

**CALIDAD DE AGUA Y DINAMICA TEMPORAL DE MACROINVERTEBRADOS
BENTONICOS, EN LAS QUEBRADAS EL RUICITO Y EL RIOLINDO, EN EL
MUNICIPIO DE VIOTÁ-CUNDINAMARCA**

JENNY PAOLA VEGA BRICEÑO

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE
PROGRAMA DE BIOLOGÍA**

Bogotá, D.C.

2016

**CALIDAD DE AGUA Y DINAMICA TEMPORAL DE
MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS, EN LAS QUEBRADAS EL RUICITO
Y EL RIOLINDO, EN EL MUNICIPIO DE VIOTÁ-CUNDINAMARCA**

JENNY PAOLA VEGA BRICEÑO

Director:

Mónica Andrea Castillo Aguilar

Docente Programa de Biología

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Codirector:

Patricia Torres

Docente Programa de Biología

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

Bogotá, D.C.

2016

**Calidad de agua y dinámica temporal de macroinvertebrados bentónicos, en las
quebradas el ruicito y el riolindo, en el municipio de viotá-cundinamarca**

Por

Jenny Paola Vega Briceño

Director

Bióloga. Mónica Andrea Castillo Aguilera

Grupo de Investigación Biología (GRIB)

Universidad El Bosque

Aprobada por

LEIDY JOHANNA LANCHEROS ASCENCIO

BIÓLOGA MARINA

MARÍA CAMILA GUTIÉRREZ CELEDON

INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

ROSEMBERG RAMÍREZ RIVERA

BIÓLOGO

**“LA UNIVERSIDAD EL BOSQUE NO SE HACE RESPONSABLE DE LOS
CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS INVESTIGADORES EN SU TRABAJO, SLO
VELARÀ POR EL RIGOR CIENTÌFICO, METODOLOGICO Y ÈTICO DEL
MISMO EN ARAS DE LA BUSQUEDA DE LA VERDAD Y LA JUSTICIA”**

Dedicatoria

A mi madre por todo el esfuerzo, apoyo y ejemplo.

A mi hermano quien es mi todo.

A mi abue por darme siempre las palabras indicadas.

A mi familia por su apoyo.

A mi hermoso hijo de cuatro patas.

A mis amigos, quienes aportaron las tristezas y las alegrías para hacer cada día único.

A esa persona que con solo unas palabras me hace sonreír y a todas y cada una de las personas que de alguna u otra manera aportaron para terminar con este proyecto que me propuse en la vida.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecerle a Dios porque siempre me guio dándome las fuerzas y el entendimiento necesario para cumplir con esta meta. A mi familia quien siempre estuvo incondicionalmente apoyándome y aportando todo para cumplir con este sueño. Fueron la base diaria para mantener las ganas de seguir adelante. Especialmente a mi madre quien es mi todo, siempre me apoyo, me brindo la fuerza necesaria, nunca me dejo desfallecer gracias madre sencillamente “te amo” eres el mejor ejemplo a seguir. A mi abue quien siempre me incito a la tranquilidad, sus palabras fueron únicas en momentos de debilidad. Por otro lado agradezco a mi directora de tesis Mónica Castillo, quien incondicionalmente me acompaño y confió de manera profesional y personal fue una guía en mi formación como profesional.

Le extiendo un agradecimiento al programa de Biología de la universidad por haberme permitido hacer parte del Grupo de Investigaciones en Biología (GRIB), a los diferentes docentes los cuales aportaron desde los diferentes campos a mi formación académica y personal.

Finalmente agradezco a mis más cercanos amigos Andrea Pineda quien nunca se cansó de acompañarme a cumplir con este sueño, te debo años de amistad, de felicidad y una cantidad de cosas, experiencias, alegrías, tristezas y de más. Agradecerle a diferentes personalidades que me llegan al corazón Camila Alfonso, Cristina Díaz, Zara Parra.

Muchas personas que en este momento se me escapan, tengo que decirles que
increíblemente ocupan un lugar importante.

A Abril F y a Camila G, les agradezco por haberse inmiscuido en mi vida cuando menos lo
pensaba pero cuando más lo requería.

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Índice BMWP/Col.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice BMWP/Col.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 3. Valores de índices de diversidad por punto de muestreo.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4. Índices (ICOS) correspondientes a los puntos de muestreo y tabla de valores comparativos de contaminación.....</i>	<i>54</i>

Índice de figuras

Figura 1. Quebrada El Riolindo en la Vereda La Bella.....	8
Figura 2. Quebrada El Ruicito en la Vereda La Bella.....	9
Figura 3. Área de influencia de estudio.....	24
Figura 4. Diferencia de zonas en el área de estudio.....	25
Figura 5. Fases de Metodología.....	27
Figura 6. Mapa de localización de puntos de muestreo.....	27
Figura 7. Toma de muestras Red Surber.....	29
Figura 8. Abundancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de clase.....	38
Figura 9. Abundancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de clase (Gastropoda).....	38
Figura 10. Abundancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de clase (.Insecta).....	39
Figura 11. Organismos de familias del orden díptera	40
Figura 12. Organismo de familia Coridalidae.....	41
Figura 13. Organismo de familia Hydropsychidae.....	42
Figura 14. Organismo de familia Libellulidae.....	43
Figura 15. Organismos de familias del orden hemíptera.....	44
Figura 16. Organismo de familia Elmidae.....	45
Figura 17. Organismo de la familia Sphaeridae.....	46
Figura 18. Clases de calidad del agua, para las quebradas Riolindo y El Ruicito.....	48
Figura 19. Conductividad eléctrica del agua.....	51
Figura 20. Temperatura del agua.....	52
Figura 21. Sólidos disueltos del agua.....	52

Figura 22. Oxígeno disuelto del agua	53
---	----

Figura 23. Análisis de correspondencia canónica (CCA) entre los meses, puntos de muestreo y variables ambientales	55
--	----

Índice de Anexos

<i>Anexo A: Localización de puntos</i>	62
<i>Anexo B: Gráficas Análisis Estadístico</i>	64
<i>Anexo C: Valores Fisicoquímicos</i>	82
<i>Anexo D: Índices Ecológicos</i>	83
<i>Anexo E: Registro Fotográfico</i>	84
<i>Anexo F: Valor Agregado y Trabajo Social</i>	86

Índice de contenido

1. Introducción.....	1
2. Marco de referencia.....	4
2.1 Río Bogotá.....	4
2.2 Sub cuenca Rio Calandaima.....	6
2.2.1 Quebrada El Riolindo.....	7
2.2.2 Quebrada El Ruicito.....	8
2.3 Macroinvertebrados Bentónicos.....	10
2.4 Bioindicación.....	11
2.4.1 Los macroinvertebrados como bioindicadores.....	11
2.5 Bioindicación en ríos.....	13
2.6 Índices de contaminación del agua.....	14
2.7 Índices Ecológicos.....	14
2.8 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	14
3. Pregunta de investigación.....	19
4. Justificación.....	20
5. Objetivos.....	22
5.1 Objetivo General.....	22
5.2 Objetivos Específicos.....	22
6. Planteamiento del problema.....	23
7. Métodos.....	24
7.1 Área de estudio.....	24
7.1.1 Toma de datos y variables evaluadas.....	26
7.1.2 Método para la obtención y análisis de resultados fisicoquímicos.....	28
7.1.3 Condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico.....	28
7.1.4 Método para la colecta de macroinvertebrados bentónicos.....	28
7.2 Fase de campo.....	29
7.3 Fase de laboratorio.....	30
7.4 Diseño estadístico.....	30
7.4.1 Índices ecológicos.....	31
7.4.1.1 Índice de Pielou.....	31
7.4.1.2 Índice de Shannon.....	31
7.4.1.3 Índice de Simpson.....	32
7.4.2 Índices de contaminación del agua (ICA).....	32
7.4.3 Índices de contaminación ICOMI.....	33
7.4.4 Índice de contaminación ICOMO.....	33
7.4.5 Índices de contaminación ICOSUS.....	34
7.4.6 Índices de contaminación por trofia ICOTRO.....	34
7.4.7 Índices de contaminación ICOpH.....	35
7.5 Índice Biológico BMWP/ASPT.....	35
7.6 Análisis de correspondencia canónica (CCA).....	36

8. Resultados y discusión.....	37
8.1 Índice BMWP/Col.....	46
8.2 Índices Ecológicos.....	48
8.3 Variables fisicoquímicas.....	50
8.4 Índices de contaminación	53
8.5 Análisis de correspondencia canónica.....	54
8.6 Valor agregado, trabajo social.....	55
9. Conclusiones.....	57
10. Bibliografía.....	59

Resumen

Los diferentes cuerpos de agua de origen natural o antrópico tienen características físicas, químicas y biológicas que determinan las comunidades que pueden habitarlo. Los componentes de las comunidades hidrobiológicas establecen criterios claves los cuales hacen posible el ensamblaje, el desarrollo y la tolerancia de acuerdo a las condiciones del medio, de esta manera la presencia de las diferentes especies permiten determinar cuál es el estado del cuerpo de agua. El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del agua de la quebrada El Riolindo y la Quebrada El Ruicito en el municipio de Viotá. El trabajo en campo consistió en realizar monitoreos entre los meses de Julio a Diciembre de 2015, en 7 puntos de muestreo donde se tuvieron en cuenta factores antrópicos que pudieran estar afectando los dos sistemas. Los monitoreos se evaluaron de forma cuantitativa, además de medirse las características fisicoquímicas y microbiológicas de las quebradas.

Se encontraron correlaciones entre los puntos de muestreo y las variables pH, alcalinidad, dureza, conductividad y sólidos disueltos, las variables DBO, DQO, alcalinidad, presentaron diferencias significativas para la quebrada El Riolindo. La diversidad y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados en el estudio, el índice de similaridad de Bray-Curtis reportó que para los puntos 1 y 2 se presenta la mayor similaridad con un 70% respecto a los puntos ubicados después de la división de las dos quebradas.

Los macroinvertebrados bentónicos presentaron una tendencia a la uniformidad en todos los puntos ($J' > 0.6$), diversidad y dominancia baja ($H' < 2.0$ y $D_s < 0.4$), la bioindicación de

las familias según el índice BMWP/aspt sumado a la baja diversidad de especies que se registraron en los puntos 2 al 7 se sugiere que tales sitios presentan muy mala calidad de agua.

Los índices de contaminación del agua (ICA) muestran puntos de monitoreo ligeramente contaminados y muy contaminados, teniendo en cuenta que todos los valores de las variables fisicoquímicas y microbiológicas se encuentran dentro de los rangos legalmente permitidos según el Decreto 1775 de 2007.

Abstract

The different water bodies of natural or anthropogenic origin have physical, chemical and biological characteristics that determine the communities that can inhabit. The components of hydrobiological communities establish key criteria which make possible the assembly, development and tolerance according to environmental conditions, thus the presence of different species can determine what the state of the water body. The aim of this study is to evaluate the water quality of streams El Riolindo y El Ruicito in the town of Viotá. The field work was to conduct monitoring in the months of July, August, September, October and December 2015, on 7 sampling points where human factors that might be affecting the two systems were taken into account. The monitoring were evaluated quantitatively also measured the physicochemical and microbiological characteristics of streams.

Correlations between sampling points and different variables pH, alkalinity, hardness, conductivity and dissolved solids were found, considering that the last significant differences variables points for the cute river gorge. Similarly, given the diversity and abundance of macroinvertebrate community in the study, the similarity index of Bray-Curtis reported that for points 1 and 2 the greatest similarity exists with 70% for the points located after the division of the two streams.

The macroinvertebrate showed a tendency towards uniformity in all points ($J' > 0.6$), diversity and low dominance ($H' < 2.0$ and $D_s < 0.4$), on the other hand bioindication of families according to BMWP / ASPT index added the low diversity of species recorded in paragraphs 2 to 7 is suggested that such sites have very poor water quality.

Finally the pollution (ICO) show points slightly contaminated and highly contaminated monitoring, taking into account all the values of the physicochemical and microbiological variables are within the legally allowable ranges according to Decree 1775 of 2007.

1. Introducción

El agua es considerada como un recurso fundamental y elemental para el desarrollo de las actividades socioeconómicas humanas y para los procesos productivos biológicos (Triana & López, 1998). Especialmente su importancia en cuanto impacto en la actualidad radica en condiciones de cambio climático, la disponibilidad y la calidad de la misma (IDEAM, 2002).

Colombia cuenta con un importante potencial al crecimiento biológico y humano debido a la riqueza hídrica que presenta el país, se registra una precipitación anual cercana a los tres mil milímetros en el área continental que abastece a sistemas lóticos y lénticos, tienen un rendimiento de 50 L/seg por Km² que sextuplica la cantidad promedio mundial y triplica la cifra obtenida para Latinoamérica (Marín 2010).

Es de mencionar que el recurso hídrico del país, significativamente proviene de ecosistemas montañosos, dentro de estos los páramos ubicados sobre y a más de 3000 m.s.n.m. con un papel determinante y estratégico en el almacenamiento, regulación hídrica, recarga de acuíferos y nacimiento de cuencas que abastecen a las poblaciones (IDEAM, 2002). Los páramos en Colombia abarcan un área total estimada en 1'933.000 en hectáreas, con la mayor representatividad 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).

