diversidad, según la tolerancia al tipo de contaminación. Como se evidencia en la estación 7 se registraron solo 4 taxones pertenecientes a *Monohelea*, *Chironomidae sp1*, *Heterelmis* y *Limnodrilus* con valores de tolerancia de 3, 2, 6 y 1 respectivamente presentando valores de densidad relativa menores a 1,4%.

Según Matthias y Moreno en 1983, esto no se puede considerar como solo un cambio en la estructura de las comunidades lo que indica una perturbación en el ecosistema, sino también el tipo de organismos encontrados. Así, por ejemplo, un predominio de Tricópteros y Dípteros (Simuliidae) indican calidad ecológica del ecosistema, en cambio un predominio de Oligoquetos, hirudineos (Orden: Glossiphoniiformes) y dípteros (Chironomidae) muestran un fuerte deterioro en el mismo.

Figura 10: Comunidad de macroinvertebrados bentónicos en cada estación de muestreo en la Quebrada El Santuario



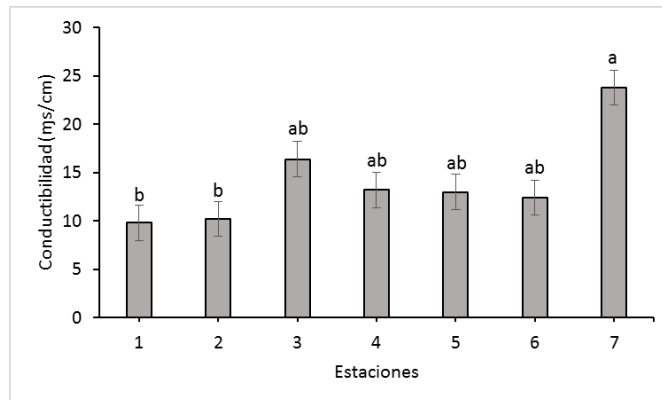
Por: Julieth Gallego.

6.5 Calidad físicoquímica de la Quebrada El Santuario

Se realizó una prueba un Tukey para las variables físicoquímicas de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos, encontrando diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las 7 estaciones para la variable conductibilidad y entre los 5 meses de muestreo para los valores de pH (Figura 11).

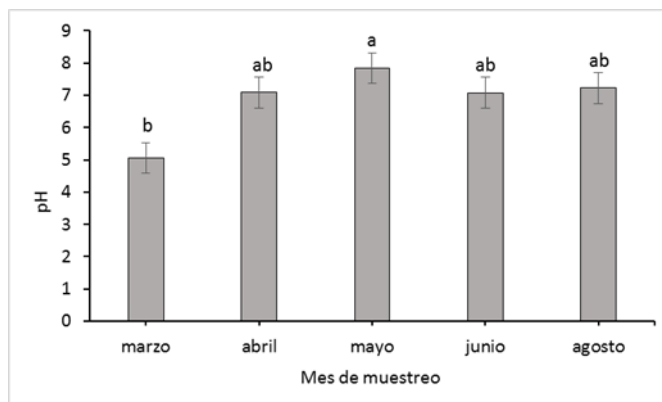
La conductividad en las estaciones 1, 2 y 7 es diferente estadísticamente en comparación con la demás zonas.

Figura 11: Prueba Tukey para estaciones de muestreo en relación a conductividad.



La variable pH difiere en los meses de marzo y mayo con relación a los demás (Figura 12).

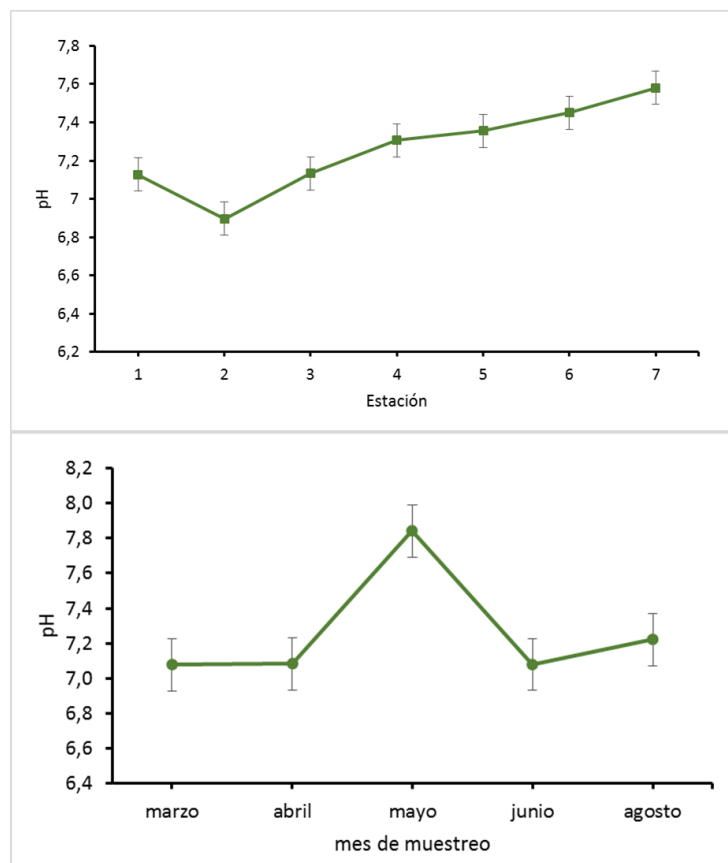
Figura 12: Prueba Tukey para meses muestreados en relación



