

**DIVERSIDAD DE INSECTOS ACUÁTICOS (EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA,
TRICHOPTERA Y ODONATA) ASOCIADOS A PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS
COMO EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL MUNICIPIO DE
BOCHALEMA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA.**

Joaquín Eduardo Rojas Fuentes

Cód: 1094271907

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Biología
Pamplona, Norte de Santander

2017

**DIVERSIDAD DE INSECTOS ACUÁTICOS (EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA,
TRICHOPTERA Y ODONATA) ASOCIADOS A PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS
COMO EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL MUNICIPIO DE
BOCHALEMA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA.**

Trabajo de grado para optar por el título de:

Biólogo

Director

Diego Armando Carrero Sarmiento B. Sc. M. Sc.

Codirector

Fredy Solano Ortega Lic. Esp.

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Básicas

Departamento de Biología

Pamplona, Norte de Santander

2017

Agradecimientos

Agradezco a mi familia en especial mis padres Nohra Angelina Fuentes Ibarra y José Joaquín Rojas Suarez, a mis hermanas Deisy Johana Rojas Fuentes y Julieth Paola Rojas Fuentes por el apoyo incondicional, emocional y monetario, así como a todas las personas en especial a mi director Diego A. Carrero Sarmiento que contribuyeron en mi formación profesional y en la culminación de este trabajo.

Tabla de Contenido

	Pág.
RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. MARCO DE REFERENCIA	15
2.1 Ecosistemas acuáticos	15
2.1.1 Macroinvertebrados acuáticos.	16
2.1.2 Indicadores de calidad de agua	17
2.1.2.1 Orden Ephemeroptera	20
2.1.2.2 Orden Odonata	22
2.1.2.3 Orden Trichoptera	24
2.1.2.4 Orden Plecoptera	26
2.2. Taxonomía indicativa de calidad de agua	27
2.3. Índices Biológicos	28
2.3.1 BMWP/Col	28
2.3.2 Índice Biótico de Familia (IBF)	31
2.4. Parámetros fisicoquímicos	31
2.4.1 pH	31
2.4.2. Temperatura	32
2.4.3. Oxígeno disuelto	32
2.4.4. Conductividad	33
2.4.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	33
2.4.6. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	34

3. OBJETIVOS	35
3.1 General	35
3.2 Específicos	35
4. METODOLOGÍA	36
4.1. Área de estudio	36
4.2. Metodología de campo	38
4.2.1. Captura de insectos acuáticos bentónicos	40
4.2.2. Toma de muestras de parámetros fisicoquímica	42
4.3. Metodología de laboratorio	42
4.4. Análisis de la información	43
5. RESULTADOS	47
5.1 Caracterización de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata).	47
5.1.1. Determinación de diversidad (Chao & Jost) y diversidad (alfa) de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata).	49
5.2. Implementación de índices bióticos (BMWP/Col, IBF) en la comunidad de insectos acuáticos indicadores (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata) y estado biológico de la quebrada Aguablanca	53
5.3 Determinación de variables fisicoquímicas in situ (pH, Oxígeno disuelto, Conductividad y Temperatura) ex situ (DQO y DBO5) y su relación con la calidad biológica del agua en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.	56
6. DISCUSIÓN	59

6.1. Caracterización de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata).	59
6.1.1. Determinación de diversidad (Chao & Jost) y diversidad (alfa) de los insectos	61
6.2. Implementación de índices bióticos (BMWP/Col, IBF) en la comunidad de insectos acuáticos indicadores (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata) y estado biológico de la quebrada Aguablanca.	62
6.3. Determinación de variables fisicoquímicas in situ (pH, Oxígeno disuelto, Conductividad y Temperatura) ex situ (DQO y DBO5) y su relación con la calidad biológica del agua en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.	63
7. CONCLUSIONES	65
8. BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	79

Lista de Figura

	Pág.
Figura 1. Macroinvertebrados acuáticos representativos de la fauna bentónica en un ecosistema de Río. (Tomado de: http://biologiamacro.blogspot.com.co/2015/04/macroinvertebrados-y-bioindicadores-de.html).	17
Figura 2. Ciclo de vida Ephemeroptera. (1) Huevos, (2) etapa de ninfa, (3) etapa emergente, (4) etapa temprana, (5) etapa de volador, (6) enjambre de apareamiento, (7) puesta de huevos de la hembra, (8) muerte del adulto volador. (Fuente: http://theflymaster.co)	21
Figura 3. Ejemplo de ninfa o náyades (A) y (B) adulto de Odonata.	22
Figura 4. Aspecto latero-ventral de la cabeza y piezas bucales de la ninfa de odonato. Hphy: hipofaringe, Lbp: palpo labial, Max: maxila, Mdb: mandíbula, Prm: prementón, Ptm: postmentón.	23
Figura 5. (A) ejemplo de un tricoptero adulto, (B) ejemplo de estuche o casa y larva.	25
Figura 6. Mapa del municipio de Bochalema en el Departamento Norte de Santander / 2017.	37
Figura 7. Ilustración de metodología de campo en la quebrada Aguablanca, (SE: Sendero Ecológico; QAQC: Quebrada Aguablanca y Quebrada Chiracoca; D: Desagiüe; BD: Bajo el Desagiüe, (Ilustración: ©Rojas, J., 2017).	38
Figura 8. Toma de coordenadas implementando GPS marca GARMIN (Fotografía: ©Rojas, J., 2017).	39
Figura 9. (A) Estación Sendero Ecológico (SE), (B) la unión de las quebradas Aguablanca (Izquierda) y Chiracoca (Derecha) 120m del desagüe (QAQC); (C) Estación (D) desagüe del casco urbano de Bochalema; (D) Estación (BD) 100m abajo del desagüe. (Fotografía: ©Rojas, J., 2017)	40
Figura 10. Red Surber de malla blanca con dos varillas de metal de 30.5 cm formando un cuadrado (Fotografía: ©Rojas, J., 2017).	41
Figura 11. Diagrama de cajas de abundancia representada en las diferentes estaciones de muestreo durante el periodo de estudio en la quebrada Aguablanca de Bochalema.	48

Figura 12. Diagrama de cajas de la riqueza representada en las diferentes estaciones de muestreo durante el periodo de estudio en la quebrada Aguablanca de Bochalema. 49

Figura 13. Curva de rarefacción para el ensamblaje de Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera y Odonata en las diferentes estaciones de muestreo mediante el método Chao & Jost 2012. (SE: Sendero ecológico; QAQC: Quebrada Aguablanca y Quebrada Chiracoca; D: Desagü 50

Figura 14. Curva de distribución de abundancia de los géneros representada en las diferentes estaciones de muestreo durante el periodo de estudio en la quebrada Aguablanca de Bochalema. Sendero ecológico: SE; Q. Aguablanca y Q. Chiracoca: QAQC; Desagüe: D; Bajo el desagüe: BD). *Elasmothermis* (A), *Leptohyphes* (B), *Anacroneuria* (C), *Leptonema* (D), *Chimarra* (E), *Argia* (F), *Helicopsyche* (G), *Smicridea* (H), *Phylloicus* (I), *Nectopsyche* (J), *Triplectides* (K), *Marilia* (M), *Hetaerina* (N), *Haplohyphes* (O), *Thraulodes* (P), *Lachlania* (Q), *Camelobaetidius* (R), *Atopsyche* (S), *Grumichella* (T), *Desmogomphus* (U), *Baetodes* (V). 51