La importancia del agua como elemento de desarrollo económico y de bienestar social de los municipios, la política nacional se ha enfocado en brindar las pautas que demuestran un

estudio y manejo eficiente para el uso eficiente de las cuencas hidrográficas que permitan garantizar la sostenibilidad del recurso. En el estudio de cuencas se realiza una evaluación integral del recurso, consolidando información de las comunidades biológicas, características físico-químicas y usos del agua, la cual es información que sirve para ejecutar un seguimiento al estado del mismo a través del tiempo (CRC, 2010).

Con el fin de tener un diagnóstico de seguimiento del recurso hídrico, las comunidades que conforman el ambiente acuático como necton, plancton, perifiton y macroinvertebrados, se consideran de mayor relevancia ecológica ya que describen la dinámica del medio y sus variaciones en el tiempo, dando una base para establecer el estado de la calidad de los ríos y quebradas (Hernández et al, 2005)

Para el caso particular de los macroinvertebrados bentónicos quienes poseen una amplia distribución y un determinado comportamiento de tolerancia o de rangos óptimos para el desarrollo frente a las diferentes variables fisicoquímicas, por lo que son utilizadas de manera acertada para evaluar de manera primaria cual debe ser el proceso de ordenamiento de una cuenca (Walteros & Daza, 2009).

Por estas razones el objetivo central de este trabajo se dirigió a evaluar el estado de la calidad del agua, esto en dos quebradas ubicadas en la vereda la bella en el municipio de Viotá Cundinamarca, en donde a través de los macroinvertebrados bentónicos los cuales son bioindicadores que permiten determinar la calidad del recurso hídrico frente a la presencia y/o intervención antrópica en una determinada zona, a través de factores como los cultivos de café, cítricos, la avicultura, la porcinería y la ganadería entre otros.

Otro factor del déficit hídrico en las sub cuencas ha sido potencializado por la acción deforestadora lo cual ha ocasionado disminución en la capacidad de retención de las microcuencas, pero también por el aumento descontrolado del consumo del agua que también se ven influenciados por la ausencia de aguas negras, pozos sépticos y alcantarillado en la zona.

La calidad del agua disponible para las poblaciones aledañas a las sub cuencas del río Bogotá en el municipio de Viotá, han sido poco estudiadas y no se conocen estudios preliminares de sus componentes biológicos, inclusive los que interactúan con las especies de macroinvertebrados acuáticos presentes en aguas superficiales.

2. Marco de referencia

La evaluación de los recursos hídricos como herramienta para diagnosticar los problemas del agua ante la dinámica y la relación a los impactos antrópicos o biológicos, a lo largo del tiempo han sido de gran importancia para el óptimo desarrollo de los recursos hídricos, a través de estos permite plantear bases para enfrentar y crear infraestructura para satisfacer las necesidades. Sin embargo a medida que las condiciones ambientales van cambiando es necesario incorporar factores que faciliten la evaluación de los recursos por medio de factores que ayuden a entender su complejidad (Naciones Unidas, 2015).

Este estudio tiene como base fundamental el monitoreo y diagnóstico de dos quebradas en la subcuenca del Río Bogotá, que son algunas de las encargadas de abastecer al Río Calandaima el cual está localizado en la vertiente izquierda de la parte baja de la cuenca del Río Bogotá; el gradiente altitudinal oscila entre 2800 m.s.n.m a 450 m.s.n.m por lo que se presentan oscilaciones climáticas.

2.1 Río Bogotá

De acuerdo con el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, se encuentra localizado en el departamento de Cundinamarca junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Macheta. Se encuentran dentro del grupo de corrientes de segundo orden del departamento. Tiene una superficie total de 589.143 hectáreas las cuales corresponden cerca del 32% del total de la superficie departamental.

La cuenca del río Bogotá está limitada por el extremo norte con el departamento de Boyacá, en el extremo sur con el departamento del Tolima, al occidente con los municipios de Buima, Guayabal de Siquima, Alban, Sasaima, La vega San Francisco, Supata y Pacho y al oriente, con los municipios de Nilo, Tibacuy, Silvania, Chipaque, Ubate y Choachi (CAR, “006).

El río Bogotá es la principal cuenca que constituye la corriente principal ya que recorre desde su nacimiento en el municipio de Villapinzón a los 3300 m, presentándose como la subcuenca río alto Bogotá, hasta su desembocadura al río Magdalena a los 280 m, en el municipio de Girardot, denominada subcuenca río bajo Bogotá Apúlo-Girardot, con un recorrido total de 308 kilómetros.

El 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado ha quebrado, con pendientes entre 12 y 25 %; le sigue en importancia el relieve fuertemente quebrado con pendientes entre 25 y 50 %. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan de forma general en toda la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y en la parte baja de la cuenca, donde predominan las pendientes entre 0 y 7 % y los relieves planos, ligeramente plano, ligeramente inclinado y ligeramente ondulado (Liévano, 2007).

En su caracterización climatológica la cuenca registra una precipitación entre 400 y 2200 milímetros anuales, en menor nivel las subcuencas río Soacha y el sector alto Soacha y los lugares de mayor precipitación se registran las subcuencas del embalse del Tominé y el río Teusacá (CAR, 2015).

La hidrología de la cuenca presenta una oferta hídrica en dos escenarios, meses secos y meses húmedos, considerando un periodo crítico en temporada de sequía, la demanda actual de la

cuenca a partir del uso actual del suelo, de los estimativos de la población, tanto a nivel de las cabeceras municipales como de las veredas que se encuentran localizadas en las subcuencas determinan la demanda de agua, considerando los usos domésticos, agropecuarios, industriales y ecológicos (CAR, 2015).

En las subcuencas predominan los sistemas hidrogeológicos de sedimento y rocas con limitados recursos de agua subterránea en el que se presentan acuitardos y acuíferos con capacidad específica inferior a 0.01 litros/segundos/metros, es decir de muy baja productividad.

De acuerdo al pomca, 2009, las coberturas vegetales se presentan principalmente en las subcuencas de la parte media y baja de la cuenca del Río Bogotá predominando el bosque andino, bosque secundario, bosque de galería, rastrojo, bosque plantado, vegetación xerofítica, matorral de clima frío, pastos, cuerpos de agua, embalses, explotaciones mineras, áreas sin vegetación, centros urbanos y suburbanos (Sánchez, 2014).

2.2 Sub cuenca Río Calandaima

La subcuenca del río Calandaima se ubica en la vertiente izquierda de la parte baja de la cuenca del Río Bogotá, el gradiente latitudinal oscila entre 2800 m a 450 m por lo que se presentan condiciones climáticas variables. Recibe las aguas de las microcuencas Campos, La palma, La Sanjuana, La Ruidosa, El Riolindo, El Ruicito, Colorada, Modelia y Azufrada (Méndez, 2014).

La subcuenca del Calandaima nace en la cuchilla de Peñas Blancas y desemboca en la cuenca del Río Bogotá. Dentro del municipio de Viotá, la longitud que recorre es de 30 kilómetros,

desde su nacimiento en la laguna Las Palmas hasta donde el río abandona el municipio, sitio que concuerda con la desembocadura de la microcuenca La Torcaza.

Cante, 2009 reporta una superficie de la vertiente Norte o del Calandaima propiamente dicha de 7.571 Ha. El área total de influencia o superficie de cuenca del Calandaima (dentro del municipio), es de 17.949 Ha.

La subcuenca del Calandaima se clasifica dentro del flanco occidental de la cordillera oriental, en la interconexión de los valles medio y superior del río Magdalena y esta geológicamente constituida por rocas sedimentarias marítimas y continentales de edad cretácica y cuaternaria. Litoestratificamente la constituyen las formaciones Villeta y Guadalupe principalmente, predominando las pendientes fuertes (Mayores al 30%) y el relieve escarpado. Los suelos son de profundidades medias a profundas, regularmente drenado, de textura franca a franca-arcillosa, de alta capacidad de intercambio, de fertilidad moderada a baja, e inestables (Cante, 2009).

Dentro de los afluentes principales del río Calandaima dentro del municipio de Viotá se destacan las quebradas El Riolindo y El Ruicito las cuales son corrientes tributarias del Calandaima con una dirección predominante Norte – Suroccidente.

2.2.1 Quebrada El Riolindo

La microcuenca del Riolindo recorre 16.04 kilómetros, desde su nacimiento en la cuchillas de Peñas Blancas, hasta su desembocadura en la subcuenca del Río Calandaima. Tiene un área de influencia o superficie de cuenca de 5.235 Ha y conforma la Vertiente Central del municipio de Viotá. (Cante, 2009).

Figura 1. Quebrada El Riolindo en la vereda La Bella



Fuente: El Autor

Se caracteriza por presentar los tres pisos térmicos: cálido, templado y frío, con alturas desde 500 hasta 2600 m. Presenta una temperatura promedio de 18 a 26 grados centígrados.

2.2.2 Quebrada EL Ruicito

La microcuenca de la quebrada EL Ruicito recorre 21.32 kilómetros desde su nacimiento en la laguna del indio ubicada en la cuchillas de peñas Blancas; hasta su desembocadura en la subcuenca del Río Calandaima. Se caracteriza por presentar un ecosistema de bosque Alto Andino. Es uno de los principales potenciales hídricos de aguas subterráneas en la microcuenca, se encuentra afectado por los residuos líquidos de letrinas, la disposición de residuos sólidos a cielo abierto y por la falta de protección en los pozos de extracción (Cante, 2009).

Figura 2. Quebrada El Ruicito en la vereda La Bella



Fuente: El Autor

Presenta una temperatura promedio de 18 a 26 grados centígrados y reporta una precipitación entre 1200mm/año y 3000 mm/año. Es una zona bimodal donde los meses de marzo, abril, octubre y noviembre son lluviosos. Durante todo el año se presentan lluvias ocasionales de carácter torrencial y de alto poder erosivo, sin embargo presenta un déficit hídrico medio anual de 90 mm (Cante, 2009).

Las dos microcuencas del presente estudio no cuentan con ningún tipo de plan de manejo de cuencas hidrográficas o estudios elaborados por el municipio de Viotá el cual se beneficia por sus aguas, los esquemas de ordenamiento territorial de los municipios únicamente nombran a las microcuencas como fuente de abastecimiento y aprovechamiento agrícola y en las políticas regionales como puntos clave para proteger el recurso hídrico existente.

La cuenca del Calandaima y las microcuencas que lo componen, en un alto grado carecen de adecuada cobertura vegetal lo que ligado con las condiciones climáticas adversas y a las características de resistencia de los suelos y el material parental a los procesos erosivos, actúan negativamente sobre el recurso edáfico deteriorándolo, presentando el área (en algunos puntos específicos) problemas de remoción de masa, carcavamiento, socavamiento y reptación, entre otros. La cuchilla de peñas blancas se ha visto perjudicada por la deforestación que han hecho los colonos que habitan la región. Esto ha generado que

nacimientos de quebradas desaparezcan y con ellos las rondas, debido a una mala planificación de los productores quienes talan continuamente el bosque para aumentar la capacidad productiva de sus parcelas, sin percatarse del problema que generan a las zonas más bajas del municipio, las cuales se ven afectadas principalmente en época de verano con la disminución gradual del caudal de las aguas y en muchos casos por la ausencia total del agua (Sánchez & Cárdenas, 2010).

2.3 Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad incluye a todos los organismos que viven en el fondo de los cuerpos de agua, se encuentran enterrados o sobre el sedimento, adheridos a piedras, rocas o cualquier otro sustrato (Roldán & Ramírez, 2008). Las zonas más propicias para representar las mayores diversidades son las áreas someras cercanas a las orillas (zona litoral), ya que el oxígeno y las fuentes de alimento disminuyen a medida que aumenta la profundidad (Roldán, 2003). La composición de los organismos bentónicos dependen de la calidad del agua y los sustratos de los sistemas en los que se encuentren (Ramírez y Viña 1992).

Los macroinvertebrados bentónicos han sido utilizados ampliamente como indicadores de la calidad del agua, esto debido a que cumplen varias de las características que tienen los bioindicadores, como por ejemplo, una excelente diversidad de organismos, variedad en los requerimientos ecológicos fisicoquímicos y de hábitat, entre las presiones fisicoquímicas que se pueden detectar con este grupo se encuentran, la contaminación térmica y orgánica, cambios en la mineralización del agua y eutrofización del sistema (confederación hidrográfica del Ebro, 2005).

Los principales grupos representativos para los macroinvertebrados acuáticos son de varios filo, como Platyhelminthes, annelida y mollusca siendo el más representativo el grupo de

Arthropoda, dentro de este la clase Hexapoda (Merritt & Cummins, 1996; Lievano & Ospina, 2007).

2.4 Bioindicación

Los efectos que alteran las condiciones del medio ambiente donde se ha establecido una comunidad pueden evidenciarse a diferentes niveles. Si la perturbación es muy amplia como es el caso de la contaminación por vertimientos domésticos que causan el agotamiento de oxígeno del agua, los efectos se van a evidenciar a nivel de comunidad con la única presencia de algunas especies tolerantes. Si hablamos de perturbaciones medias como es el incremento de nutrientes puede dar lugar a otros cambios menos drásticos como la desaparición de algunas especies o por el contrario el incremento de la densidad de otras más tolerantes al factor de estrés. Si fuera del caso de algunas perturbaciones como un ligero aumento de sales pueden ser poco variables en la estructura de la comunidad.