6.5.1 pH:

Las aguas naturales normalmente tienen valores de pH de 4 a 9 y la mayoría son ligeramente básicas por la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos (Londoño, A et al. 2010). Teniendo en cuenta este rango, los valores obtenidos en todas las estaciones se encuentran en un pH neutro, que tienden a ser favorables para la biota acuática y no limitan el desarrollo de ningún grupo específico en el ecosistema (Figura 13). En el año 2015, se registraron rangos de pH cercanos a ser neutros, lo que muestra una tendencia de pH constante a través del tiempo para el lugar de estudio.

Figura 13: Comportamiento de pH con relación a estaciones y meses de muestreo.



Por: Julieth Gallego.

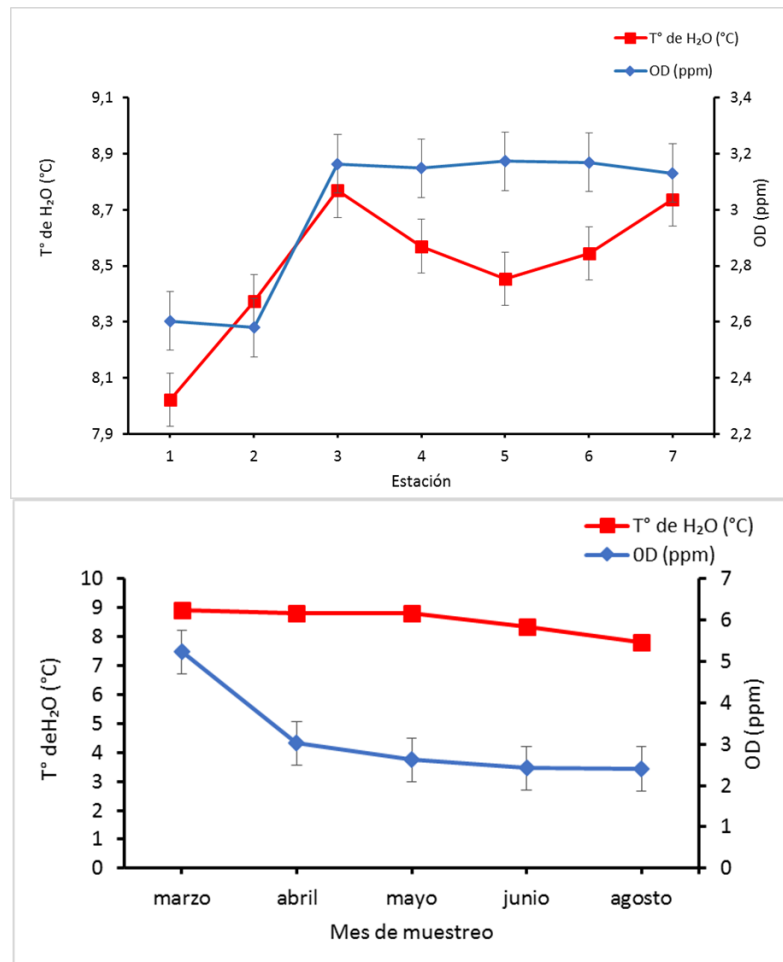
Teniendo en cuenta, que en la zona de estudio se llevaba a cabo actividad de explotación de minería de carbón que genera aportes significativos a la acidificación de cuerpos de aguas naturales, se encuentra que los yacimientos de este mineral fósil están asociados generalmente a depósitos de pirita (FeS_2) (Atlas R. et al 1992), que al fluir de los centros mineros logra causar estragos en la fauna y flora de los cuerpos de agua. Pero, los datos obtenidos en el año 2015 y 2017, muestran un pH neutro a lo largo del recurso, teniendo en cuenta el aporte de agua desde la zona minera a la Quebrada El Santuario.

6.5.2 Temperatura:

La temperatura promedio de la quebrada entre las estaciones de muestreo y meses, se encuentra entre 8 – 9 °C, resaltando la disminución de este parámetro en los meses de junio y agosto (Figura 14) que se caracterizan por pertenecer a la temporada seca de meses más fríos y de fuertes vientos (Figura 14), teniendo en cuenta que según Gil (2014) el comportamiento de esta variable podría ser consecuencia de la altura sobre el nivel del mar y la época de muestreo.

La temperatura del agua es considerada un parámetro muy importante dado su influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática como en las reacciones químicas que influyen en el comportamiento de otros indicadores, como la solubilidad del oxígeno. Pues, a una temperatura elevada se aumenta el consumo de oxígeno favoreciendo la presencia de vida acuática.

Figura 14: Comportamiento de Temperatura Vs. Oxígeno disuelto en relación a estaciones y meses de muestreo.



Por: Julieth Gallego.