Figura 15. Perfiles de diversidad alfa de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata por estaciones de muestreo en la quebrada Aguablanca de Bochalema, Colombia, diversidad de orden 0 (0D); diversidad de orden 1 (1D); diversidad de orden 2 (2D). 52

Figura 16. Clúster por estaciones de los géneros de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata de la quebrada Aguablanca en Bochalema, 2017. 53

Figura 17. Valores de parámetros fisicoquímicos in situ representados para cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema. 57

Figura 18. Valores de parámetros fisicoquímicos ex situ representados para cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 19. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de los parámetros fisicoquímicos, relacionados con los géneros en las diferentes estaciones de muestreo, en la quebrada Aguablanca en Bochalema. 58

Lista de Tablas

	Pág.
<i>Tabla 1. Ordenes de insectos usados como indicadores en estudios asociados al estado de calidad en los cuerpos de agua (Domínguez E., et al., 2001).</i>	19
<i>Tabla 2. Puntaje asignado a las familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col (Roldán, 2003).</i>	29
<i>Tabla 3. Clasificación BMWP/Col del estado del agua. (Roldán, 2003; Álvarez, 2005).</i>	44
<i>Tabla 4. Clasificación índice IBF del estado del agua. (Figueroa, 2003).</i>	45
<i>Tabla 5. Presencia de las familias en cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema; (x: presencia).</i>	54
<i>Tabla 6. Resultados de la calidad del agua en las estaciones de muestreo según el índice BMWP/Col en la quebrada Aguablanca en Bochalema.</i>	55
<i>Tabla 7. Resultados de la calidad del agua en las estaciones de muestreo según el índice IBF en la quebrada Aguablanca en Bochalema.</i>	55
<i>Tabla 8. Valores de parámetros fisicoquímicos in situ representados para cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema.</i>	56
<i>Tabla 9. Valores de parámetros fisicoquímicos ex situ representados para cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema.</i>	57

RESUMEN

El estudio de diversidad de macroinvertebrados realizó en cuatro estaciones de muestreo (Sendero Ecológico, Quebrada Aguablanca – Quebrada Chiracoca, Desagüe, Bajo el Desagüe) en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema en el departamento Norte de Santander uno en el mes de agosto y uno en el mes de septiembre de 2017 a una altura de 975 a 1174 m.s.n.m. Se implementaron 18 muestreos distribuidos 4 por cada estación de 1 m² cada uno, en los cuales se colectaron los insectos acuáticos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata, implementando la red surber y se tomaron los parámetros fisicoquímicos *in situ* (pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto) con un multiparámetro, *ex situ* (DQO y DBO₅) espectrómetro y método de botellas (Oxítop), el esfuerzo de muestreo fue de 1080 minutos por día. Se registró un total de 4610 especímenes acuáticos distribuidos en cuatro órdenes, 16 familias, 21 géneros y 21 especies, se presentó variación tanto en abundancia como riqueza en las estaciones de muestreo al igual que los valores de las variables fisicoquímicas. En el estudio se pudieron categorizar dos estaciones conservadas en buena calidad de agua y dos estaciones afectadas por la perturbación antrópica del desagüe del casco urbano de Bochalema. Esta investigación se presenta como estudio base en la determinación de la diversidad de insectos acuáticos indicadores existentes en el sistema dulceacuícola de Aguablanca y el estado de calidad del agua en el municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.

Palabras clave: Aguas residuales, Macroinvertebrados acuáticos, Perfiles de diversidad.

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos son ecosistemas dinámicos fluviales integrados por cauces permanentes e intermitentes, de importancia mundial ya que permiten conocer la cantidad de agua dulce disponible y así tener un control de regulación de este recurso valioso (IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014, 2015).

Colombia cuenta con 1.600 ríos que a pesar de su importancia, el conocimiento de estos ecosistemas acuáticos permanece poco explorado (Torres-García, Pérez-Valladares, Herrería-Diego, & Pineda-López, 2014). En Colombia se han presentado trabajos en cuerpos de agua citando algunos como: Machado, T., Roldán, G. (1981) “Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes”; Roldán, G. (1988) “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia”; Roldán, G. (1999) “Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua”; Roldán, G. (2001) “Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas”; Machado (2001) “Caracterización fisicoquímica y biológica de las cuencas de los ríos Tapias y Tareas en el Departamento de Caldas con el fin de evaluar la evolución fisicoquímica y biológica de las corrientes”; Guerrero *et al.*, (2003) “Estudios sobre las comunidades bentónicas y su relación con la calidad del agua en la cuenca del Río Gaira “Pozo Azul”; Bernal *et al.*, (2006) “Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco en la cuenca del río Otún del Departamento de Risaralda”; Gutiérrez (2008) “Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la granja Yamboró, Huila”; Duque (2008) “Evaluación de la calidad del agua de la parte alta de tres quebradas en la microcuenca Llanitos (Villamaría, Caldas) a través de análisis fisicoquímicos y de macroinvertebrados acuáticos”; Chará-Serna, A. *et al.*, (2010)

“Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana”; Mosquera-Murillo, Z. *et al.*, (2015) “Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia”; Daza, M. & Patiño, D (2016) “Bioindicación de la calidad del agua del río Subachoque mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos como una integración espacial y temporal”; Madera, L. *et al.*, (2016) “Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación”.

En lo que respecta al departamento Norte de Santander, se encuentran cinco estudios representativos: Sánchez H, M., *et al.*, (2001) “Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua de la zona media del río Pamplonita. Universidad Francisco de Paula Santander”; Sánchez H, M. & Sánchez, M., (2005) “Macroinvertebrados de Norte de Santander”; Sánchez H, M., 2005 “El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander”; Castellanos, P., (2007) “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurban, Norte de Santander, Colombia” y Rico, C., Paredes, M. y Fernández, N., (2009) “Modelación de las estructuras jerárquicas de macroinvertebrados bentónicos a través de redes neuronales artificiales”.

La conservación de un río está bajo la influencia de factores como el flujo del agua, su fisicoquímica, su caudal, su ribera y nivel de impacto y dragado, los cuales varían ya sea por condiciones naturales o alteraciones antrópicas, como la incidencia humana o la construcción de acueductos o hidroeléctricas (Navarro-Picado, Spínola-Parallada, Madrigal-Mora, & Fonseca-Sánchez, 2017). Las actividades antrópicas que se realizan en las cercanías o dentro de los ecosistemas fluviales, perturban a los mismos gracias a la contaminación originada en actividades