Los cambios a nivel de comunidad y ecosistema se conocen como cambios en la salud ecológica, pero hay muchos términos, integridad ecológica, estado ecológico, calidad ecológica entre otros. En este trabajo se mantendrá calidad biológica que indica los cambios estructurales medidos mediante la comunidad de organismos de macroinvertebrados bentónicos, ya que tiene un sentido más amplio además de la calidad biológica que integra otros cambios a nivel de ecosistema como la hidrología, la hidromorfología, la fisicoquímica o la vegetación ribereña. (Lievano, 2007).

2.4.1 Los macroinvertebrados como bioindicadores

Los macroinvertebrados son organismos son ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad por diferentes circunstancias, entre las que se destacan (Bonada *et al*, 2006):

- Su amplia distribución geográfica y sus diferentes ambientes

- Tener una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuesta a los gradientes ambientales.
- Ser la mayoría sedentario, permitiendo el análisis espacial de la contaminación.
- Algunas especies presentan ciclos de vida largos por que integran efectos de la contaminación en el tiempo.
- Su colecta es de forma sencilla y económica.
- La taxonomía en general es muy estudiada a nivel de familia y género.
- Se conoce la sensibilidad de la mayoría de los taxa a diferentes tipos de contaminación.

Son algunas de las condiciones que brindan para ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua.

2.4.2 Bioindicadores en ríos

Los bioindicadores a nivel de comunidad requieren la transformación de los datos (presencia o abundancia de los diferentes taxa), el número total de taxa o la diversidad son medidas métricas cualitativas o cuantitativas aplicadas en el estudio de los macroinvertebrados que utilizan como factor clave la tolerancia de los diferentes taxa a una perturbación determinada, a partir de estas métricas primarias se derivan otras combinaciones generando índices multimétricos, los cuales son un método propuesto recientemente en la evaluación de la calidad de los ríos. Integrar las variables fisicoquímicas del agua junto con un grupo de macroinvertebrados como bioindicadores permiten obtener datos en cuanto a la funcionalidad de la comunidad de organismos. Características propias de un sistema relacionadas con la perturbación que se quiera estudiar (Fernández & Domínguez, 2010).

Una métrica utilizada en la actualidad es el número de taxa de algunos grupos de organismos acuáticos seleccionados, el total de efemerópteros, plecópteros y tricópteros o el porcentaje de individuos de cada uno de los tres órdenes, son patrones de referencia en la bioindicación

con macroinvertebrados ya que son un grupo intolerante a la contaminación por lo que su número disminuye con el aumento de esta. Estas medidas métricas son indispensables y los estudios de calidad de agua especialmente en ríos ya que han sido adaptadas para dicho cuerpo de agua. (Fernández & Domínguez, 2010).

2.5 Índices de contaminación del agua (ICA)

De acuerdo a Ramírez AÑO, los índices de contaminación especifican el tipo de contaminación existente en una corriente, el procedimiento metodológico se fundamenta de acuerdo a sus variables:

- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos.
- índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas.
- Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos.

- Índice de contaminación trófico (ICOTRO): se determina en esencia por la concentración del fósforo total (Franco, 2011)

2.6 Índices Ecológicos

- Índice Shannon

En los ecosistemas naturales este índice varía entre “0” y no tiene límite superior. $H' = 0$ solamente cuando hay una sola especie en la muestra y H' es máxima cuando las especies están representadas por el mismo número de individuos. El valor máximo suele estar cerca de 5, pero hay ecosistemas excepcionalmente ricos que puede superar este valor.

- Índice Simpson

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974). Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$ (Lande, 1996).

- Índice Margalef

Este método puede determinar el número de especies y el número de individuos en un ecosistema; comparando la riqueza de especies entre las muestras recogidas de diferentes hábitats (Ramírez, 2007).

2.7 Parámetros físicoquímicos y microbiológicos

- Temperatura

La temperatura influye en el metabolismo de las especies, en productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al

interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización (Gómez, 2009).

- Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno es una sustancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivos tanto acuáticos como terrestres. Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esta forma cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y, consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno (Morales *et al*, 2007)

El pH (Índice de Ion de hidrógeno), es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues proveen muchas informaciones con respecto a la calidad del agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Generalmente un pH muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales (Monroy, 2013)

- Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica en el agua. En las

aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, los carbonatos, los sulfatos y los cloratos (Laboratorios Britania, 2013). Estos parámetros se relacionan directamente con los factores ambientales que se encargan de mantener el ensamblaje de las diferentes comunidades de acuerdo a los rangos de tolerancia que presente cada uno de los individuos.

- Sólidos totales suspendidos

Los sólidos suspendidos, como parámetro, miden la presencia de materiales corpusculares de tamaño mayor que unos 10⁻³ milímetros. Si fuesen menores se clasificarían como materiales coloidales (10⁻⁶ a 10⁻³ mm) o, definitivamente, como especies disueltas (menores que 10⁻⁶ mm). Además, los sólidos mayores que unos 10⁻² mm se definirían, como sólidos sedimentables pues su tamaño es tal que caen por si mismos al dejarlos en agua quieta, los sólidos suspendidos, en cambio y tal como su nombre lo indica, permanecen en suspensión y sólo pueden ser retirados por una barrera física, como por ejemplo, un filtro (Rubio, 2014). Se relacionan con los problemas de contaminación y eutrofización en términos de materia orgánica mostrando una presencia o ausencia de especies claves en el sistema acuático.

- Nitratos

En los nitratos está presente el anión nitrato (NO₃⁻), éste se forma al unirse el nitrógeno en estado de oxidación con tres oxígenos. Los nitratos (que derivan en nitritos en condiciones reductoras) originan un problema poco común de contaminación, además de estimular la eutrofización. Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea etc. En esta descomposición se forma amoníaco o amonio respectivamente. El agua que contiene altas concentraciones de nitratos y que se emplea en alimentación de niños de seis meses, puede ser causa de una

condición llamada metahemoglobinemia (Londoño, 2010). En términos de bioindicación biológica para calidad de agua los nitritos son los principales encargados en establecer la relación en los cambios ambientales de los Macroinvertebrados bentónicos principalmente se relacionan con la disponibilidad de oxígeno, estableciendo la población o por lo contrario limitándola en las diferentes zonas de monitoreo.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias bajo condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO₂ y H₂O. Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable (Álvarez, 2012)

- Sulfatos

El ión sulfato es uno de los principales aniones que se encuentran en aguas naturales. Los sulfatos llegan al medio acuático por los desechos provenientes de múltiples industrias. El dióxido de azufre atmosférico, que se libera por la combustión de hidrocarburos también puede contribuir al contenido de sulfatos del agua. El trióxido de azufre producido por la oxidación fotolítica o catalítica del dióxido, se combina con el vapor de agua y precipita como lluvia ácida. La concentración de sulfatos en la mayor parte de las aguas dulces es muy baja. Las dosis de sulfato de 1.0 a 2.0 gramos tienen efecto catártico en las personas, dando como resultado la purga del canal alimentario (Álvarez, 2012), la presencia de sulfatos genera en el ecosistema un alto impacto en cuanto a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, muestran una alta contaminación logrando una alta compresión en el ecosistema

debido a las altas concentraciones, logrando un cambio en el tipo de sustrato y una complejidad en el espacio temporal del hábitat físico (Rubio, 2014).

- Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida del equivalente en oxígeno del contenido de materia orgánica en una muestra que es oxidable utilizando un oxidante fuerte. Es diferente a la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pues la DBO mide sólo la fracción orgánica oxidable biológicamente. Es importante obtener una medida de la DQO en aguas residuales de refinería pues estos residuos, con frecuencia, contienen contaminantes orgánicos no biodegradables (Álvarez, 2012). La variable DQO se relaciona directamente con la materia orgánica que presente el punto de monitoreo, la falta de oxígeno altera la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos disminuyendo su riqueza y alterando la estabilidad de la fuente hídrica (Galindo, 2012).

3. Pregunta de Investigación

¿Cómo influye el estado de la calidad del agua en la dinámica temporal de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca baja del río Bogotá para las quebradas El Ruicito y El Riolidio en el municipio de Viotá?

4. Justificación

Los macroinvertebrados acuáticos se encuentran dentro de los animales invertebrados, los cuales no se consideran un grupo natural debido a que son muy variados, están constituidos por muchos linajes evolutivos debido a su gran rango de organismos, estos se caracterizan por no tener columna vertebral, su nombre de macroinvertebrados viene de un rango de tamaño medido por micras dentro de los organismos que se observan a simple vista, lupa o estereoscopio. Dentro de estos se encuentran varios grupos como anélidos, platelmintos y moluscos, en su mayoría artrópodos e insectos. (Liévano, 2007)

En los sistemas acuáticos las poblaciones de organismos se encuentran en diferentes hábitats que les permite sobrevivir a las condiciones variables encontradas en el ambiente. En el caso del neuston que hace referencia a los organismos que habitan sobre el agua, el plancton que se localiza en la columna de agua y el bentos que habita en contacto a sustratos fijos o del fondo del río, los macroinvertebrados bentónicos y su composición son indicadores del estado actual del cuerpo de agua a estudiar. (Liévano, 2007)

Los organismos que habitan en los cuerpos fluviales manifiestan adaptaciones a las diferentes condiciones ambientales, permitiéndoles sobrevivir dentro de ciertos límites de tolerancia frente a las diferentes variaciones de los factores ambientales. Estos niveles de tolerancia van a depender de una especie a otra, de un grupo a otro, dependiendo de las alteraciones que presente el medio, a esto se le atribuye que encontramos organismos sensibles, los organismos que no toleran las nuevas condiciones intolerantes que no soportan los cambios, y los tolerantes que soportan los cambios ambientales.

Si el nivel de perturbación de los diferentes factores ambientales llega a un nivel letal en el caso de los intolerantes, estos mueren y su lugar será ocupado por comunidades de organismos tolerantes (Liévano, 2007)

Si por el contrario la perturbación no sobrepasa el nivel letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada y disminuyen el tamaño de sus poblaciones dando paso a que los organismos tolerantes habiten dicho lugar.

Por esta razón las variaciones en los cuerpos de agua en cuanto a su composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los ríos, son interpretadas como episodios de algún tipo de disturbio ambiental.

Gracias al aporte de los macroinvertebrados, se consideran como los principales bioindicadores del estado del agua, especialmente de aquellos cuerpos de agua que afectan la integridad de los ecosistemas, sin embargo son un gran aporte también a la hora de tomar medidas de recuperación y restauración ecológica.

Teniendo en cuenta las condiciones de la zona se hace necesario realizar un estudio de calidad de aguas para las quebradas El Riolindo y El Ruicito, debido a la importancia que tienen en la zona. Siendo estas las principales fuentes de abastecimiento para la comunidad de la vereda y por ser tributarios al Río Calandaima (Fuentes, 2007).

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Evaluar la calidad de agua mediante parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y biológicos de las Quebradas El Riolindo y El Ruicito en el municipio de Viotá, Cundinamarca.

5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la diversidad y abundancia de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en las quebradas El Ruicito y El Riolindo.
- Estimar la dinámica temporal de macroinvertebrados bentónicos.
- Relacionar los índices ecológicos, índices de contaminación (ICOS), BMWP y ASPT con la calidad ambiental del agua.

6. Planteamiento del problema

Las actuales problemáticas ambientales tales como el calentamiento global, la sobreexplotación y uso del suelo y la explotación minera que afectan la zona, son problemas que incentivan a la escases del recurso hídrico, ya sea por épocas de sequía o por fenómenos como el del niño, quienes hacen que el municipio de Viotá demarcado por la subcuenca del Río Calandaima en la parte baja de la cuenca del Río Bogotá en el Departamento de Cundinamarca-Colombia, se vea en la necesidad de abastecerse de las quebradas El Riolindo y El Ruicito disminuyendo su cauce y ampliando la problemática ambiental de la zona.

De otro lado y considerando este como un factor importante la población económicamente se dedica a la agricultura, como son los cultivos de café, arboles cítricos, Aguacate, avicultura, porcinería y ganadería son algunas de las actividades que se realizan en la zona.

Finalmente es de resaltar que dentro de la zona de estudio no se cuenta con un alcantarillado y un acueducto que sea el encargado de abastecer cada una de las fincas aledañas a las quebradas, por el contrario la población se ve en la necesidad de abastecerse del agua que traen las quebradas El Riolindo y El Ruicito por medio de mangueras de diferentes pulgadas. El agua no recibe ningún tratamiento y es tomada son ningún tipo de desinfección.