6.5.3 Saturación de oxígeno disuelto (ppm):

Se presentan valores constantes entre las estaciones y los meses de muestreo (Figura 14) entre 8 – 9 ppm, teniendo en cuenta que en la vida acuática un valor de 4 – 5 mg/l de OD causa efectos nocivos en determinadas especies. Pero los valores obtenidos no afectan a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentes, siendo uno de los parámetros más importante en el metabolismo de todos los organismos acuáticos.

Por último, su solubilidad se ve afectada de manera no lineal por la temperatura, aumentando considerablemente al disminuir la temperatura del agua (Wetzel, R. 1981). En relación con los datos obtenidos, es notorio que a mayor temperatura el oxígeno se mantiene con valores inferiores durante los meses de muestreo, mostrando que durante el mes de agosto (temporada seca) el oxígeno disminuye su solubilidad y en el mes de marzo (temporada lluviosa) aumenta sus valores. Como lo evidencio Londoño et al (2017) en tres quebradas de alta montaña de Antioquia, donde el oxígeno presentó diferencias en el aumento y disminución según el ciclo hidrológico.

Según Pérez (2013) en cuerpos de agua naturales a temperatura ambiente, el oxígeno se disuelve a una concentración aproximada de 8.5 mg/L, como se evidencio en las 7 estaciones muestreadas.

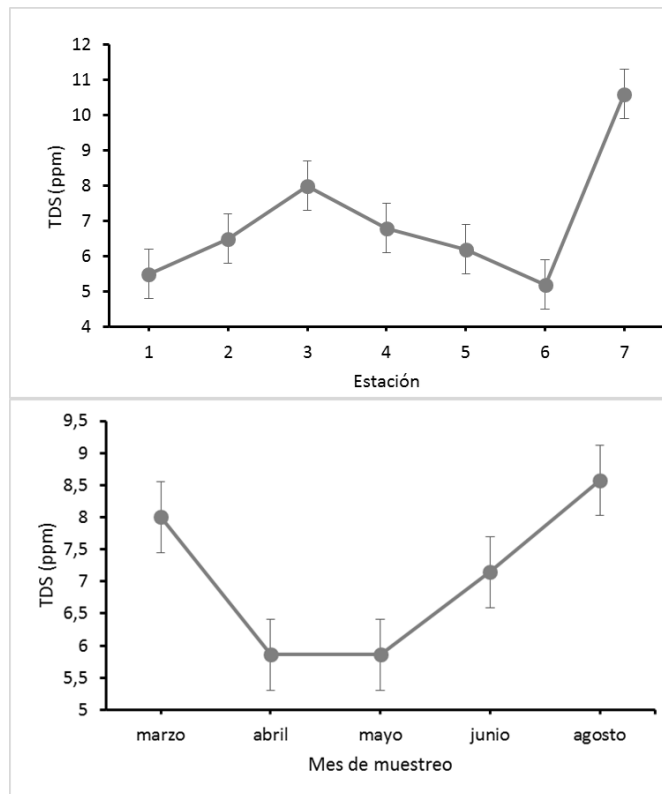
6.5.4 Sólidos disueltos Totales (TDS):

Los valores obtenidos a lo largo de la quebrada se encuentran en un rango de 5 a 10 ppm (Figura 15). Para lo cual, Livingstone (1963) argumenta que valores entre 1 y 5 ppm de TDS condicionan a los cuerpos de agua como ultraoligotróficos con la presencia escasa de nutrientes (Atlas, R et al. 1992).

Para los datos obtenidos en el año 2015 la Quebrada El Santuario presentaba un aumento de TDS (78,6 – 96,5 ppm) después de la descarga de agua proveniente de la mina para la estación 7. Resaltando que la mayor parte de los contaminantes de aguas son sólidos disueltos presentes como materia que permanecen en forma de residuo en los cuerpos de agua (Pérez, A et al. 2013).

Actualmente la quebrada presenta valores que se encuentran en el rango permisible, teniendo en cuenta que la Resolución 0631 de 2015 exige resultados menores a 50,00 mg/L para cuerpos de agua naturales.

Figura 15: Comportamiento de Total de sólidos disueltos en relación con estaciones y meses de muestreo.



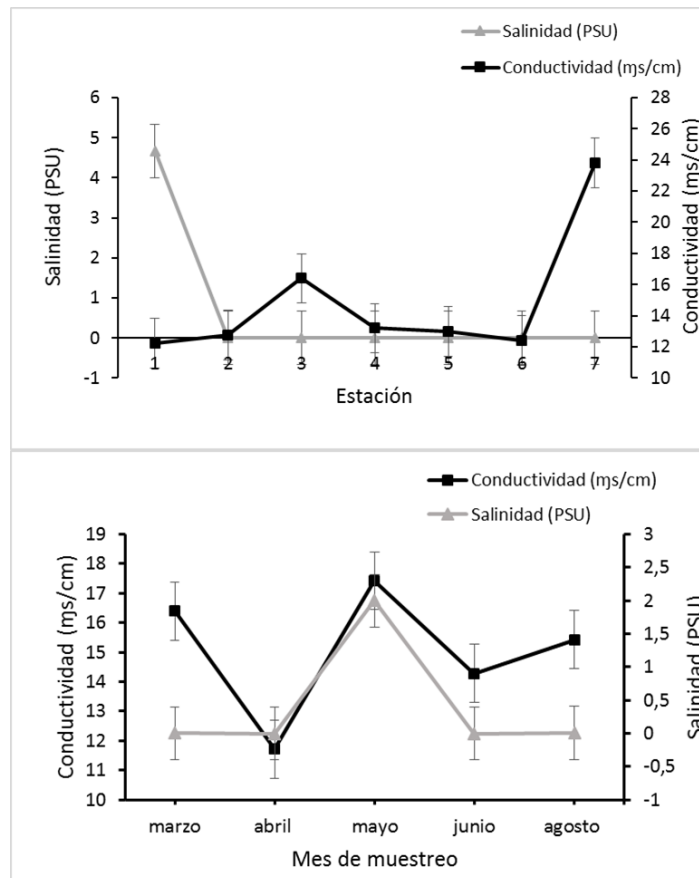
Por: Julieth Gallego.