como la agricultura, la ganadería, la deforestación y la urbanización, provocan impactos en los recursos hídricos que afectan la biodiversidad y estética del paisaje de los cuerpos de agua (Rojas, N. *et al.*, 2016). Debido a esta interacción antrópica la cual puede generar una degradación del recurso hídrico, se plantean mecanismos para evaluar las condiciones en las que se encuentra y determinar si dichas actividades están ejerciendo cambios en las comunidades correspondientes a fauna más específicamente en los macroinvertebrados bentónicos que habitan los cuerpos de agua, estos han sido utilizados durante décadas como indicadores de calidad de agua gracias a su hábito sedentario y su alta sensibilidad a cambios físicos y químicos en el agua (Torres-García, *et al.*, 2014). Se entiende como macroinvertebrados acuáticos a aquellos organismos de tamaño de 0.5mm a 5.0mm aproximadamente por lo que son visibles a simple vista, viven adheridos a la vegetación y rocas sumergidas en fondo de ríos y lagos (Roldan, 2016). Entre los macroinvertebrados acuáticos sobresalen los ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera de los insectos acuáticos por su riqueza y abundancia e indicativo de calidad de agua y su acoplamiento con parámetros fisicoquímicos (Tamarís-Turizo, 2014). La riqueza y abundancia de especies correspondientes a la biota acuática puede disminuir por las variaciones fisicoquímicas generadas sobre el ecosistema, afectando la fuente de alimentación, resguardo y condiciones óptimas para la reproducción y con ello, el estado en que se encuentra el cuerpo de agua, lo que genera el interés de estos estudios al tener un gran impacto ambiental (Oleas, Bravo & Clevel, 2016). El análisis de diversidad alfa se plantea como una forma de evaluar el estado de los cuerpos de agua midiendo la riqueza y abundancia de especies basados en diversidad de orden cero 0D , el cual calcula la riqueza de especies siendo insensible a la abundancia (Jost, 2007; Moreno *et al.*, 2011), de orden uno 1D que representa el exponencial del índice de Shannon teniendo en cuenta a las especies más comunes del muestreo y de orden dos 2D , representando el inverso de Simpson

teniendo en cuenta las especies más abundantes (Jost, 2007; Jost *et al.*, 2010; Marín *et al.*, 2014), al igual que se plantean los índices bióticos como el BMWP y el IBF basados en presencia – ausencia de las especímenes con valores de 1 a 10 de sensibilidad (Sermeño, 2010; Roldan, 2016). Este trabajo de grado se ejecutó con el fin de conocer la diversidad de insectos acuáticos Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata, asociados a parámetros fisicoquímicos presentes en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema y aumentar los estudios del Departamento de Norte de Santander, enriqueciendo el conocimiento de ecosistemas acuáticos en el país.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Ecosistemas acuáticos

La ecología es una ciencia compleja correspondiente a un espacio determinado de la biosfera conformada por organismos, poblaciones y comunidades, que presentan interacciones multidireccionales las cuales se ajustan y son reguladas por el medio ambiente químico y biológico, de características definibles y dinámico que configura un flujo de energía y un ciclo de materia involucrando la termodinámica, la teoría de la información y las matemáticas con un devenir evolutivo del ecosistema (Roldán, 2016). Para Roldán, *et al.*, (2014), la hidrografía es dependiente del cuidado de los ecosistemas debido a que las variaciones que sufre afectan directamente la composición de los cuerpos de agua al ejercer una función de regulación climática alterando las interacciones de los organismos, que a su vez se relacionan con las propiedades fisicoquímicas del cuerpo del agua, la atmósfera y el ecosistema terrestre que lo rodea (Roldán, 2016). En los ecosistemas dulceacuícolas los macroinvertebrados viven en sistemas lóticos (ríos, arroyos, quebradas) y lénticos (lagos, lagunas, ciénagas, embalses, etc), en donde habitan con una gran diversidad de organismos (Carrie & Kay, 2014); los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Roldán, 2016). Los cuerpos de agua, presentan materia orgánica alóctona, en los cuales se encuentran factores bióticos como fitoplancton, zooplancton, bentos, neuston y neuston; dentro de los abióticos están la temperatura, luz, pH, nutrientes, gases, disueltos, sustratos, covalencia, entre otros (Roldán G., 2003) y (Cornejo & Bernal, Capítulo de Panamá, 2014), actúan como reguladores poblacionales esenciales en la permanencia de las especies dentro de un ecosistema establecido;

de esta manera la interrelación de los factores bióticos y abióticos se define en una dinámica en la que las especies presentes juegan un papel de selección, dentro de sus propias relaciones interespecíficas e intraespecíficas (Roldán G., 2003).

2.1.1 Macroinvertebrados acuáticos. Los macroinvertebrados acuáticos (figura 1) son organismos que no tienen espina dorsal y que su tamaño es superior a 1mm lo cual los hace visibles sin usar un microscopio, entre algunos de ellos se encuentran los platelmintos, moluscos, anélidos, ácaros, crustáceos e insectos, existen alrededor de 40 familias en todo el mundo que dominan estos ecosistemas (mayor ocurrencia) (Batzer & Boix, 2016) y de los cuales se destacan los insectos con 25 familias representativas comprendidas en diversos ordenes como Coleoptera, Odonata, Hemiptera, entre otros (Batzer & Ruhí, 2013). Gaufin & Tarzwell (1952), propusieron a los macroinvertebrados como indicadores de contaminación al querer implementar métodos biológicos para evaluar las condiciones de las corrientes de agua (Roldán, 2016). Hynes (1959, 1963), presenta los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua e integra la biología a la contaminación acuática (Roldán, 2016). Dentro de los cuerpos de aguas continentales, los macroinvertebrados bentónicos han recibido una gran atención en los estudios de los ecosistemas de aguas corrientes, principalmente por su importancia como eslabones tróficos intermediarios entre los productores primarios y consumidores como por ejemplo los peces, por ser transformadores e integradores de la materia orgánica alóctona (hojas, semillas, ramas, troncos caídos, etc.) (Batzer & Boix, 2016). Los macroinvertebrados son de mucha importancia para la conservación gracias a que al servir como indicadores de la calidad de los cuerpos de agua en el tiempo, indican el estado de conservación del ecosistema (Boix *et al.*, 2016).

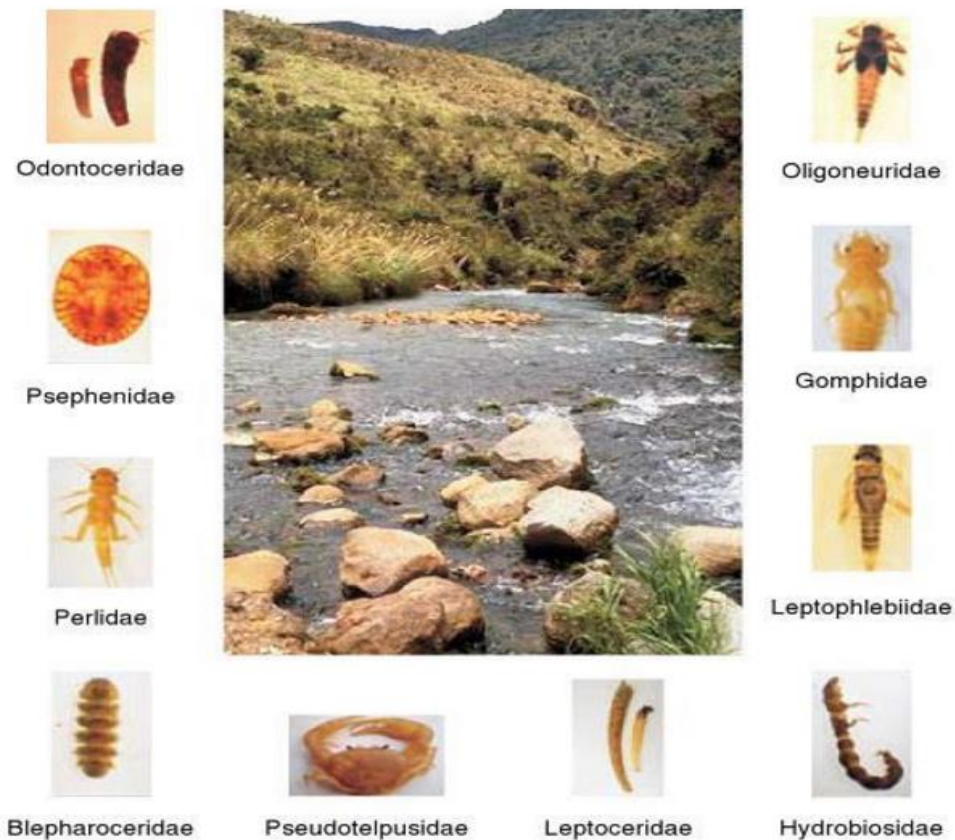


Figura 1. Macroinvertebrados acuáticos representativos de la fauna bentónica en un ecosistema de Río. (Tomado de: <http://biologiamacro.blogspot.com.co/2015/04/macroinvertebrados-y-bioindicadores-de.html>).