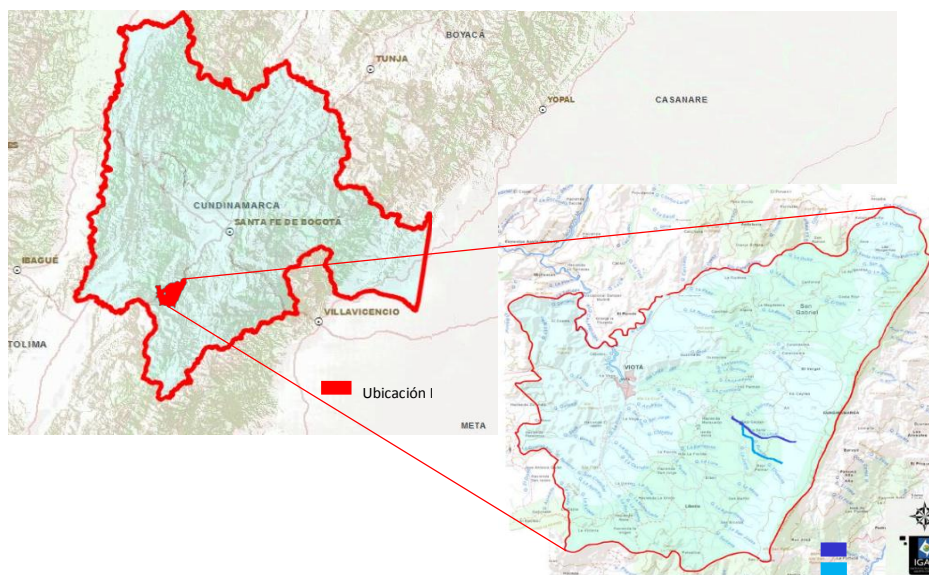
7. Métodos

7.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en la vereda La Bella, área rural del municipio de Viotá, departamento de Cundinamarca ubicada a $74^{\circ}28'07.6''$ N, $4^{\circ}25'22.0''$ W y a 1247m de altitud. Las quebradas El Ruicito y El Riolindo atraviesan la vereda que presenta un terreno montañoso, con suelos de tipo andosoles con un color negro general del horizonte superior debido a la alta tasa de materia orgánica. El valor promedio de humedad relativa esta entre 65 a 96% y una temperatura promedio de 27°C .

La principal cuenca hidrográfica es el Río Calandaima donde desembocan las quebradas El Riólindo y El Ruicito, fuentes hídricas importantes para el abastecimiento de Viotá y municipios aledaños. Esta vereda cuenta con un sendero ecológico el cual es un Santuario de plantas exóticas y medicinales (Lozano, 2015).

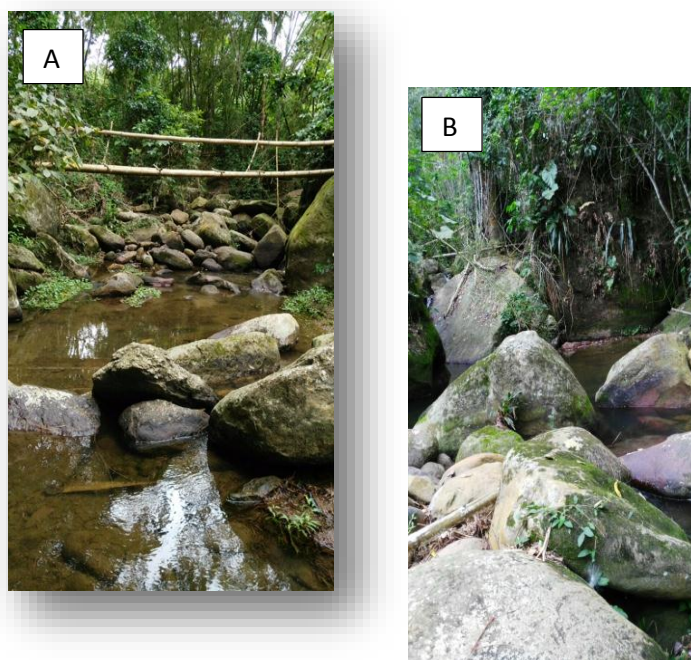
Figura 3. Área de influencia del estudio



Fuente IGAC, 2016; gobernación de Cundinamarca, Secretaria de planeación VIOTA-25878

En la zona de estudio se observa una amplia franja de cobertura vegetal del 15% de especies propias del ecosistema. Géneros como *Desmodium sp.*, *Ochroma sp.*, *Inga sp.*, *Hypericum sp.* Entre otras son endémicas del lugar. A diferencia de *Guadua angustifolia* y *Coffea sp.* Que son plantas introducidas por la población debido a que son base de la economía de la zona.

Figura 4. Diferenciación de zonas en el área de estudio A) Quebrada El Riolindo B) Quebrada El Ruicito



Fuente: El Autor

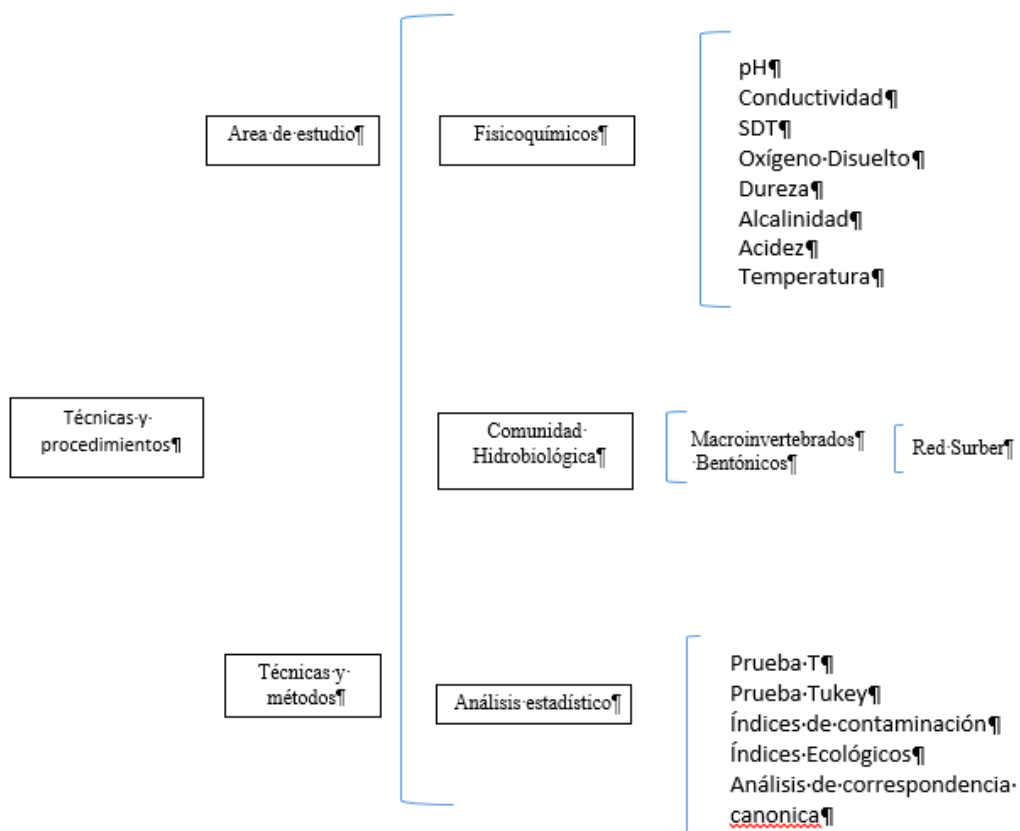
Las quebradas El Ruicito y El Riolindo cuentan con características similares, son sistemas hídricos de aguas lólicas que nacen en una zona conocida como el altillo, a medida que el cauce avanza aguas abajo se ve afectado debido a los efectos antrópicos que causan los cultivos de café, árboles frutales (cítricos y aguacate), la avicultura, porcinería, ganadería entre otros que vierten sus químicos a los causes. Adicional a esto el agua es captada para usos domésticos a través de mangueras.

En la zona el clima es bimodal lo que causa sequias adicionales a los fenómenos del niño que prevalecieron en la época de estudio.

7.1.1 Toma de datos y variables evaluadas

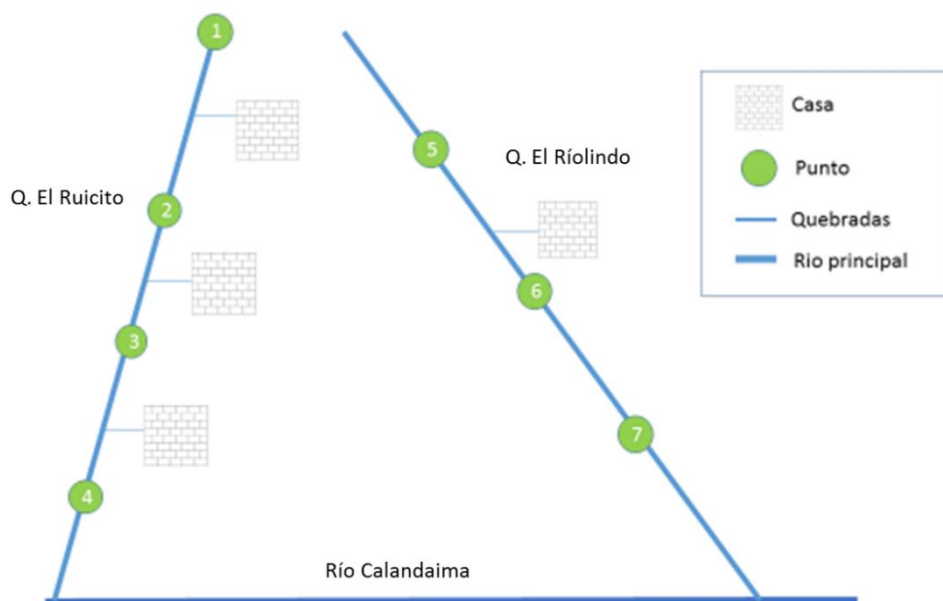
Los datos y variables que se tuvieron en cuenta para esta investigación se establecieron de acuerdo a los requerimientos de seguimiento del Decreto 1729 de 2002. El desarrollo metodológico se divide en dos fases, fase de campo (colecta y toma de datos), fase de laboratorio (análisis de las muestras). Los métodos utilizados siguen los parámetros establecidos por la Guía Técnico Científica para la Ordenación y Manejo de cuencas Hidrográficas en Colombia del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y el Standard Methods Edition 2012.

Figura 5. Fases de la metodología



Fuente: El Autor

Figura 6. Mapa de localización de puntos de muestreo



Fuente: El Autor

Se seleccionaron 7 puntos para la toma de parámetros fisicoquímicos y la recolección de macroinvertebrados bentónicos. Se fijaron tramos fijos que fueron marcados de forma no perecedera con cinta fluorescente teniendo en cuenta las coordenadas de cada uno de los puntos y las posibles alteraciones antrópicas que se evidencian en la zona de monitoreo, entre los puntos, se estimó una separación de 150 metros aproximadamente con respecto al siguiente punto (Figura 6).

Se hicieron muestreos en las dos subcuencas, en las quebradas El Riolindo y El Ruicito entre los meses de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre de 2015 un monitoreo correspondiente a cada mes, abarcando el final de altas precipitaciones teniendo en cuenta que la zona de estudio es bimodal iniciando en Julio época de precipitaciones altas, mientras (agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre) coinciden con la época del fenómeno del niño, lo cual presenta zonas de sequía dentro de las quebradas estudiadas, zonas secas y de aguas estancadas.

7.1.2 Método para la obtención y análisis de resultados fisicoquímicos

Durante cada uno de los muestreos establecidos se realizó la toma directa de parámetros fisicoquímicos y pruebas microbiológicas los cuales se enlistan a continuación, haciendo uso de un multiparámetro marca HANNA HI98194 y un oxímetro marca HANNA HI9146, cada uno de los métodos utilizados para la realización de los monitoreos se realiza de acuerdo a lo estipulado en el Standard Methods 22st Edition (2012).

7.1.3 Condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico

- pH,
- Conductividad (μS),
- Totalidad de Sólidos Disueltos (TDS – ppm)

- Temperatura (°C);
- Saturación de Oxígeno Disuelto (%OD)

7.2 Fase de campo

La toma de muestras se realizó siguiendo los parámetros establecidos por la confederación del ebro en su manual Técnica Macroinvertebrados bentónicos 2005, donde tras de definir los puntos se verifican las condiciones ambientales apropiadas 1. Profundidad superior a 30 cm, (esto para que la red sea sumergida completamente). 2. Incidencia lumínica, 3. Sustratos posteriormente Sobre el sustrato y haciendo uso de la red Surber (Figura 7), dispuesta en sentido contrario al de la corriente.

Figura 7. Toma de muestras Red Surber.



Fuente: Daniela Múnera, 2015

Esta red tiene un marco de muestreo de 0.90m^2 y una amplitud de orificio de malla de 300μ . Una vez ubicada la red Surber en el fondo, se procedió a remover el sedimento delimitado por el marco de esta 0.90m^2 .

La muestra colectada se almaceno en bolsas de cierre hermético con alcohol al 70% (Ramírez, 2009). Cuando las profundidades de los puntos no cumplían con los 30cm, se procedió a hacer una recolecta manual con levantamiento de piedras y cantos de piedras, esto con el fin de retirar los individuos manualmente. Teniendo en cuenta las réplicas y el esfuerzo

de muestreo. Finalmente las muestras con transportadas hasta los laboratorios de la universidad el bosque con el fin de realizar su respectivo análisis.