6.5.5 Conductividad:

El agua epicontinental suele tener entre 30 y 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, pero las actividades humanas en ocasiones tienden a aumentar la cantidad de iones disueltos cambiando sus valores a más de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Para lo cual, contrastado con los valores de conductividad obtenidos en la Quebrada El Santuario se evidencia que sus valores se encuentran entre el rango estipulado (12 - 24 μS) para las 7 estaciones, evidenciando un

aumento en la zona 7 (Figura 16) que podría deberse a la descarga proveniente de la mina de carbón, como lo evidenció Gil (2014) en la cuenca del Río Garagoa, en donde encontró un aumento de este parámetro por la descarga de aguas residuales.

Figura 16: Comportamiento de conductividad Vs. Salinidad en relación a estaciones y meses de muestreo



Por: Julieth Gallego.

²<http://www.riohenares.org/index.php/rio-henares/calidad-de-las-aguas/43-conductividad.html>

6.5.6. Salinidad:

Para este parámetro, se hallaron valores entre 0 – 4 UPS en los puntos de muestreo a lo largo de la quebrada, existiendo un aumento de sales disueltas en la estación 1 y el mes de mayo, que, a pesar de su aumento, se encuentran en valores normales para aguas superficiales (90g/l). Aunque es importante saber que la salinidad en aguas epicontinentales puede darse por efecto antropogénico, es decir, generado por vertidos industriales o por la actividad minera, teniendo en cuenta que los iones presentan diferente toxicidad².

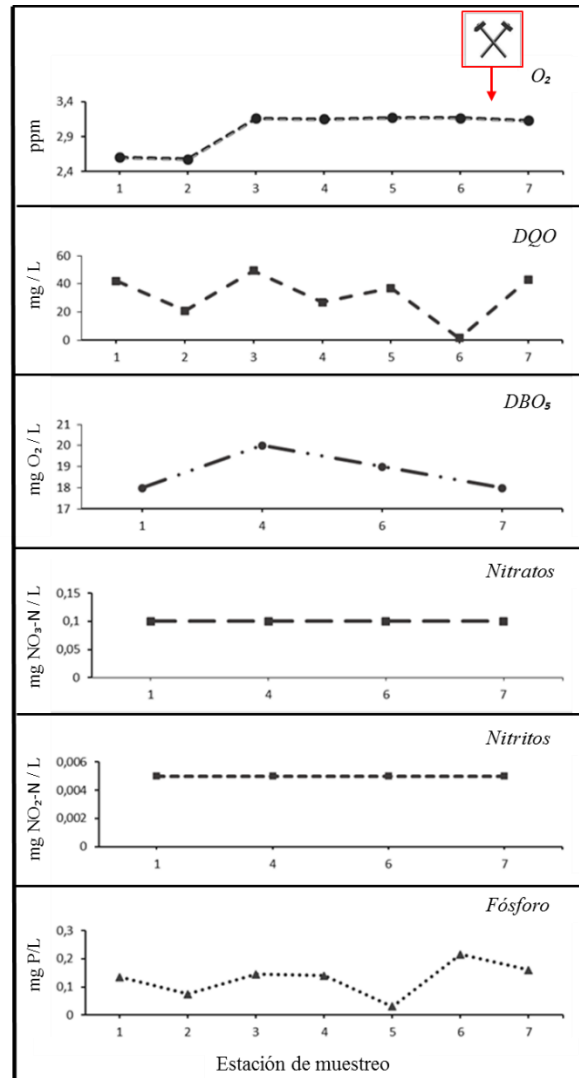
La conductividad está estrictamente relacionada con las sales disueltas en el agua. A medida que las sales disueltas aumentan, la conductividad del fluido aumenta de manera directamente proporcional, como se evidencia en el mes de mayo (Figura 16). Lo que podría deberse a una descarga de sales disueltas en este punto, generando un aumento de la conductividad.