2.1.2 Indicadores de calidad de agua. Todo organismo es un indicador del medio en el que se desarrolla debido su habilidad de adaptarse a diferentes elementos químicos que alteran la calidad del agua (Latorre-Beltrán, Novelo-Gutiérrez & Favila, 2014). Para Roldán G. (2012), los macroinvertebrados son los organismos más ampliamente usados como indicadores debido a diversas circunstancias, entre las que se destacan:

- Ser abundantes con amplia distribución y que su recolección sea relativamente fácil.

- Ser sedentarios (establecimiento fijo en un lugar determinado) y por lo cual reflejan las condiciones del sitio.
- Su identificación es relativamente fácil, pues se pueden apreciar a simple vista, contrario a lo que sucede con otro grupo de organismos como las bacterias o los virus.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo.
- Brindan información acerca de efectos acumulativos.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Se puede apreciar su desarrollo en el laboratorio.
- Reaccionan de manera rápida ante los cambios ambientales.
- Varían poco genéticamente.

El concepto de indicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como: especie (o ensamble de especies) que posee requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indique que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (Roldán, 2012). El uso de indicadores biológicos como herramienta para conocer la calidad del agua simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua (Roldán, 2012).

El principal uso que se le ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización), o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases con miras a establecer la calidad del agua (Daza & Patiño, 2016).

En adición a esta utilización primordial, existen otra serie de fenómenos que no son de origen cultural y que se pueden determinar mediante bioindicadores como son por ejemplo:

- Saturación de oxígeno
- Condiciones de anoxia
- Condiciones de pH
- Estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua
- Turbulencia del agua

Los insectos pertenecientes al filo Arthropoda y subfilo Hexapoda, presentan 28 ordenes de los cuales 12 tienen representantes acuáticos, excluyendo al orden Orthoptera, que tiene pocas especies semi-acuáticas (Hanson, *et al.*, 2010). En la clase Insecta, se presentan organismos hemimetábolos (desarrollo directo, con metamorfosis incompleta, con estadios de huevo, ninfa y adulto) y holometábolos (desarrollo indirecto, con metamorfosis completa, con estadios de huevo, larva, pupa y adulto) (Hanson, *et al.*, 2010 y Roldán, 2016). Los ordenes Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Megaloptera y Trichoptera, poseen en su mayoría especies acuáticas, los demás ordenes solo presentan algunas familias (Amédégnato & Devriese, 2008), son los ordenes más representativos como indicadores de calidad acuática debido a su afinidad con los parámetros fisicoquímicos (Epele & Archangelsky, 2014).

En el tabla 1 a continuación se describen los ordenes representativos en estudios de calidad de agua en Colombia:

Tabla 1. Ordenes de insectos usados como indicadores en estudios asociados al estado de calidad en los cuerpos de agua (Domínguez E., *et al.*, 2001).

Orden	Cabeza	Nombres comunes	Ojos	Antenas
Ephemeroptera	Mediana o pequeña	Mosca	Divididos	Cortas y largas
Odonata	Ancha	Libélulas o los caballitos	Grandes	2 cortas
Plecóptera	Aplanada	Mosca	Separados y bien desarrollados	Antenas Largas
Coleóptera	Libre	Cucarrón o escarabajo	Desarrollados	pequeñas
Trichoptera	pequeña	Frigranea	Reducidos	Pequeñas
Diptera	Muy pequeña	Mosca	Pequeños	Pequeñas y rígidas
		Zancudo		

2.1.2.1 Orden Ephemeroptera. Ephemero = Efímero, ptera = Alas, Ephemeroptera = Alas efímeras; el nombre hace referencia a la corta vida de los adultos de estos individuos. El orden Ephemeroptera (figura 2) cuenta con alrededor de 300 géneros y 3.000 especies a nivel mundial, esto la convierte en un grupo poco diversificado en la clase insecta (Domínguez & Fernández, 2009). Algunos pueden vivir en este estado sólo cinco minutos, pero la mayoría vive tres días; durante este tiempo alcanzan la madurez sexual y se reproducen (Roldán, G., 2003). Este orden comprende las familias Baetidae, Caenidae, Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Oligoneuriidae y Polymitarciidae (Roldán, 2016). Son hemimetábolos, todos son acuáticos en sus etapas inmaduras, a excepción de las larvas de Baetidae de Suramérica (Jara, 2015). Se reconocen por tener tres (a veces dos) filamentos terminales y branquias abdominales. Se encuentran en casi todos los ambientes de agua dulce, son más abundantes y diversos en los fondos rocosos de los ríos (Hanson, *et al.*, 2010). Se consideran un componente conspicuo del bentos en sus etapas inmaduras, las cuales son importantes tanto en el

alimento de otras especies como la depredación de otras (Domínguez & Fernández, 2009; Roldán, *et al.*, 2014; Roldán, *et al.*, 2016).