7.3 Fase de laboratorio

En las instalaciones de la Universidad El Bosque, fueron procesadas las muestras para su posterior análisis empezando por separar el exceso de sedimento de los organismos colectados, esto a través del empleo de tamices de 0,5 mm y 4,0 mm, sin permitir que el agua golpee bruscamente el sustrato, adicional a esto con la ayuda del rosa de bengala se separan los organismos según su tamaño. Posteriormente se procedió a realizar la identificación de organismos haciendo uso de estereoscopio y microscopio, con el soporte bibliográfico especializado dentro de los que se encuentran Roldán (1988, 2003 y 2008), Fernández y Domínguez (2001), Posada & Roldán, (2003), Fernández et al. (2004), Bouchard, (2004), Campos (2005) y Wolff (2006), Merritt & Cummins (1996). Almacenando los datos obtenidos de abundancia y diversidad de taxa en cada uno de los puntos, en cada sistema hídrico y por cada muestreo realizado.

7.4 Diseño Estadístico

Los resultados fueron analizados haciendo uso de la estadística descriptiva evaluando los datos obtenidos para cada una de las variables fisicoquímicas representadas en tablas y gráficas. Se aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de tukey para analizar la calidad del agua en los cinco meses de muestreo en los siete puntos, el programa estadístico para el análisis de correspondencia canónica fue IBM SPSS 19.

7.4.1 Índices ecológicos

Con el fin de describir el comportamiento de la comunidad analizada con respecto a la calidad ambiental (Montes & Bohórquez, 2012), se usaron los índices ecológicos que utilizan los datos de riqueza y abundancia como componentes estructurales de una comunidad.

7.4.1.1 Índice de Pielou (uniformidad)

Mide la proporción de la diversidad observada con la máxima densidad esperada (moreno, 2001), indica la uniformidad de las especies una muestra, donde los valores más cercanos a uno muestran mayor uniformidad. Rango: 0-1

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

J': Índice de Pielou

H': índice Shannon-Wiener.

7.4.1.2 Índice de Shannon-Wiener (diversidad)

Tiene en cuenta la igualdad en el número de organismos por especie (abundancia), un sistema es más diverso cuanto mayor sea la igualdad en las abundancias. $X < 1,5$, aguas muy contaminadas; $1,5 < X < 3$, aguas ligeramente contaminadas. $3 < X$, aguas muy limpias (Moreno, 2001). Rango: 0-5 con algunas excepciones supera el valor máximo.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad p_i = \frac{n_i}{N}$$

H': índice Shannon-Wiener.

P_i: Abundancia relativa de la especie i.

N_i: Número de individuos de la especie i.

N: Número total de especies.

7.4.1.3 Índice Simpson (predominio)

Mide la probabilidad de que dos individuos de una muestra tomados al azar sean de la misma especie, está influenciado por las especies más dominantes (Moreno, 2012). Los valores más cercanos a uno indican la dominancia de una o dos especies. Rango: 0-1

$$D = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

D: índice de Simpson

n: Número de individuos de la especie i.

N: Número total de individuos.

7.4.2 Índices de contaminación del agua (ICA)

Los índices de contaminación han sido utilizados desde 1997 principalmente por Ramírez. Los índices de contaminación ICO tienen su base en los resultados de análisis multivariados de componentes principales. Estos índices involucran en solo un parámetro, numerosas variables que conllevan a diversos resultados basados en un análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados teniendo en cuenta la relación entre el índice y los diferentes parámetros que puedan interpretar las condiciones ambientales de la calidad del agua.

7.4.3 Índice de contaminación (ICOMI):

Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos.

$$1/3 (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{alcalinidad}})$$

$I_{\text{Conduct.}}$: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $\text{Log}_{10} I_{\text{Conduct.}} = -3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} * \text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}).$
- $I_{\text{Conduct.}} = 10^{\text{log } I_{\text{Conduct}}}$
- Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, tienen un índice de conductividad = 1

I_{Dureza} : Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $\text{Log}_{10} I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \text{Log}_{10} * \text{dureza } (\text{g} * \text{m}^{-3})$
- $I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log } I_{\text{Dureza}}}$
- Durezas mayores a 110 $\text{g} * \text{m}^{-3}$ tienen $I_{\text{Dureza}} = 1$
- Durezas menores a 30 $\text{g} * \text{m}^{-3}$ tienen $I_{\text{Dureza}} = 0$

$I_{\text{Alcalinidad}}$: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $I_{\text{alcal}} = -0,25 + 0,005 \text{alcalinidad } (\text{g} * \text{m}^{-3})$
- alcalinidades mayores a 250 $\text{g} * \text{m}^{-3}$ tienen $I_{\text{alcal.}} = 1$
- alcalinidades menores a 50 $\text{g} * \text{m}^{-3}$ tiene $I_{\text{alcal.}} = 0$

7.4.4 índice de contaminación (ICOMO)

Este índice se obtiene por medio de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en los cuerpos de agua.

$$1/3 (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes}} + I_{\text{Oxígeno\%}})$$

Donde:

$$I_{\text{DBO}} = -0,005 + 0,70 \text{ Log}_{10} \text{DBO (m}^*\text{g/L)}$$

$$\text{DBO} > 30 \text{ mg/L} = 1$$

$$\text{DBO} < 2 \text{ mg/L} = 0$$

$$I_{\text{coliformes Totales}} = -1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \text{Col.Tot. (NMP/100ml)}$$

$$\text{Coliformes totales} > 20.000 \text{ (NMP/100ml)} = 1$$

$$\text{Coliformes totales} < 500 \text{ (NMP/100ml)} = 0$$

$$I_{\text{oxígeno}\%} = 1 - 0,01 \text{ Oxígeno \%}$$

Oxígeno (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0

7.4.5 Índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)

Este índice trabaja con la concentración de solidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución (Arias, 2013).

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,0003 \text{ Solidos Suspendidos (mg/L)}$$

$$\text{Solidos suspendidos} > 340 \text{ mg/L tiene un ICOSUS} = 1$$

$$\text{Solidos Suspendidos} < 10 \text{ mg/L tiene un ICOSUS} = 0$$

7.4.6 Índice de contaminación por trofía ICOTRO

El índice se calcula sobre la base de la concentración de fosforo Total en mg/L, el fosforo, como el nitrógeno son nutrientes esenciales para el mantenimiento de las diferentes comunidades en los cuerpos de agua, su exceso en el agua provoca eutrofización, el fosforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fosforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

1. Oligotrofia: < 0.01
2. Mesotrofia: 0.01 – 0.02
3. Eutrofia : 0.002 +- 1.00

4. Hipertrofia: > 1.00

Con la información obtenida en los datos existentes se realiza una comparación con los rangos estándar y se determinaban que grado de eutrofización presenta el cuerpo de agua.

7.4.7 Índice de contaminación ICOpH

De acuerdo a Arias, 2013 los cuerpos de aguas superficiales pueden presentar pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmosfera o proveniente de los seres vivos: por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del manto del suelo.

$$\text{ICOpH} = \frac{e^{-3.108+3.45 \text{ pH}}}{1 + e^{-31.08+3.45 \text{ pH}}}$$

7.5 Índice Biológico BMWP/ASPT

De acuerdo con Roldan, 2003. El Biological Monitoring Working Party (BMWP) es un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia, el método requiere solo datos cualitativos (presencia/ausencia). El índice tiene un rango de 1 a 10 de acuerdo con su grado de tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles (por ejemplo: Perlidae, Oligoneuridae) reciben un valor de 10; mientras que las familias más tolerantes a la contaminación tienen un valor de 1. Familias intolerantes a la contaminación tienen puntajes altos y las tolerantes puntajes bajos. La sumatoria de los puntajes de todas las familias en determinado sitio da el puntaje BMWP total (Tabla 1).

Tabla. 1 Índice BMWP/Col

Clase	Calidad	BMWP	Significado	Color
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias	Azul
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente Contaminadas	Verde
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Modificado de Roldán, 2003

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon) es el puntaje total de BMWP dividido por el número de los taxas, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores del puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación basado en el conocimiento de la distribución y la abundancia (Roldan, 2013).

7.6 Análisis de correspondencia canónica (CCA)

El análisis de correspondencia canónica busca establecer relaciones entre los meses de monitoreo, los puntos y las diferentes variables químicas y físicas que puedan presentarse entre dos grupos, por lo tanto establece relaciones lineales entre las diferentes variables con respecto a un valor teórico canónico que se establece en cada uno de sus ejes indicando la correlación multivariada entre las nuevas variables lineales a partir del análisis.

8. Resultados y Discusión

Con el análisis de las muestras colectadas en cada uno de los muestreos realizados durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre de 2015 en las quebradas el Riolindo y El Ruicito, se determinaron un total de 278 individuos pertenecientes a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos acuáticos correspondientes a 5 clases, 9 órdenes y 14 familias.

Es de mencionar que la representatividad de clases fue de la siguiente manera en cada uno de los sistemas El Ruicito (Insecta, Gastropoda, Arachnida, Clitellata) y Riolindo (Insecta, Gastropoda, Clitellata y Entognatha).

En cuanto a la densidad de las clases la más abundante fue Gastropoda con un porcentaje de (43%) seguido de la clase Insecta con un 37%; y de Clitellata con un 17%, por el contrario las clases Entognatha y Arachnida aportaron un 1% y 2% respectivamente. (Figura 8). Estudios como el de Liévano, 2010 en la Quebrada de Bahamon indican que por las condiciones ambientales presentes en la zona los organismos más representativos pertenecen a la clase Insecta.

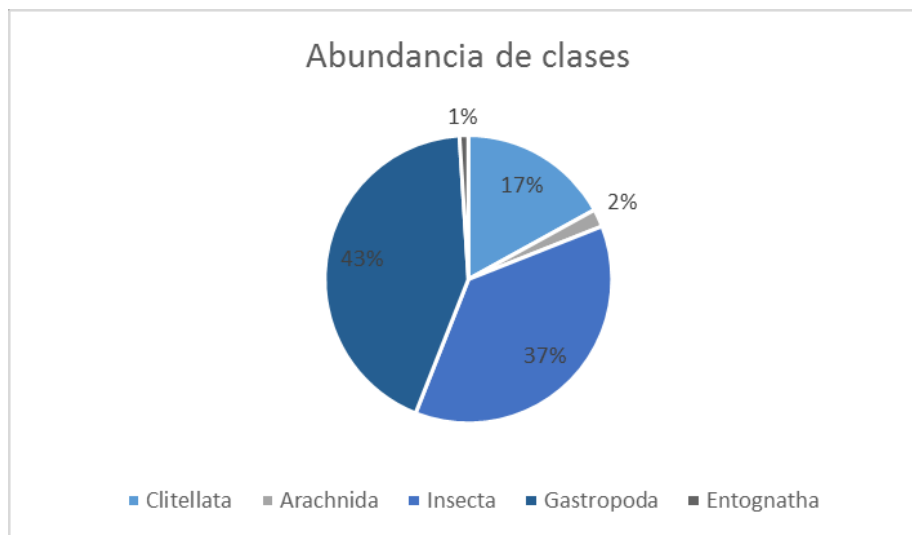


Figura 8. Abundancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de clase.

Como se mencionó anteriormente los individuos determinados pertenecieron a 9 órdenes organizándose de la siguiente manera de acuerdo a las clases que pertenecen, siendo los de la clase Gastropoda (Basommatophora y Veneroida), los más abundantes (figura 9), Insecta (Megaloptera, Tricoptera, Coleoptera, Hemiptera, Odonata, Diptera), Clitellata (Tubificida) Arachnoidea (Acari) y Entognatha (Entomobryomorpha).

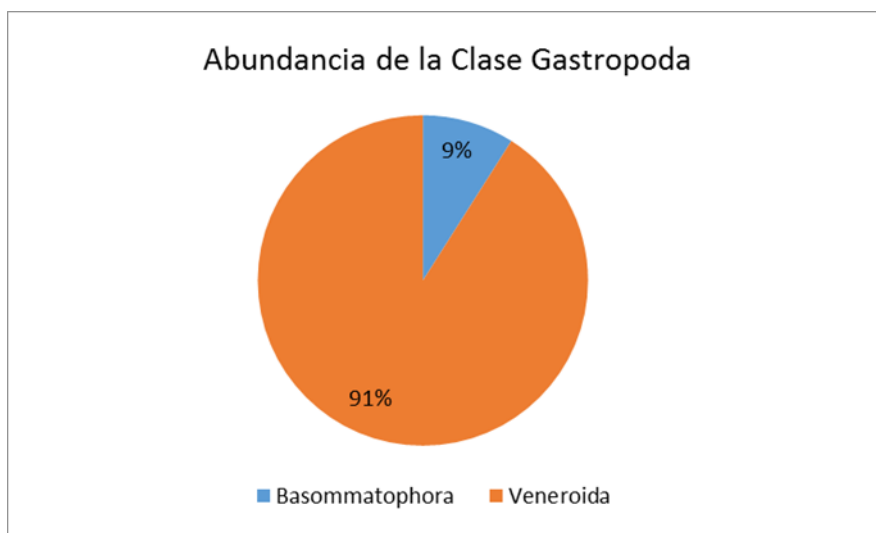


Figura 9. Abundancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de clase.

En cuanto a la clase Insecta se registraron 6 órdenes, donde Díptera presenta la mayor abundancia con 49 organismos (47%), seguido por Coleóptera con 24 organismos (23%). Figura 10.