6.5.2 Efectos de contaminación sobre los parámetros fisicoquímicos

Los efectos biológicos de la contaminación se miden por medio del cambio que experimentan las comunidades a medida que reciben descargas de desechos de diferente orden. Por tal razón Hynes (1974) discutió tales cambios y su respuesta la planteó gráficamente, mostrando su sucesión a lo largo de una corriente. Los datos obtenidos de DQO, DBO₅, Fósforo, Fosfato, Nitrato y Nitrito a lo largo de las 7 estaciones muestreadas, comprenden el transcurso desde aguas arriba hasta aguas abajo, teniendo en cuenta, la presencia del afluente proveniente de la mina. Para lo cual, según Hynes el oxígeno se ve afectado negativamente con la presencia de una fuente de contaminación, pero como se observa en la Figura 17 el punto 7, no sufre una disminución de oxígeno después de la

descarga de agua de la zona minera, y tampoco se evidencia un aumento de fósforo; como consecuencia de una fuente de contaminación. De igual forma los valores de nitrito y nitrato se encuentran dentro del rango de normalidad para aguas superficiales, los cuales no deben superar el 0,1 mg/l y 0,4 mg/l respectivamente (Sigler, W et al. SF).

Figura 17: Efectos de contaminación sobre los parámetros fisicoquímicos.



* Figura superior derecha: Descarga de agua desde la zona minera

Por: Julieth Gallego.

Los valores obtenidos de DBO₅ clasifican a la Quebrada El Santuario a lo largo 7 de las estaciones muestreadas en una categoría aceptable, caracterizándola como un cuerpo de agua con indicio de contaminación y capacidad de autodepuración. De igual forma, para los valores de DQO se establece la misma clasificación según los valores obtenidos (Mejía E, et al. 2006).

6.6 Análisis estadístico:

6.6.1 Índices ecológicos:

Los índices calculados obedecen a cada estación de muestreo, con lo cual se evidencia que el punto 5 presentó el valor más alto de riqueza específica (S=11) con relación al punto 7, quien presentó el valor más bajo de riqueza (S=4) en la zona. Teniendo en cuenta, que a este punto llega la descarga de agua proveniente de la zona minera (Tabla 8). Lo cual, podría estar generando un cambio en la comunidad de macroinvertebrados. Roldán & Ramírez (2008) relacionan que un cambio en las condiciones ambientales se verá reflejado en las estructuras de las comunidades que allí habitan (Roldán & Ramírez 2008).

Tabla 8: Índices de diversidad en las 7 estaciones de muestreo de la Quebrada El Santuario.

Estación	Riqueza específica	Índice de Margalef	Índice de Shannon	Índice de Simpson
1	7	1,1617	0,8081	0,3655
2	9	1,7868	1,3897	0,656
3	7	1,2892	1,2807	0,6244
4	10	1,6485	1,2243	0,6256
5	11	1,9449	1,4064	0,5943
6	8	1,315	1,2092	0,5789
7	4	1,3029	0,03	0,7778

**Índices calculados con los datos obtenidos de morfoespecies por cada estación de muestreo.*

La diversidad en la parte alta y baja del índice de Shannon en la Quebrada El Santuario se encuentra entre $H = 0,03$ y $H = 1,4064$ (Tabla 8). Lo cual, se considera como valores bajos de diversidad para la quebrada, pues según Margalef (1998) los valores normales deben ser mayores a $H=1$ para los ecosistemas, de lo contrario la diversidad podría estar afectada directamente por actividades antrópicas. Teniendo en cuenta que en la zona de la Quebrada El Santuario se realizó actividad de explotación minera de carbón con un vertimiento de agua en la estación 7, la cual presentó los valores más bajos de diversidad.

Para el índice de dominancia de Simpson, los valores se encuentran en un rango de 0,3655 y 0,7778 para la quebrada, identificando la estación 1 (0,3655) como el valor más cercano a 0, con lo que se establece la mayor dominancia de una morfoespecie en esta zona. Lo cual, se contrasta con la figura 10 para el punto 1, donde el género *Hyaella* presentó la mayor densidad relativa superior a los demás taxones, además de ser el género de la familia más representativa en todo el estudio. Para esto, Wetzel (1981) nombra a este género como un grupo de rápido crecimiento y corto tiempo de generación, presentando un valor considerable en comparación con los valores de los demás componentes de la fauna bentónica. Además el crecimiento y densidad de este organismo depende de la cantidad de algas epipélicas y microflora que contenga el sedimento (Wetzel, R. 1981). Con lo cual, se podría establecer una relación con los organismos muestreados en la Quebrada El santuario para esa zona (estación 1) por Ortiz (2017), quien encontró 13 géneros de perifiton muestreados en la biopelícula presente en rocas del lecho de la quebrada.