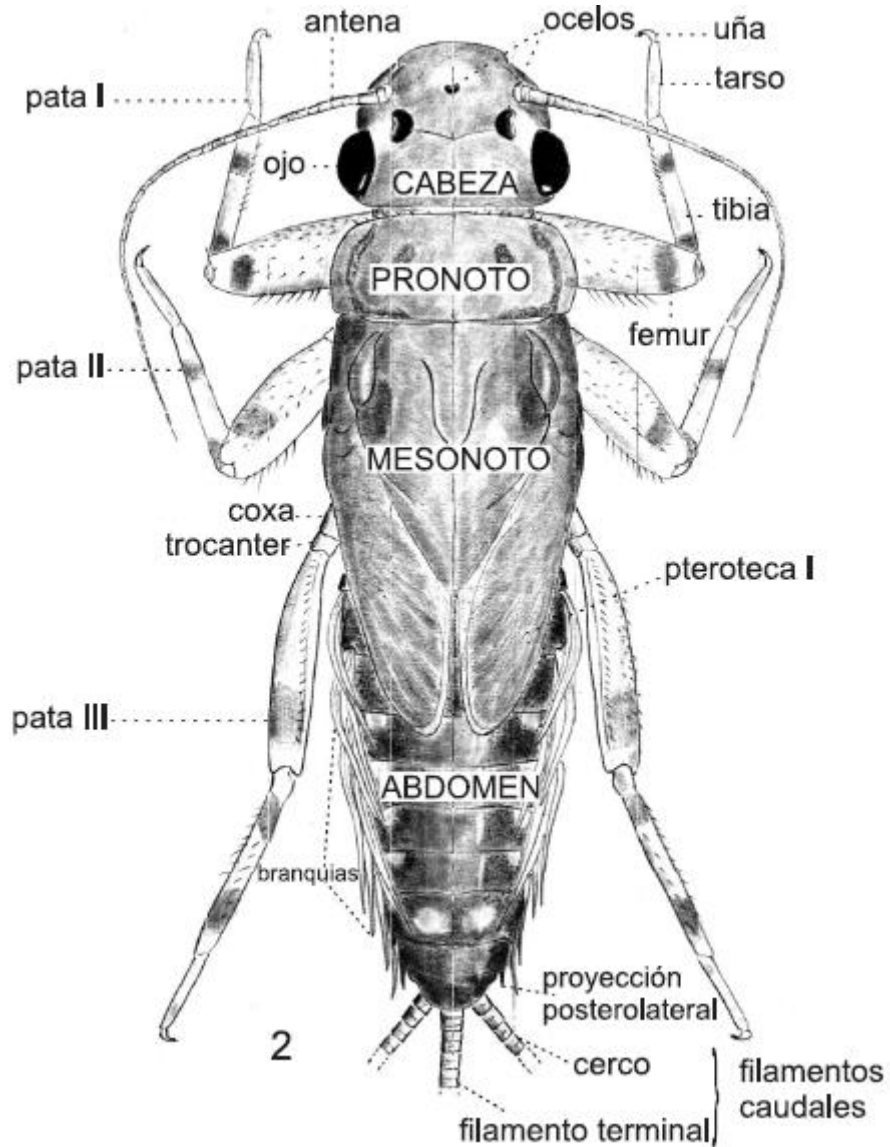


Figura 2. Partes de un insecto del orden Ephemeroptera. (Fuente: Domínguez y Fernández 2009)

2.1.2.2 Orden Odonata. Los odonatos (figura 3), también conocidos como libélulas, provienen del griego “odon” que significa diente, el cual hace referencia a las mandíbulas fuertemente desarrolladas de los odonatos (Yungán, 2010). Hemimetábolos, en su mayoría de familias, en sus etapas inmaduras son acuáticos y representan una amplia distribución en ecosistemas lóticos y lénticos con diferenciación entre niveles de estado ecológico (Roldán, *et al.*, 2014).

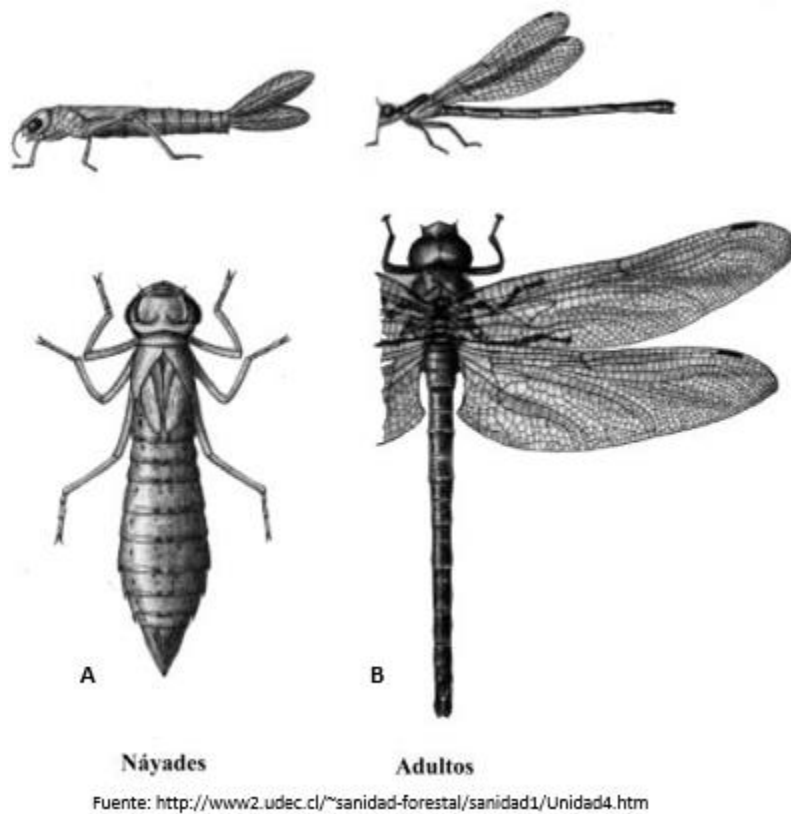


Figura 3. Ejemplo de ninfa o náyades (A) y (B) adulto de Odonata.

Las ninfas son depredadoras y su carácter de reconocimiento es su labio modificado para cazar, el cual permanece doblado, este se encuentra bajo su cabeza y es fácil de observar (figura 4). Habitan principalmente sobre el fondo de los ríos o en la vegetación sumergida (Hanson, *et al.*,

2010). En el ciclo de vida de las libélulas se observan los estados de huevo, ninfa y adulto (Springer, Echeverría-Sáenz, & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

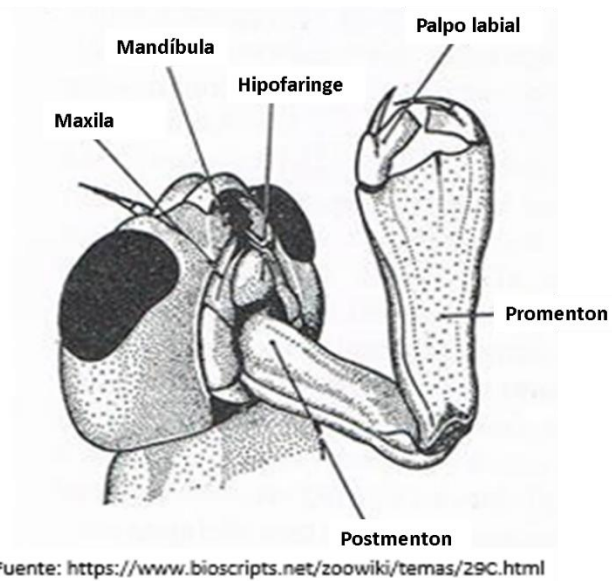


Figura 4. Aspecto latero-ventral de la cabeza y piezas bucales de la ninfa de odonato.

Hipofaringe, palpo labial, maxila, mandíbula, prementón, postmentón.

2.1.2.3 Orden Trichoptera. Los tricópteros (del griego trichos, “pelo” y pteron, “ala”) son insectos cuyos adultos presentan alas cubiertas de pilosidad (Zamora-Muñoz, Sáinz-Bariáin, & Bonada, 2015) también conocidos como frigáneas. En el neotropico se han conocido más de 2.600 especies del orden Trichoptera (figura 5) por lo cual, ocupa el segundo lugar en términos de diversidad de trichpteros (Holzenthall, 2015). Según Roldán, *et al.*, (2014), para Colombia se reportan 208 especies de Trichoptera, con 13 familias y 45 géneros con mayor presencia en la región Andina esto debido al poco estudio en las demás regiones del país. Las familias Hydropsychidae, Leptoceridae e Hydroptilidae son las más representativas de los tricópteros debido a su distribución y diversidad (Vásquez, 2013; Vásquez, Guevara, & Reinoso, 2014); es por su amplia distribución y amplia información en estadios inmaduros lo que permite la utilización de este orden como indicadores biológicos ambientales de calidad del agua (Roldán, *et al.*, 2014). Viven tanto en sistemas lóticos como lénticos, en el fondo y laderas de los ríos, debajo de piedras (principalmente), trancos y material vegetal (macrófitas), que se encuentran en aguas limpias y oxigenadas (Hanson, *et al.*, 2010).