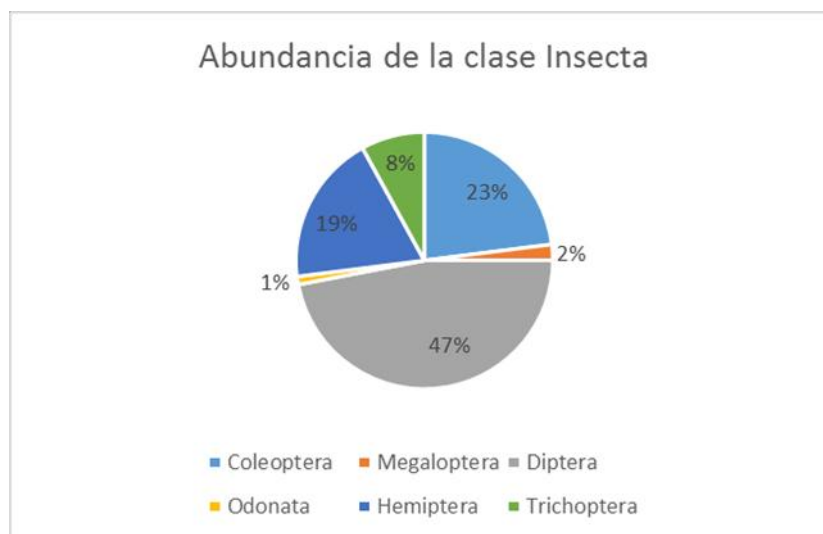


Figura 10. Abundancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de clase Insecta.

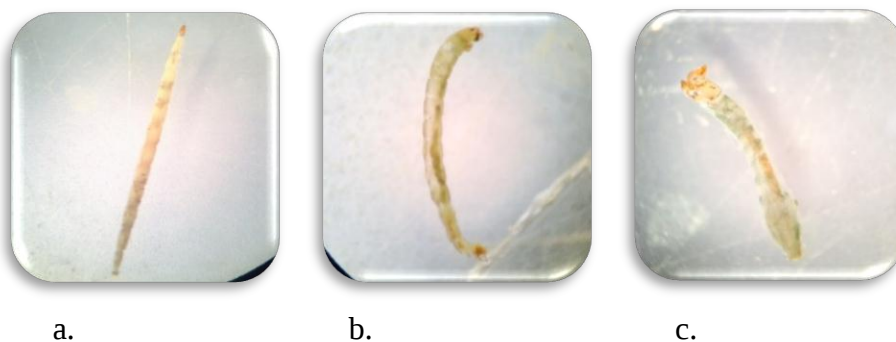
Este grupo de organismos es de los más diversos dentro de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos, pueden estar presentes desde distintos estados larvales hasta ser individuos adultos, siempre requiriendo condiciones ecológicas y fisicoquímicas específicas para su buen desarrollo y proliferación como población acuática. Por eso son considerados como los mejores bioindicadores del estado ecológico de los sistemas donde se encuentran presentes.

Específicamente el orden díptera quienes son organismos que se caracterizan por presentar un puntaje de 4, lo que significa que son bioindicadores de aguas poco contaminadas, son insectos holometábolos que se reconocen por sus colores en general poco vistosos y por la presencia de un solo par de alas membranosas, el par posterior esta reducido a balancines o halteríos en forma de clava, aunque algunos son secundariamente ápteros. Los dípteros tienen varios grupos, hay fitófagos, descomponedores de materia orgánica, fluidofagos, predadores,

parasitoides y otros más específicos como los que se alimentan de polen o los hematófagos. Dentro de este fueron determinados individuos de las familias Ceratopogonidae (Figura,11a), Chironomidae (Figura, 11b) y Simuliidae (Figura, 11c), presentes en sistemas de alta concentración de materia organica, condición que pudo ser evidenciada en los sistemas monitoreados y por la cual estos estuvieron presentes en los dos cuerpos de agua, es importante mencionar que quizá la acumulación de materia orgánica y efectiva proliferación de estos organismos sea debida al poco caudal en la columna de agua, producto de la época de sequía en la que fueron realizadas las tomas de muestras, además del tipo de vegetación que es propia de la zona.

Figura.11. Organismos de familias del orden diptera

a. Ceratopogonidae, b. Chironomidae c. Simuliidae



Fuente: El Autor

- Orden megaloptera

Se destacan por ser organismos con un puntaje medio en su mayoría son característicos de aguas poco contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas moderadamente contaminadas, miden entre 5.0 y 10.0 mm; tienen cuerpo de color amarillo con manchas oscuras; la cabeza es retráctil en el protórax; cada ojo posee 5 ocelos; el ápice del último segmento abdominal es redondeado como una aleta, viven en aguas loticas y lenticas entre

la vegetación y residuos vegetales (Figura 12), muestra el representante de la familia Coridalidae el cual fue recolectado y el cual se caracteriza por permanecer en ecosistemas de bajo caudal, son indicadores de alto contenido de materia orgánica, bioindicación que se corrobora con los datos arrojados por los índices de contaminación donde se caracterizan los cuerpos de agua con cierto nivel de eutrofización.

Figura 12. Organismo de la familia Coridalidae



Fuente: El autor

Son organismos con prevalencia a las zonas altas de montaña, con temperaturas altas, y muy oxigenadas como se evidencia en los resultados fisicoquímicos, razón por la cual posiblemente se encuentren en los cuerpos de agua. Adicional a esto son organismos que habitan en aguas pobres en nutrientes, ácidas con un PH de 6.5.

- Orden Trichoptera

Se destacan por presentar puntajes altos en su mayoría son característicos de aguas poco contaminadas. El grupo puede llegar a medir hasta 20.0mm, se destacan por fabricar casas en forma de res fuertemente adheridas a rocas para capturar el alimento, viven principalmente sobre rocas aunque se pueden fijar en ramas, troncos y sustratos artificiales y aguas loticas.

Figura 13. Organismo de la familia Hydropsychidae



Fuente: El autor

Se caracterizan por estar presentes en cuerpos de agua con corrientes altas, cálidas y la mayoría de veces en aguas blandas ya que de esto depende la distribución de su alimento. La baja densidad de los individuos probablemente se deba a la baja corriente ya que tiene un efecto directo sobre la concentración de oxígeno, siendo este posiblemente, uno de los limitantes más severos en la distribución de los tricópteros. (Fernández & Domínguez, 2009).

- Orden Odonata

De acuerdo con Roldan, 2003. Este grupo de organismos en su mayoría se encuentran con un puntaje bajo son característicos de aguas limpias, aunque pueden presentarse algunos de aguas poco contaminadas, se caracterizan por medir entre 16.0 y 18.0 mm, excluyendo las agallas, cabeza dos veces más ancha que larga; agallas redondeadas en el extremo apical; el mentón llega hasta la coxa o a veces sobrepasa la última coxa; lóbulo medio del labio con una hendidura pequeña, habitan zonas loticas aunque en su mayoría prefieren las aguas lenticas.

Figura 14. Organismo de la familia Libellulidae



Fuente: El autor

La baja representatividad del orden podría deberse a la intolerancia de la desecación del hábitat y a los cambios de temperatura asociados con fluctuaciones en el nivel del agua ya que solo pueden subsistir en ambientes permanentes. Resultado que explicaría si se considera que las bajas precipitaciones influyen en la dinámica temporal de la abundancia de las larvas o micro hábitats propicios para la ovoposición de algunas especies (Pérez, 2010).

- Orden Hemíptera

Son organismos con puntaje 3 en su mayoría, lo cual indica que son característicos de aguas limpias, aunque pueden presentarse algunos de aguas poco contaminadas, son conocidos vulgarmente como chinches de agua, se encuentran dos tipos: los semiacuáticos que viven sobre la superficie del agua y los verdaderos hemípteros que viven por debajo de la superficie del agua. Unos pocos viven fuera del agua como es el caso de Gerromorpha y Nepomorpha. Son insectos comunes en los cuerpos de agua de todo el mundo, excepto en la Antártida, son más numerosos en las zonas tropicales. Se encuentran en una amplia variedad de ambientes naturales, lenticos y loticos, costeros y oceánicos, fitotelmata, e inclusive en ambientes terrestres húmedos. Son predadores y carroñeros, que se alimentan de cualquier presa que puedan dominar, desde micro crustáceos e insectos, hasta pequeños peces y renacuajos; los corixidos son además detritívoros y comedores de algas.

Figura 15. Organismos de las familias del orden hemíptero
a. Naucoridae b. Veliidae



a.

b.

Fuente: El autor

La presencia de Naucoridae (Figura 15), se presentó en el primer mes de muestreo donde finalizaron las lluvias, la temperatura de los cuerpos de agua favoreció a estos organismos, lo cual coincide con lo señalado por Hutchinson (1993), quien señala que estos organismos poseen un origen holártico, por lo que el aumento de temperatura, incrementa su abundancia, situación que se manifestó en los diferentes muestreos.

En cuanto a la baja representatividad de la familia Veliidae se ve asociada con la presencia de materia orgánica y con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto

- Orden Coleoptera

Los coleópteros se caracterizan por presentar puntajes bajos lo que indica que son organismos de aguas limpias, son el grupo de organismos más numeroso que se conoce, se ubica en la región neotropical, encontramos coleópteros terrestres como acuáticos, se localizan en todo tipo de aguas continentales loticas y lenticas. Son asociados a aguas bien oxigenadas, forman parte de las comunidades bentónicas permanentemente o estacionalmente ya que hay especies que hibernan en el fondo de los ríos o lagos (Fernández & Domínguez, 2009).

Los coleópteros acuáticos son importantes en las cadenas y redes tróficas. Muchas especies son fuente de alimento para peces y anfibio, otras son importantes como predadores, y otras especies se alimentan de algas o detrito orgánico.

Cumplen un papel importante como bioindicadores de calidad de aguas; empiezan a ganar importancia para evaluar ambientes acuáticos.

Figura 16. Organismo de la familia Elmidae



Fuente: El autor

En cuanto a elmidae (Figura 16), su presencia se le atribuye a las concentraciones de materia orgánica según Roldán, 2009. El oxígeno disuelto y los bajos niveles de concentración de nitritos y nitratos datos que se corroboran con los resultados obtenidos en el presente estudio y en el estudio planteado por Lievano, 2010 donde se muestra que los elmidos son .

- Orden Veneroida

Los organismos de este grupo presentes en este estudio tienen un puntaje 7, son característicos de aguas moderadamente contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas contaminadas. Es uno de los grupos más diversificados de la clase bivalvia, presentan en ambientes acuáticos continentales, son organismos que presentan cierta dificultad a la hora de ser relacionadas ya que sus caracteres morfológicos son muy escasos. Inicialmente tienen un potencial para la utilización de la información referida a la diversidad y composición de los ensambles de especies como es el caso de Sphaeriidae, se toma como una medida de calidad ambiental. Algunos organismos son testigos de presencia de metales

pesados en aguas continentales. Estos organismos se caracterizan por presentar una concha y una anatomía blanda que hace posible su supervivencia en sustratos habitualmente blandos, fangosos o arenosos.

Figura 17. Organismo de la familia Sphaeridae



Fuente: El autor

La presencia de la familia Sphaeridae posiblemente se deba a los valores obtenidos en cuanto a la conductividad y el porcentaje de saturación de oxígeno, estos se relacionan positivamente con la familia.

8.1 Índice BMWP/Col

En la tabla 2 de puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice BMWP/Col adaptado por Roldán, 2003. Muestra los resultados obtenidos para determinar calidad del agua utilizando la biodiversidad animal conocida como macroinvertebrados, su presencia o ausencia aplicando el índice BMWP, se evidencia que el número de familias decrece a medida que las condiciones de calidad disminuyen.

Los valores de puntuación obtenidos en las diferentes estaciones de muestreo indican que a la escala de las dos quebradas El Rioldo y El Ruicito se evidencia un proceso de

contaminación orgánica en las cuencas. Se observa que sobre el curso principal de la quebrada El Ruicito la bioindicación presenta un valor dudoso en cuanto a su calidad de agua, lo que posiblemente se relacionan con la escorrentía que presentan los cultivos aledaños a la quebrada y el vertimiento de aguas residuales de la vereda.

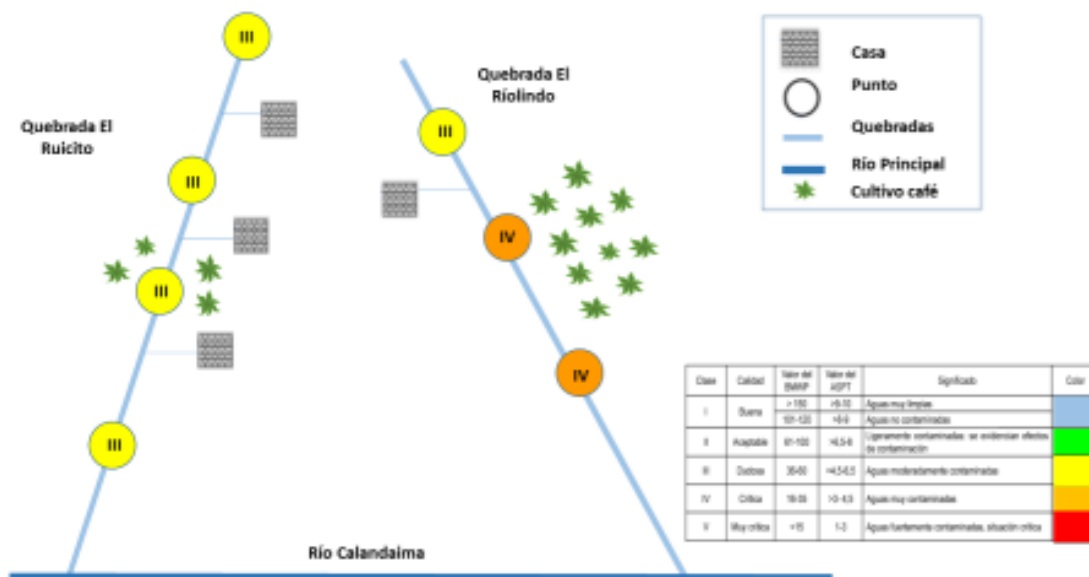
Tabla 2. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de Macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice BMWP/Col.