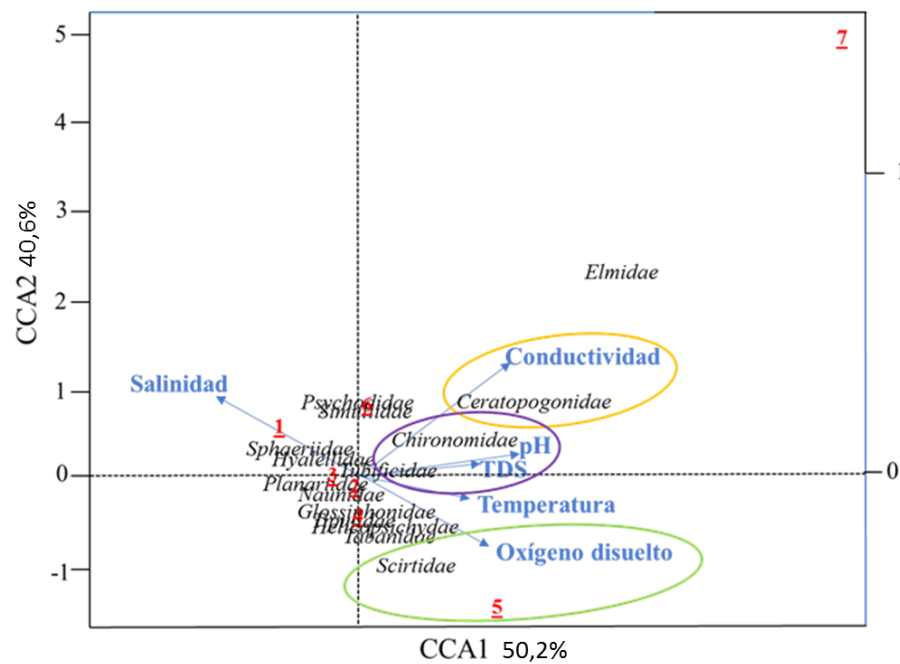
Por último, el índice de Margalef muestra que los valores obtenidos para las 7 estaciones oscilan entre 1,1617 a 1,9449 con lo cual se establece una baja biodiversidad en la Quebrada

El Santuario. Teniendo en cuenta que valores menores a 2 corresponden a poca biodiversidad.

6.6.2 Análisis de Correlación Constricta:

Las comunidades biológicas propias de los sistemas acuáticos, suelen estar determinadas por diferentes factores que no necesariamente se derivan de acciones naturales sino en los que la acción antrópica puede tener gran injerencia, es por ello que a lo largo del tiempo diversos autores como (Torralba & Alonso, 2010) entre otros, han dedicado gran parte de sus estudios a tratar de entender este tipo de relaciones. Partiendo de lo anterior, se realizó un análisis de correspondencia canónica, buscando establecer si los valores reportados por los parámetros ambientales medidos en la Quebrada El Santuario tienen algún tipo de relación con la estructuración de la comunidad.

Figura 18: Análisis de correlación constricta (CCA) de las diferentes variables ambientales medidas en la Quebrada El Santuario, en relación a familias muestreada en 7 estaciones.



**Los círculos de colores indican las correlaciones importantes entre las variables fisicoquímicas con las familias y las estaciones de muestreo.*

De acuerdo con la figura 18, las variables que presentaron mayor relación con las familias de macroinvertebrados bentónicos fueron: conductividad, pH, sólidos totales disueltos (TDS) y oxígeno disuelto, que se encuentran afectando a las familias Ceratopogonidae, Chironomidae y Scirtidae respectivamente; este tipo de relación indica que, a mayor concentración de estas variables en el medio, mayor puede llegar a ser la abundancia reportada por estos organismos.

La Familia Ceratopogonidae, se caracteriza por ser abundante en cuerpos de agua salobres (Wirth, 1981), por lo que se encuentra correlacionada con la variable de conductividad resaltando que los rangos de este parámetro se encuentran relacionados a la cantidad de sales disueltas en el medio presentes en la Quebrada El Santuario, Adicional a esto, la estación con mayor concentración de salinidad (1) pertenece a una altura de 3.645 msnm afectando posiblemente la presencia de esta familia, pues su amplia distribución se ve favorecida a los 2.600msnm. Adicionalmente, habita en zonas con poca corriente, asociados a sustratos blandos (Liévano y Ospina. 2007), teniendo en cuenta que el sustrato característico de la quebrada fue grava gruesa con presencia de piedras, lo cual podría explicar la baja densidad de esta familia en el área de estudio.

La familia Chironomidae se encuentra correlacionada con las variables de pH y sólidos totales disueltos, teniendo en cuenta que la Quebrada El Santuario presento un pH neutro como un parámetro que condiciona la presencia de esta familia en los cuerpos de agua, como lo evidencio Scheibler et al (2008) con la distribución espacio temporal de estas larvas en un arroyo andino con pH neutro-alcalino para altas densidades de individuos de esta familia.

Adicionalmente, los datos obtenidos en el año 2015 (Anexo 5) mostraron a esta familia como la más abundante en la Quebrada El Santuario con los mismos rangos de pH, aunque con categorías de aguas muy contaminadas en estado crítico en 7 de 10 estaciones muestreadas. Evidenciando el mayor número de individuos presentes en las estaciones 7 a 10, caracterizadas por ser las zonas de descarga de agua proveniente de la mina de carbón en donde la cantidad de sólidos totales disueltos se encontraba en un rango de 78,5 – 96,5 ppm, que en comparación con los datos obtenidos en el año 2017 el aumento en la cantidad de sólidos disueltos también se presentó después esta descarga, pero con valores máximos de 10pmm, la familia Chironomidae podría estar influenciada directamente con las cantidades de sólidos disueltos para presentar altas densidades poblacionales en cuerpos de agua con contaminación muy crítica.