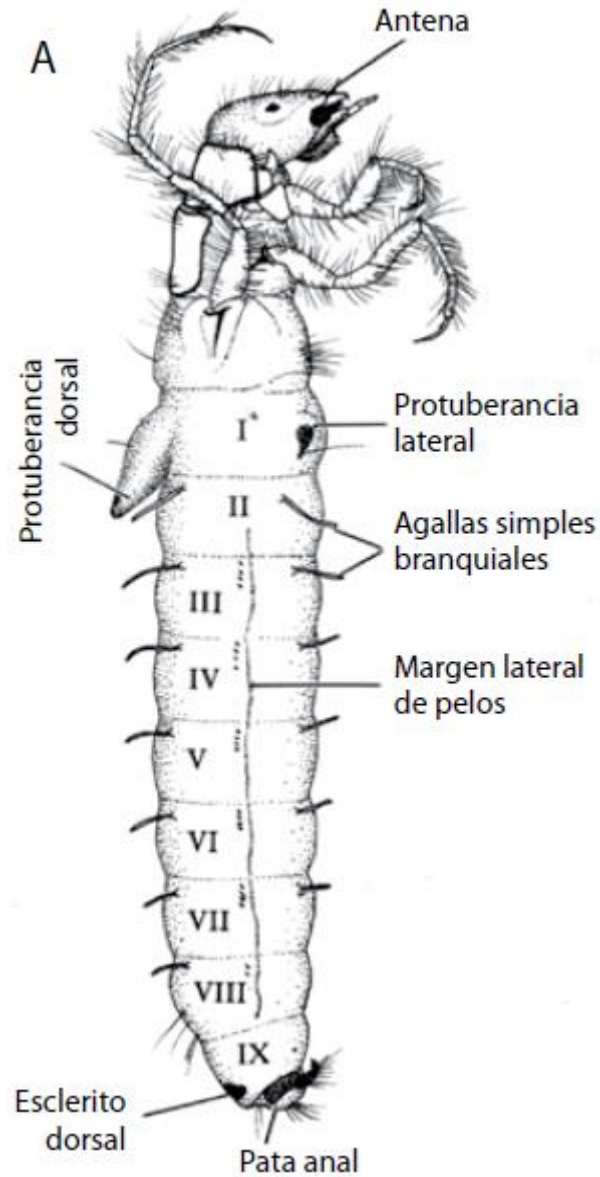


Figura 5. Partes de un insecto del orden Trichoptera. (Fuente: Monika Springer, 2010).

Entre las larvas de Trichoptera se diferencian cinco grupos debido al comportamiento de la larva y de los materiales con los cuales están contruidos sus estuches o casas (figura 6); algunas de ellas construyen un refugio entre las piedras, protegido con una seda (Zamora-Muñoz, Sáinz-Barián, & Bonada, 2015). El material y la forma con el que se construyen los estuches varían

dependiendo de la especie o familia de las larvas, pueden llegar a ser desde formas de caparazón de tortuga o domo hasta en forma de tubo (Zamora-Muñoz, Sáinz-Bariáin, & Bonada, 2015).

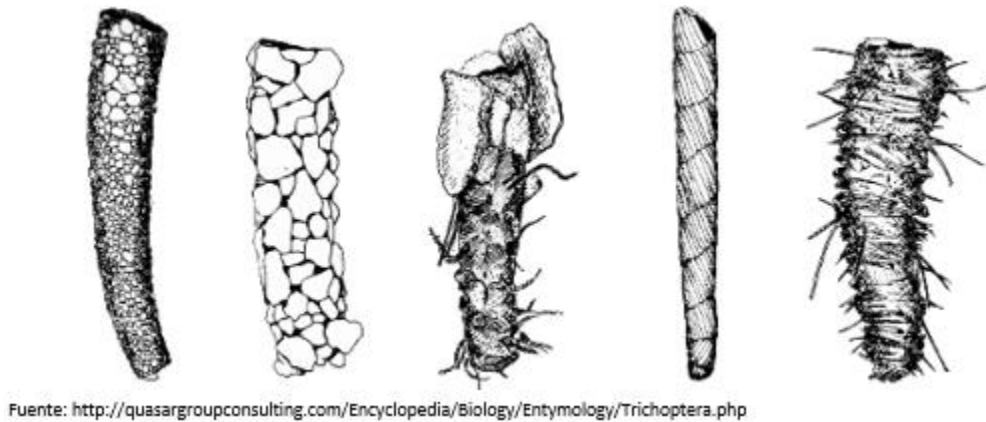
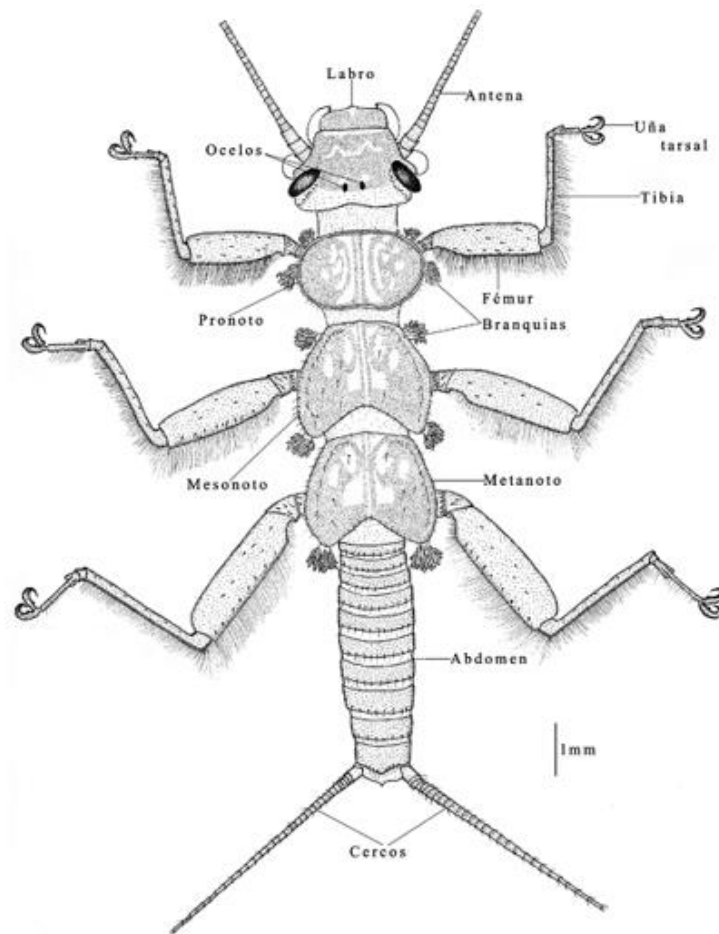


Figura 6. Estuches (coraza) de diferentes larvas de Trichoptera.