Orden	Familia	puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Clitellata	Tubificidae		1	1	1	1	1	1
Coleoptera	Elmidae	6	6	6	6			6
	Ceratopogonidae	3	3		3	3	3	3
Diptera	Chironomidae	2	2		2		2	2
	Simuliidae	8						
Entomobryomorpha	Entomobryidae							?
Hemiptera	Naucoridae		7	7		7		
	Veliidae	8	8		8		8	8
Hygrophila	Planorbidae	5		5		5	5	
	Physidae	3				3		
Megaloptera	Corydalidae	6				6		
Odonata	Libellulidae						6	
Sarcoptiformes	Acaridae	5	5		5			
Trichoptera	Hydropsychidae					7		
	Hydroptilidae	7	7		7			
Veneroida	Sphaeriidae	4	4	4	4	4	4	4
Valor BMWP/Col		57	43	23	36	36	29	24
Familias		11	9	5	8	8	7	6
Valor ASPT		5.2	4.8	4.6	4.5	4.5	4.1	4

En los resultados obtenidos para la Quebrada Riolindo se evidencia que aguas arriba el agua es de dudosa calidad, mientras que para la parte media y aguas abajo los valores obtenidos fueron aguas críticas lo que posiblemente se le atribuye a la influencia que presenta la comunidad en estas zonas (figura 18), el casco urbano se concentra en estas zonas generando un impacto ambiental en la zona y principalmente en el Río Calandaima.

Trabajos llevados a cabo por Roldán (1992), demuestran que los valores de diversidad de macroinvertebrados acuáticos estan dados por los niveles de contaminacion de los cauces, sin embargo se pueden deber a la condicon natural del mismo Quiñones *et al*, (1998). Aseguran que la diversidad depende de la baja pluviosidad de la zona muestriada, la cual ocasiona una acumulación de las diferentes características fisicoquímicas de las aguas de las quebradas, al igual que la intervención antrópica en los ecosistemas Roldán *et al*, (2001).

Figura 18 . clases de calidad del agua, para las Quebradas El Riolindo y El Ruicito.



Fuente: Castillo, M

8.2 Índices Ecológicos

En el caso particular de los sistemas analizados el número de individuos reportado por punto de muestreo aporato diversidades menores o iguales a 11 taxa, a pesar de esto no existió un grupo que fuera ampliamente dominante a los demás tal como se muestra con la tabla 3.

Tabla 3. Valores de índices de diversidad por punto de muestreo

INDICE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Taxa	11	9	5	8	8	7	7
Dominancia	0.19	0.24	0.48	0.18	0.33	0.26	0.34
Simpson 1-D	0.81	0.75	0.52	0.81	0.66	0.73	0.66
Shannon H	1.96	1.71	1.02	1.84	1.51	1.54	1.39
Margalef	1.93	1.53	0.85	1.44	1.36	1.32	1.18

Fuente: El autor

En cuanto a los índices de diversidad Shannon – Weiner se obtuvieron valores entre 1.02 y 1.96 lo cual demuestra uniformidad en el cuerpo de agua al ser poco representativo, respecto al índice de predominio de Simpson los valores arrojados estuvieron en un rango de 0,5 a 0,7 indicando homogeneidad puesto que los taxa descritos contaron con números semejantes de organismos identificados. Condiciones que se ratifican con los valores del índice de Margalef con valores bajos guiados por la pobre variabilidad de las muestras.

Los índices ecológicos son herramientas que permiten estudiar de forma cuantitativa las interacciones dentro y entre las comunidades, las cuales junto a las condiciones fisicoquímicas modelan la diversidad y distribución de los organismos en los ecosistemas. Como su principal objetivo es determinar la diversidad de las comunidades, para calcularlos es necesario contar con más de una o dos especies (taxa) por comunidad, de acuerdo a las propiedades emergentes típicas de cada nivel de organización ecológico, una comunidad está compuesta y definida por más de dos especies o poblaciones de especies, pues la interacción recíproca regula el número de individuos en cada población y el número y tipo de especies existentes en la comunidad determinándose los procesos de selección natural (Barnes y Massarini, 2008).

8.3 Variables fisicoquímicas

Como se puede observar en el anexo C, en las variables fisicoquímicas dureza, DBO₅, DQO, Nitritos, Nitratos y Sulfatos no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre ninguno de los siete puntos monitoreados. Sin embargo, las variables Conductividad, Temperatura, Totalidad Solidos disueltos (TSD) y Oxígeno disuelto se evidencia una diferencia marcada a partir del punto dos y del segundo mes de muestreo, destacando el marcado inicio del fenómeno del niño y la desembocadura de las aguas provenientes de escorrentía y aguas residuales de la zona.

En cuanto a los resultados obtenidos para coliformes totales registraron valores muy fluctuantes en los muestreos, de algún modo los valores de la DBO₅ inciden en la disminución de la saturación y concentración de oxígeno, que a su vez, implicarían reducir la capacidad de autodepuración de la fuente hídrica (Bennet, 2011).

Conductividad eléctrica: se presentaron diferencias estadísticas en los meses de agosto y diciembre, la mayor CE se obtuvo en la quebrada El Rioldo con un valor de $52,6 \pm 1,48 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 19).

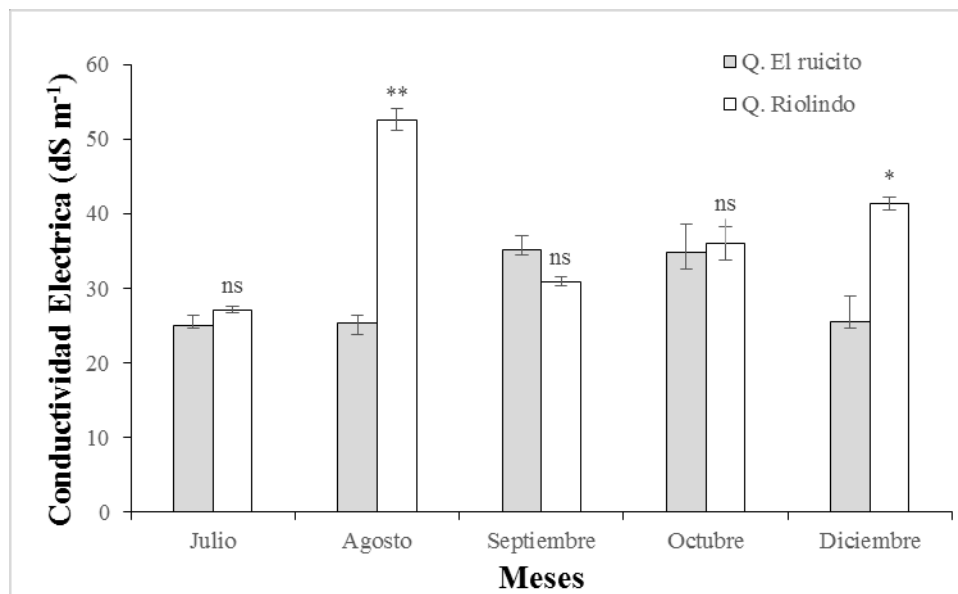


Figura 19. Conductividad eléctrica del agua de dos quebradas en el municipio de Viotá (Cundinamarca) durante los meses Julio-Diciembre, 2015. Barras verticales indican el error estándar. ns no hay diferencias estadísticas. * Diferencias estadísticas al 5%. ** Diferencias estadísticas al 1% de acuerdo con la prueba T-Student.

Temperatura: se presentaron diferencias estadísticas en el mes de diciembre, la mayor temperatura se obtuvo en la quebrada el Riolindo con un valor de $24,4 \pm 1,95$ °C (Figura 20).

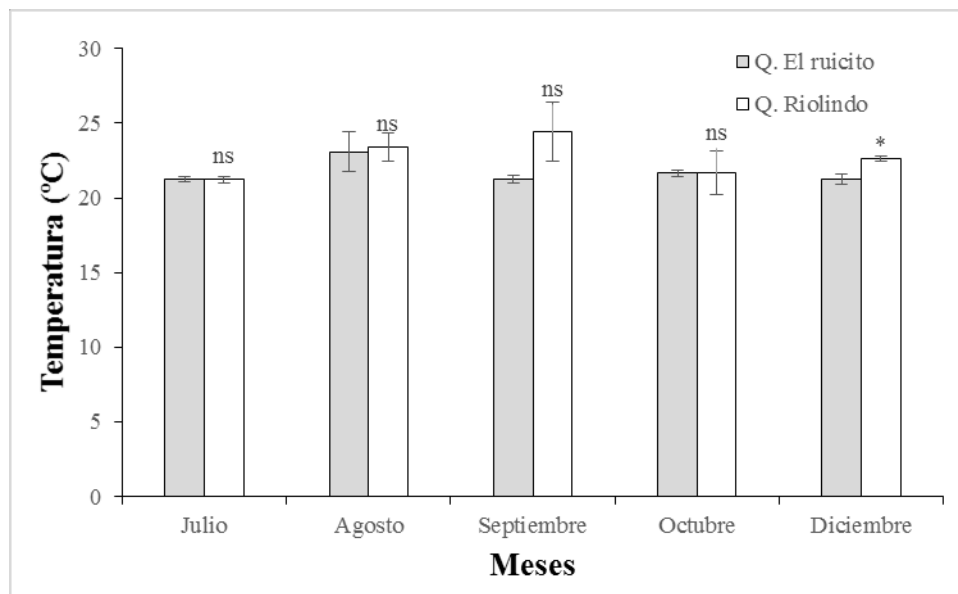


Figura 20. Temperatura del agua de dos quebradas en el municipio de Viotá (Cundinamarca) durante los meses Julio-Diciembre, 2015. Barras verticales indican el error estándar. ns no hay diferencias estadísticas. * Diferencias estadísticas al 5%. ** Diferencias estadísticas al 1% de acuerdo con la prueba T-Student.

Sólidos Disueltos: se presentaron diferencias estadísticas en el mes de octubre, la mayor SDT se obtuvo en la quebrada El Riolindo con un valor de $24,7 \pm 0,79$ (Figura 21).

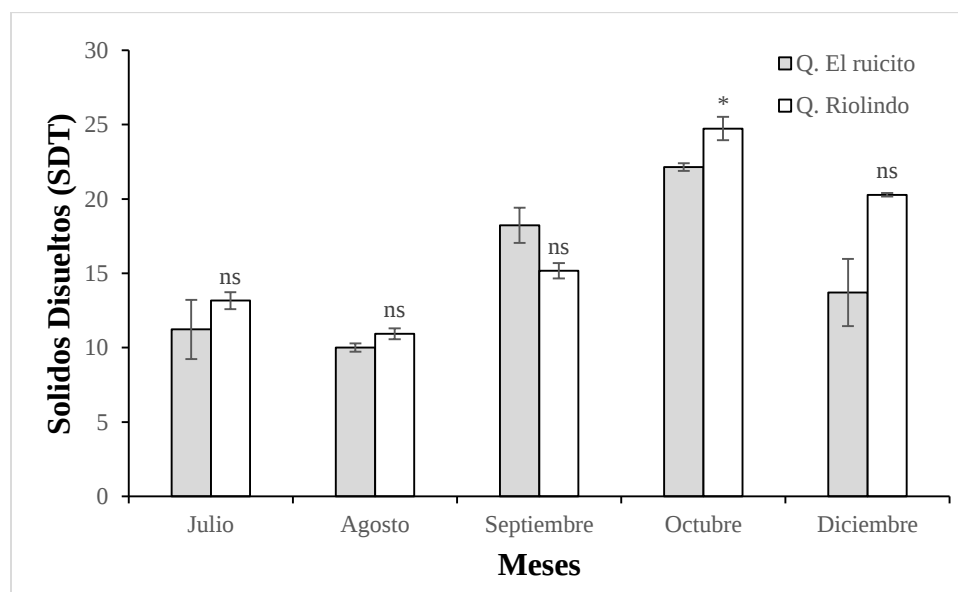


Figura 21. Solidos disueltos del agua de dos quebradas en el municipio de Viotá (Cundinamarca) durante los meses Julio-Diciembre, 2015. Barras verticales indican el error estándar. ns no hay diferencias estadísticas. * Diferencias estadísticas al 5%. ** Diferencias estadísticas al 1% de acuerdo con la prueba T-Student.