La familia Scirtidae presento una correlación bajos niveles de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua para la estación 5, con lo cual se establece que esta zona ofrece un rango de oxígeno favorable para la presencia de esta familia. Adicionalmente este grupo se caracteriza por ser frecuente en aguas de poca corriente, como se evidencio en la estación 5 (Figura 6). Aunque se encuentran asociados a medios con alta presencia de vegetación alimentándose de restos vegetales, siendo este un posible factor que condicione su abundancia en cuerpos de agua, teniendo en cuenta que en la estación 5 no se encontraron presencia de macrófitas sumergidas que produzcan una oferta de alimento para este grupo.

Adicionalmente, la estación 7 no presentó relación con las familias muestreadas y las variables ambientales, teniendo en cuenta que es la zona con valores más altos de pH, conductividad y sólidos totales disueltos. Factores que podrían estar disminuyendo la posibilidad de que las comunidades de macroinvertebrados se establezcan fácilmente.

Por último, es importante aclarar que el resto de familias muestreadas no presentaron correlaciones evidentes a las variables ambientales, es decir que todos los parámetros físicos influyen en la presencia de los diferentes grupos de manera equitativa.

Finalmente, para el presente estudio es posible relacionar los resultados obtenidos como una característica del proceso natural de autoregeneración en la quebrada El Santuario, teniendo en cuenta la calidad presentada en el año 2015 por la contaminación de los residuos producidos por la explotación minera de carbón en ese momento y que después de dos años del cierre de la mina las condiciones en algunos casos han mejorado notablemente, además de evidenciar un cambio en el tipo de calidad como aguas muy contaminadas en situación crítica a lo largo de la cuenca a una calidad de contaminación dudosa en la mayoría de estaciones muestreadas en el presente año, según el índice de calidad BMWP/Col-ASPT.

De igual forma, se evidenciaron cambios en algunas variables fisicoquímicas. Como es el caso de los sólidos disueltos después de la zona de descarga de agua proveniente de la mina de carbón, para lo cual los valores de este parámetro se encuentran actualmente dentro del rango de normalidad para aguas superficiales, a diferencia de los datos obtenidos en el año 2015 en donde los valores sobrepasan el rango permitido.

Cabe resaltar, que en la zona no se ha realizado algún tipo de proceso hecho por el hombre para el mejoramiento de esta cuenca. Es decir, los cambios a través del tiempo se pueden atribuir a un proceso estrictamente natural, lo cual es posible por el flujo de agua o caudal y la influencia del oxígeno disuelto en rangos normales.

7. Conclusiones

La comunidad de macroinvertebrados reportada en la cuenca de la quebrada El Santuario durante los muestreos realizados en los meses abril y mayo del año 2017 mostraron una mayor abundancia, donde posiblemente las condiciones hidrológicas influyen en las variables ambientales, permitiendo mayor presencia de individuos.

En cuanto al índice BMWP/Col - ASPT se concluye que la calidad biológica del agua de la quebrada El Santuario ha mejorado significativamente en dos años sin explotación minera de carbón, en relación con la calidad del año 2015.

Para los parámetros fisicoquímicos, teniendo en cuenta los diferentes valores obtenidos estos se ajustan a rangos no alterados en la quebrada El Santuario, mostrando en algunos parámetros un cambio favorable, después de dos años de cancelar la explotación minera.

De acuerdo con los valores obtenidos del cálculo de los índices ecológicos en la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada El Santuario, la baja diversidad de las estaciones podría estar aún influenciada por cambios en el ecosistema por efecto de la actividad antropica de la minería.

Con los resultados del análisis multivariado, se infiere que en algunos casos el pH, sólidos totales disueltos, conductividad y oxígeno disuelto favorecen la presencia de organismos bioindicadores en la quebrada El Santuario, además de influir en la estabilidad de las demás familias muestreadas.

8. Bibliografía:

- Álvarez, L. (2006). “Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua”. Instituto Alexander von Humboldt, en proceso de publicación.
- Alba-Tercedor J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio de agua en Andalucía (SIAGA), Almería. 2: 203-213
- Alba-Tercedor, J. Sánchez-Ortega, A. (1988). “Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas Corrientes basado en el Hellawell. Limnetica. 4: 51-56.
- Atlas, R. m. & Bartha, R. (1992). - Hydrocarbon biodegradation and oil spill bioremediation. En: MARSHALL, K. C. (ed.), Advances in Microbial Ecology (Vol. 12), Plenum Press, New York: 287-338
- Bouza, C. (2005). “Estimación del índice de diversidad de Simpson en sitios de muestreo”. Revista Investigación Operacional: Cuba. 26 (2).
- Badii, M. (2007). “Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica”. Innovaciones de Negocios: México. 4 (2).
- Canchapoma K, Casas K, Palacin A, Rojas D & Vargas I. (2016). “La Biodiversidad de Macroinvertebrados como indicadores de Calidad de Agua de los Ríos de Junín”. Revista Ingenium 1 (2). Pág. 17.
- CORTOLIMA. “Proyecto plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del Río Coello. (En línea). Disponible en: https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/l211.pdf.