2.1.2.4 Orden Plecoptera. Plecoptera del griego “*pleikein*” = plegado o entrenzado, “*pteron*” = ala, ala plegada o entrelazada, son hemimetábolo, su nombre deriva de la capacidad de plegar sus alas sobre su abdomen (Cornejo & Gutiérrez, 2015). Pequeño grupo de insectos con cerca de 3.500 especies descritos (Stark, Froehlich & Zuñiga, 2009), el cual se caracteriza por su función depredadora (Tamarís-Turizo & Sierra-Labastidas, 2009). Los plecópteros son un componente importante en la entomofauna de los ecosistemas acuáticos debido a su diversidad y distribución, cumplen un rol ecológico destacado en la descomposición y clicado de nutrientes (Zuñiga, 2010). En sus estadios primarios (ninfa), se caracterizan de los demás ordenes por su morfología (figura 7) aplanada y alargada, dos uñas tarsales en la región anal o base de las patas, dos filamentos terminales en la parte abdominal y branquias en la parte del torax (Zuñiga, *et al.*, 2014). Los estadios inmaduros son sensibles a cambios en la composición fisicoquímica del hábitat y a su degradación, al estar correlacionados a estas variables genera que sean indicadores potenciales de buena calidad de agua (Zuñiga, 2010). Su estadio de adulto es netamente terrestre y morfológicamente semejantes a la ninfa, se localizan en la vegetación que rodea los cuerpos de

agua; presentan variaciones en la venación de las alas en la parte anal, siendo este un carácter de diferenciación a nivel de familia (Stark *et al.*, 2009). En Colombia solo se han reportado dos familias con 61 especies del género *Anacroneuria* 70% en la región Andina y 20% en la región pacífico, principalmente en el Valle del Cauca (Zúñiga, 2010).



Fuente: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50034-77442010000800006

Figura 7. Morfología de una ninfa de Plecoptera.

2.2. Taxonomía indicativa de calidad de agua. Se ha discutido mucho sobre el nivel taxonómico más adecuado para estudios de bioindicación debido a la dificultad que presentan algunos grupos al no contar con claves de identificación adecuadas; países como Bélgica, Francia, Gran Bretaña, Italia, Portugal, Dinamarca, Holanda e Irlanda se han enfocado en el nivel

taxonómico de orden y familia (en algunos casos genero) para la evaluación de los ecosistemas acuáticos (Roldán, 2016). Para Prat, *et al.*, (2009) el nivel de taxonomía de familia es indicado, tanto en calidad y tiempo requeridos para obtener los resultados, su uso a este nivel es recomendado en la mayoría de los protocolos de estudio de los países que tienen como utilidad este método para la calidad de los cuerpos de agua de forma reglamentada.

En Alemania, país con mayor conocimiento de los ecosistemas acuáticos, trabaja la clasificación a nivel de especie con el método saprobio (Roldán, 2016). A diferencia de Alemania, en América del Sur se utiliza hasta el nivel de familia, pero en familias de tricópteros, plecópteros o Efemerópteros se puede implementar la taxonomía a género (Prat, *et al.*, 2009). En Colombia el conocimiento de la taxonomía de los macroinvertebrados acuáticos es incompleta, debido a falta de estudios; los grupos más utilizados en la evaluación de los cuerpos de agua y por ende, los más estudiados son Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera y Coleoptera, todos pertenecientes a la clase insecta (Perla, Mora, Campbel, & Springer, 2014).

2.3. Índices Biológicos. Los índices Biológicos se utilizan para establecer la calidad de un cuerpo de agua mediante el monitoreo constante de organismos biológicos sensibles a las variables fisicoquímicas; según Domínguez & Fernández (2009), los índices bióticos son una manera de conocer la calidad de un afluente al expresarlos de manera cuantitativa, asociando las propiedades de riqueza, tolerancia e intolerancia de los individuos Domínguez & Fernández (2009).

2.3.1 BMWP/Col. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), creado en Inglaterra en 1970 como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua con el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos (Roldán, 2016).

En Colombia el método BMWP ha sido utilizado en algunos trabajos de: Zuñiga *et al.*, (1997), en las cuencas del Valle del Cauca; Reinoso (1999), estudio del río Combeima en el departamento del Tolima; Zamora (2000), evaluación de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia y Roldan (2001), estudio en la cuenca de Piedras Blancas en el departamento de Antioquia, quien en el 2003 propuso el método BMWP para Colombia bajo el nombre de BMWP/Col. (Álvarez, L., 2005).

El método se basa en la puntuación (Tabla 2) de 1 a 10, determinada para cada familia según su sensibilidad a la contaminación, siendo los puntajes más bajos a las familias más tolerantes a la contaminación como la familia Turbificidae recibe un puntaje de 1.0, en cambio, familias como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10 debido a su alta sensibilidad a la contaminación (Roldán, 2016).

Los estadios inmaduros representan un alto potencial como el caso de *Anacroneuria*, especie de la familia Perlidae, perteneciente al orden Plecoptera como indicadores biológicos, uno de los grupos de mayor sensibilidad a la degradación del hábitat y al encontrarse en los ecosistemas acuáticos colombianos con alta diversidad y distribución altitudinal (Zúñiga, 2010 y Roldán, 2016).

Tabla 2. Puntaje asignado a las familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col (Roldán, 2003).

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

Como referentes de alta sensibilidad se encuentran los géneros *Lachlania* (Oligoneuriidae), *Haplohyphes* (Leptohiphidae), *Mayobaetis*, *Andesiops* (Baetidae) *Atopophlebia* y *Thraulodes* (Leptobhlebiidae); en lo que representa a baja sensibilidad o mayor tolerancia a contaminantes se encuentran los géneros *Camelobaetiduis*, *Baetodes* (Baetidae), *Leptohiphes* y *Tricorytodes* (Leptohiphidae), esto para el orden Ephemeroptera (Roldán, 2016), con respecto al orden Trichoptera están los géneros *Triplectides* (Leptoceridae), *Rhyacopsyche* (Hydroptiliidae), *Chimara* (Philopotamidae), *Marilia* (Odontoceridae) y *Phylloicus* (Calamoceratidae) son representantes de alta sensibilidad a contaminantes y los géneros *Leptonema* (Hydropsychidae) y

Atanotolica (Leptoceridae) en lo que respecta a baja sensibilidad y rango amplio en ecosistemas degradados (Roldán, 2016).

2.3.2 Índice Biótico de Familia (IBF). Como su nombre lo indica, este método reconoce y contabiliza los individuos a nivel de familia, ponderando la abundancia de cada familia al multiplicar por el valor asignado (según el grado de sensibilidad a la contaminación) (Cordero, 2015); estos valores van de 1 a 10, representando los valores más bajos a los organismos más sensibles y los más elevados a los organismos que presentan menor sensibilidad, el valor final es obtenido por la sumatoria de los valores de cada familia, en cada estación (Sermeño *et al.*, 2010).

2.4. Parámetros fisicoquímicos

Los métodos fisicoquímicos ayudan a conocer con precisión el tipo de contaminante vertido en detalle; Leiva (2004) afirma que las principales desventajas de determinar la calidad de agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos radica en parte en el costo elevado, al mismo tiempo que la información proporcionada por estos análisis es puntual y transitoria. Los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos son a menudo el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto y la temperatura (Daza & Patiño, 2016).

2.4.1 pH. Según Prieto (2004) el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad sino que la determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad, un pH menor de 7 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un pH mayor de 7 muestra una tendencia hacia la alcalinidad; la mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y

bicarbonatos. Para Daza & Patiño (2016), en los cuerpos de agua el pH puede variar dependiendo de factores intrínsecos como la estratificación y mezcla del sistema acuático, la evaporación y la intensidad de procesos biológicos tales como fotosíntesis, respiración y actividad de descomposición de materia orgánica. Otro tipo de factores serían extrínsecos como son la composición de suelos adyacentes, depósitos superficiales y lecho rocoso, fuentes de contaminación y la temperatura (Daza & Patiño, 2016).