Oxígeno disuelto: se presentaron diferencias estadísticas en los meses de agosto y diciembre, el mayor OD se obtuvo en la quebrada El Riolindo con un valor de $52,6 \pm 1,48$ (Figura 22).

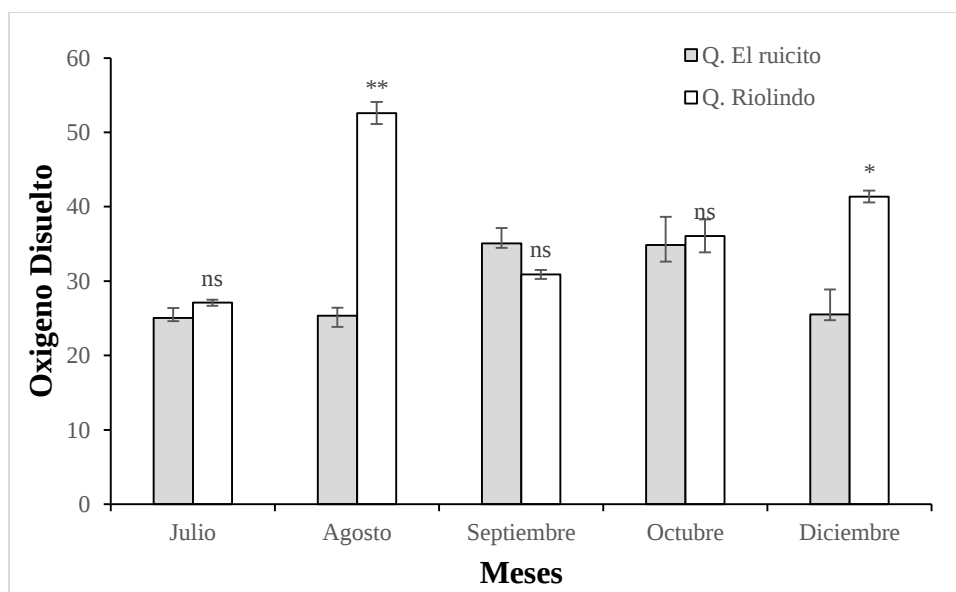


Figura 22. Oxígeno disuelto del agua de dos quebradas en el municipio de Viotá (Cundinamarca) durante los meses Julio-Diciembre, 2015. Barras verticales indican el error estándar. ns no hay diferencias estadísticas. * Diferencias estadísticas al 5%. ** Diferencias estadísticas al 1% de acuerdo con la prueba T-Student.

8.4 Índices de contaminación (ICOS)

Los índices de contaminación (ICOS) establecen una diferencia entre las Quebradas El Ruicito (puntos 1-4) y El Riolindo (puntos 5-7), presentando la Quebrada El Ruicito valores más bajos de contaminación (tabla 4).

Tabla 4. Índices (ICOS) correspondientes a los puntos de muestreo y tabla de valores comparativos de contaminación.

Índice	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Valor índice	Rango
ICOMI	0,025	0,011	0,01	0,018	0,227	0,317	0,319	0,000 - 0,200	Muy bajo
ICOSUS	0,01	0,01	0,01	0,01	0,21	0,31	0,31	0,200 - 0,400	Bajo
ICOpH	0,01	0,006	0,019	0,019	0,31	0,319	0,318	0,400 - 0,600	Medio
								0,600 - 0,800	Alto
								0,800 - 1,000	Muy alto

Fuente: modificado de Ramírez Viña (1998).

El índice ICOMI registra valores que indican baja contaminación por mineralización y buena calidad inorgánica de las aguas, probablemente se deba a que los valores de las variables relacionadas: conductividad, dureza y alcalinidad, están dentro del rango permisibles según las normas técnicas de calidad de agua de agua.

El índice ICOSUS muestra que las aguas no presentaron contaminación por sólidos suspendidos, esta variable registró valores bajos inferiores a 0.31 unidades, lo que significa que la corriente hídrica presenta condiciones estables relacionadas con la sedimentación del cauce.

8.5 Análisis de correspondencia Canónica

El análisis de correspondencia canónica (CCA) muestra las diferencias entre las variables físicas-químicas, y los puntos de muestreo a lo largo de los seis meses de estudio. Para el mes de julio la variable que más influye en la Quebrada El Ruicito (puntos 1,2 y 4) es el pH, en este mes de muestreo se recolectó el mayor número de familias y organismos.

Las variables temperatura, sólidos disueltos, conductividad y oxígeno disuelto afectan la Quebrada El Rioldo para el mes de octubre coincidiendo con el muestreo que registra el menor número de macroinvertebrados recolectados (figura 23).

Las variables medidas presentan un comportamiento homogéneo para los meses de agosto, septiembre y diciembre, que no influye en ningún punto de muestreo

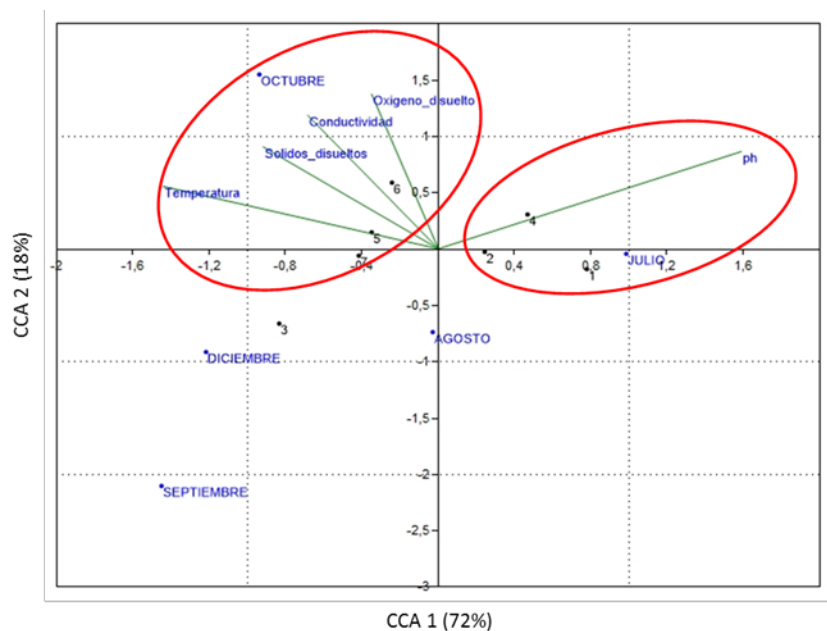


Figura 23. Análisis de correspondencia canónica (CCA) entre los meses, puntos de muestreo y variables ambientales.

8.6 Valor agregado, trabajo social

Con el fin de socializar los resultados obtenidos en el trabajo adelantado en el marco de la tesis calidad de agua y dinámica temporal de macroinvertebrados en las quebradas EL Riolindo y El Ruicito en la vereda la bella, municipio de Viotá, del departamento de Cundinamarca, se realizó una socialización a la población de la zona.

El trabajo empezó con una revisión documental sobre la problemática ambiental que presenta la zona especialmente la cuenca del Río Calandaima ya que es el principal afluente donde las quebradas EL Riolindo y El Ruicito desembocan sus aguas. Viendo la contaminación del recurso hídrico por los diferentes factores antrópicos derivados de las actividades económicas y domésticas que se realizan en la zona.

Teniendo en cuenta lo anterior en el mes de Marzo se le socializa al docente de la institución educativa de la vereda La Bella, los diferentes factores que influyen en la problemática ambiental de la zona especialmente las dos quebradas estudiadas las cuales pueden repercutir en la salud de la comunidad.

Se acuerda un lugar y una fecha para llevar a cabo la socialización del trabajo realizado junto con los resultados obtenidos. Adicional a esto se les plantea una alternativa de mejoramiento de la calidad del recurso.

Se diseña e implementa un filtro casero de carbón activado y algodón sintético, al cual se le realizaron análisis microbiológicos para tener plena seguridad del funcionamiento del mismo.

9. Conclusiones

La quebrada Riolindo y El Ruicito son cuerpos loticos de alta montaña con un nacimiento de tipo manantial que presenta un cauce tipo A se caracteriza por presentar pendientes medias y altas, curvas poco profundas y con un reducido lavado del lecho.

Las variables fisicoquímicas de Dureza, DBO₅, DQO, Nitritos, Nitratos, Alcalinidad y Sulfatos no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ninguno de los puntos monitoreados. Caso contrario ocurrió con las variables Conductividad, temperatura, Solidos disueltos totales, Oxígeno disuelto. Que presentaron diferencias significativas entre los puntos aguas arriba frente a los puntos aguas abajo.

Los resultados de las variables fisicoquímicas se encuentran dentro del rango permitido por el Decreto 1575 de 2007, el cual establece las condiciones fisicoquímicas que debe presentar el recurso hídrico para el uso de la comunidad o población.

El índice BMWP/Col sugiere que los puntos 6 y 7 correspondientes a la quebrada Riolindo presentan una calidad “crítica” del agua, sin embargo esto posiblemente se deba al bajo número de familias y no a la calidad fisicoquímica del agua, la familias presentes en la mayoría de los puntos son indicadores de cuerpos de agua moderadamente limpias.

Los Macroinvertebrados se vieron correlacionados especialmente para los meses de Octubre para la quebrada Riolindo y Julio para la quebrada El Ruicito. El comportamiento de las variables es homogéneo, sin embargo la variable de pH influye en el comportamiento para el mes de julio mes que coincide con el inicio del fenómeno del niño.

La calidad del agua de las quebradas presentes en este estudio, pueden presentar problemas de contaminación, debido a los niveles de concentración de las diferentes variables fisicoquímicas encontradas, las cuales son influenciadas por factores antrópicos de la zona tales como los cultivos, el uso de fertilizantes, plaguicidas entre otros.

El tiempo en el cual se realiza el estudio coincide con la época de inicio del fenómeno del niño el cual influye directamente en el comportamiento de los dos cuerpos de agua estudiados pues se registró el pico más alto en temperatura para la zona en el departamento de Cundinamarca razón por la cual los resultados obtenidos pueden verse afectados por dicha condición.

10. Bibliografía

- APHA-AWWA-WPCF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D.C. 21 Edition.
- ACOSTA, R. RIOS, B. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de los ríos Andinos, (C.E.R.A) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. Revista Limnética. 2009, 28: 35-64.
- ALVAREZ L (2006) Metodología para la utilización de Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia.
- ARANGO M, ALVAREZ L. ARANGO G, TORRES O 7 MONSALVE A (2008) Calidad del agua de las quebradas La cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia, Medellín, Colombia.
- BENNET, D. Introducción a la ecología de campo Madrid: Ediciones Blume. 2011.
- BOUCHARD, R.W., Jr. 2004. Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest. Water Resources Center, University of Minnesota, St. Paul, MN. 208 pp.
- CAMPOS, M. Freshwater Crabs From Colombia. 2005. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá. 363 p.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. Metodología para el establecimiento el estado ecológico según la directiva marco del agua: Protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton
- FERNÁNDEZ H, DOMÍNGUEZ E. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales y Instituto M. Lillo. 282 p.

- 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.
- IDEAM – INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (2002) Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condición Hotspot& Global Climatic Tensor. IDEAM. Bogotá, Colombia.
- JARAMILLO G (1995) Cuantificación de los grupos de Macroinvertebrados presentes en el licor mixto y determinación de su relación con la eficiencia en la planta de tratamiento de agua residuales del retiro. Tesis de la Universidad de Antioquia. Antioquia, Colombia.
- LIÉVANO, A y OSPINA R. (2007). Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Universidad El Bosque. 130 p.
- LONGO M; ZAMORA H; ANDRADE C & CEBALLOS V (2006) Comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua de un sector del río Grande (Sur-occidente colombiano). Universidad del Cauca, Colombia.
- LONGO M; ZAMORA H; GUISANDE C& RAMÍREZ J (2010) Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal. Universidad del Cauca y Universidad de Antioquia. Asociación Ibérica de Limnología, Madrid España.
- LOPRETTO, CE & G TELL. 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Ed. Sur, Tomo I, II y III. La Plata, Argentina.
- MARTIN M., ELORZA M., RODRÍGUEZ J. Y PASCUAL A. 2006. Distribución areal y ecología de las asociaciones de ostrácodos recientes en la marisma Joyel (Cantabria). Geogaceta. Vol. 40 (2006). ISSN: 0213683X. Pp 187-190.
- MERRIT, R y CUMMINS, Z. An Introduction to the aquatic insects of North America. Thirdedition. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa. 862 pp. 1996.

- MORENO, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- PINILLA, G.A. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas. UJTL. 106 p.
- POSADA GJ y ROLDÁNG. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de trichoptera en el nor-occidente de Colombia. Caldasia. 2003;25(1):169-192.
- RAMÍREZ, A. Y G. VIÑA. 1998. Santafé de Bogotá. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. 293 p.
- ROLDÁN, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN.
- ROLDÁN, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín.
- ROLDÁNG, y RAMÍREZ, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.
- VAZ, Raúl y SIERRA, Blanca. Los géneros de CYPRINODONTIDAE de aguas temporales Sudamericanas. ZooZ. Uruuay. VOL. 2 (1973); p 36 – 42.
- WOLFF, M. Insectos de Colombia. Guía básica de Familias. 2006. Laboratorio de Colecciones Entomológicas GIEM. Medellín. 460 p.