- CRC – corporación autónoma regional del Cauca (2010) Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, POMCH. CRC, Colombia.
- Escheibler E, Pozo V & Paggi A. (2008). “Distribución espacio-temporal de larvas de Chironomidae (Diptera) en un arroyo andino (Uspallata, Mendoza, Argentina)”. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina. 67: 3 – 4.
- Figueroa R, Araya E, parra O & Valdovinos C., (2000). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua. Centro de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Chile.
- Greenpeace., (2013), Páramos en Peligro. Campaña Páramos.
- Gaspari F, Rodríguez A, Senisterra G, Delgado M & Besteiro S., (2013), Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina.
- González v, Gray c & Álvarez l (2012) Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington D.C. EEUU.
- Gil 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. Universidad de Manizales, Colombia. Manizales.
- Hahn-Von Hessberg C, Toro D, Grajales A, Duque G & Serna 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 Centro de Museos – Museo de Historia Natural 13 (2). Pág. 89-105.

- Hudson N., (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. Boletín de Suelos de la FAO. 68: Cap 4.
- Jill S, Baron N, LeRoy L, Angermeier N, Dahm H, Gleick G, Hairston Jr, Robert B. Jackson A, Johnston D, & Alan D., (2003). Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. Tópicos en Ecología. 10.
- Jaramillo, L., (2009), Estudio de las Comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos en el Área del Embalse Porce II y su Relación con la Calidad del Agua. Bogotá, Colombia: Red Revista de Ingenierías Universidad de Medellín.
- Jaramillo, J., (2002), Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Revista Ingenierías. 1 (1):93 – 98.
- Londoño, A. (2017). “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad del agua en tres quebradas de alta montaña de Antioquia, Colombia”. Universidad Pontificia Bolivariana: Medellín.
- Liévano, A & Ospina, F. (2007). “Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamon”. Universidad el Bosque: Bogotá, Colombia.
- Ladreda, R. (2012). “Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos”. Páginas de información ambiental.
- Londoño A, Giraldo G & Gutiérrez A. (2010). “Métodos Analíticos para la Evaluación de la Calidad Fisicoquímica del Agua”. Universidad Nacional de Colombia: Manizales. Pág. 55
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017), Planificación de Cuencas Hidrográficas, Bogotá, Colombia.

- Mejía E, Rosales F, Rojas J & Molina G. (2006). “Evaluación de la Calidad del Agua”. marco institucional para la gestión del agua en la cuenca.
- Matthias, U & Moreno, H. (1983). “Estudio de algunos parámetros físicos y biológicos en el Río Medellín y sus principales afluentes. Actual. Biol. 12 (46).
- Morales M, Otero J, Van Der Hammen T, Torres A, Cadena C, Pedraza C, Rodríguez N, Franco J, Betancourth, Olaya E, Posada E & Cárdenas I.,(2007), Atlas de los páramos de Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt IAvH, Colombia.
- Montes C & Bohórquez M (2012) Los bioindicadores como herramienta de evaluación de la calidad de agua en uno de los afluentes del río Combeima. Universidad del Tolima. Tolima, Colombia.
- Mansilla, G. (2014). “Potencial de hidrogeniones-pH”. Revista de Actualización Clínica Investiga. 40(40).
- Orjuela L, Saldarriaga G, Garcia M & Wilches H. (2010). “Calidad del agua superficial en Colombia”. IDEAM.
- Ozcoz, J. (2009). “Guía de Campo: Macro – Invertebrados de la Cuenca de Ebro”. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino. España: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Ortiz, L. (2017). “Comunidad fitoplanctónica, perifítica y parámetros fisicoquímicos como indicadores de la calidad del agua de la reserva el santuario Tausa, Cundinamarca, Colombia”. Universidad El Bosque.
- Padilla, F & Cuesta, A. (2003). “Zoología Aplicada”. España, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A. Pág. 60.

- Plan de Ordenamiento Municipal Tausa. (1997-2006). Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Pérez C, León F & Delgadillo C. (2013). “Tratamiento de Aguas: Manual de Laboratorio” Universidad Nacional Autónoma de México. Pag. 65
- Rodríguez V., (2015). características bióticas, fisicoquímicas y calidad de agua del nacimiento de la quebrada El Santuario, municipio de Tausa, Cundinamarca. Universidad el Boque. Colombia, Bogotá.
- Roldán, G., (2003), Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col, Colombia, Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán, G & Ramírez, J. (2008). “Fundamentos de Limnología Neotropical”, 2ª Edición. Antioquia, Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2016). “Los Macroinvertebrados como los bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas e desarrollo en Colombia y Latinoamérica”. Universidad Católica de Oriente. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: Rionegro, Colombia: 40 (155): 254-
- Sigler, W. (SF): “Nitrato y Nitrito”. Universidad Estatal de Montana. Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales.
- Sonco, R. (2013). “Estudio de la diversidad alfa y beta en tres localidades de un bosque montano”. Universidad Mayor de San Andrés: Bolivia.
- Tercedor A. (1987). “Evaluación de las variables estacionales de las calidades de las aguas del Río Guadafío, basada en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y de los factores fisicoquímicos”. Madrid: 48 (1).

- Torralba, A., & Alonso, M. (2010). Biodiversidad de odonatos de la sierra de Fonfria y cuenca del Jiloca (Teruel): faunística. *Xiloca*, 38, 111-147.
- Wetzel, R. (1981). “Limnología”. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- Zuliani, S. (2013) Decreto 1640 de 2012 – Instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos. Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia. Antioquia, Colombia.