2.4.2. Temperatura. La temperatura del agua tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir (organismos estenotérmicos y euritérmicos); este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el OD, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (IDEAM, 2015). La temperatura va sujeta a la cantidad de radiación solar ya que varía con respecto a zonas de estaciones y zonas tropicales, algunos organismos son capaces de adaptarse a estos cambios, lo que permite que generen ciertas tolerancias (Daza & Patiño, 2016).

2.4.3. Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno en el agua el cual es esencial para los riachuelos y lagos saludables, puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal; generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad (Stevens, 2006). Este indicador depende de la temperatura, puesto que el agua más fría puede guardar más oxígeno en ella, que el agua más caliente (Daza & Patiño, 2016). Los niveles típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5-6ppm para soportar una diversidad de vida acuática (Lenntech, 2007). Por otro lado, numerosos estudios

científicos sugieren que 4-5ppm de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportará una gran y diversa población acuática. (Stevens, 2006).

2.4.4. Conductividad. Mide la propiedad que posee el agua para conducir la corriente eléctrica, determinando la cantidad de iones presentes en el cuerpo de agua (IDEAM, 2015) correspondiente a disoluciones acuosas de compuestos inorgánicos como aniones de cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos, los cuales están catalogados como conductores de corriente eléctrica (Fuentes & Massol-Deyá, 2002).

Este parámetro va sujeto a la composición química que rodea el cuerpo de agua, en alta montaña la conductividad en condiciones normales afecta la presencia de los macroinvertebrados (Roldán, 2012).

2.4.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO). “La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo” (IDEAM, 2015).

Permite calcular los efectos que ocasionan las descargas de afluentes domésticos e industriales sobre la calidad del ecosistema acuático, al ser inversamente proporcional el aumento de DQO con respecto a la disminución de la capacidad de depuración de las fuentes hídricas, oxígeno disuelto, salinización de los suelos y pérdida de la biodiversidad acuática (Beltrán & Trujillo, 1999). De acuerdo con Guerra, J. (2016), este parámetro es aplicable a todo tipo de agua ya que determina la presencia de sustancias químicas, las cuales pueden proceder de origen natural o antrópico.

2.4.6. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5). La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, estima la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales (IDEAM, 2015). Se hace referencia de la DBO a los cinco días a partir del día en que se prepara, tiempo prudente para estimar la cantidad de oxígeno el cual se indica en las sigla (DBO5) (Beltrán & Trujillo, 1999).

3. OBJETIVOS

3.1 General

Estimar la diversidad de insectos acuáticos indicadores (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata) asociados a los parámetros fisicoquímicos en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia para evaluar la calidad de sus aguas.

3.2 Específicos

- Caracterizar la comunidad de insectos acuáticos Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata a nivel de género con el fin de determinar su diversidad en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.
- Implementar los índices biológicos BMWP/Col, IBF en la comunidad de insectos acuáticos Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata para conocer el estado biológico de la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.
- Determinar las variables fisicoquímicas *in situ* (pH, Oxígeno disuelto, Conductividad y temperatura) *ex situ* (DQO y DBO5) y su relación con la calidad biológica del agua en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

El municipio de Bochalema con coordenadas 7°36'41" al norte y 72°38'50" al oeste del meridiano de Greenwich, una altitud de 1051 msnm correspondiente a una vegetación de bosque montano bajo. Se localiza al Sur-Oriente del Departamento de Norte de Santander como está definido en el decreto No. 1454 de la Gobernación del Departamento a una distancia de 45 Km de la capital del Departamento. Limita al norte con San Cayetano y Cúcuta, al oriente con Los Patios y Chinácota, por el sur con Pamplonita, al sur-occidente con Cucutilla y por el occidente con Arboledas y Durania (figura 8). Los afluentes que recorren el municipio son: el río Pamplonita que atraviesa el territorio de sur a norte, la micro cuenca hidrográfica de la quebrada Aguablanca, principal cuerpo de agua y fuente abastecedora del acueducto municipal, la quebrada Chiracoca, Regadera, Batatas, Quebraditas, Suárez, El Laurel y La Golondrina, así mismo cuenta con las lagunas El Calvario, Capote y Reinosá.

MAPA DE BOCHALEMA

Norte de Santander

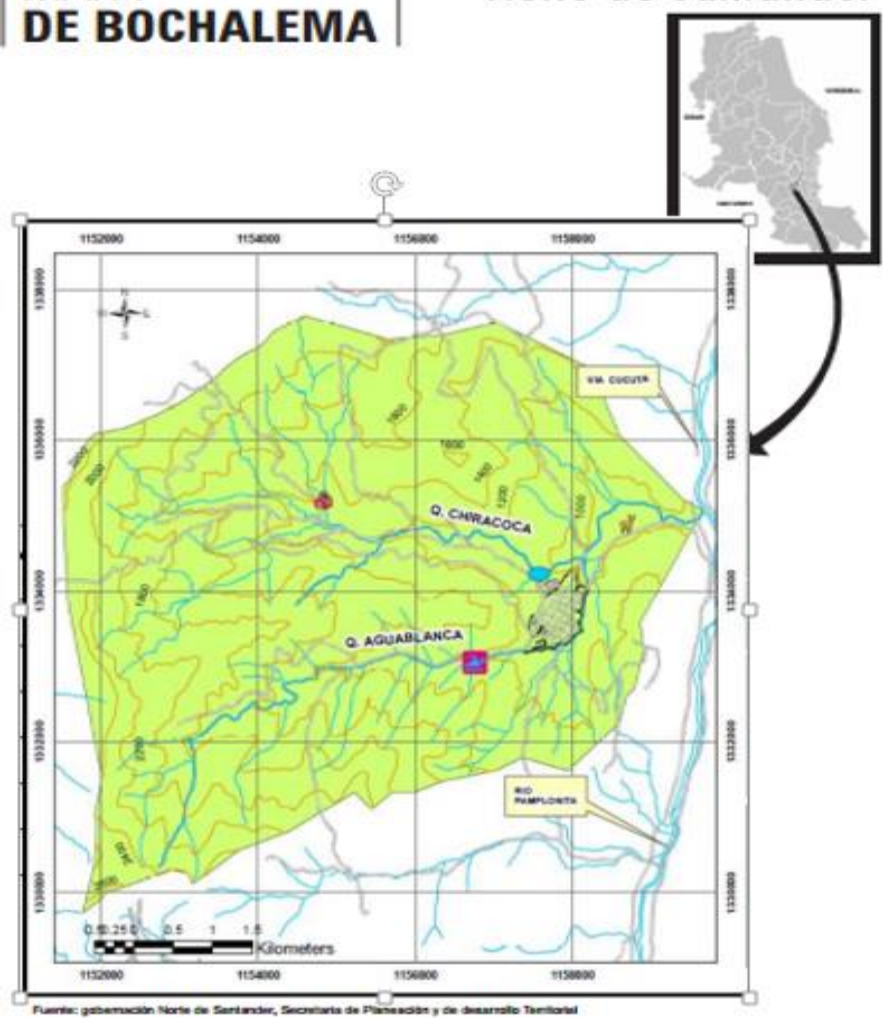


Figura 8. Mapa del municipio de Bochalema en el Departamento Norte de Santander / 2017.

4.2. Metodología de campo

La distribución de las estaciones se muestra de la siguiente manera (figura 9):

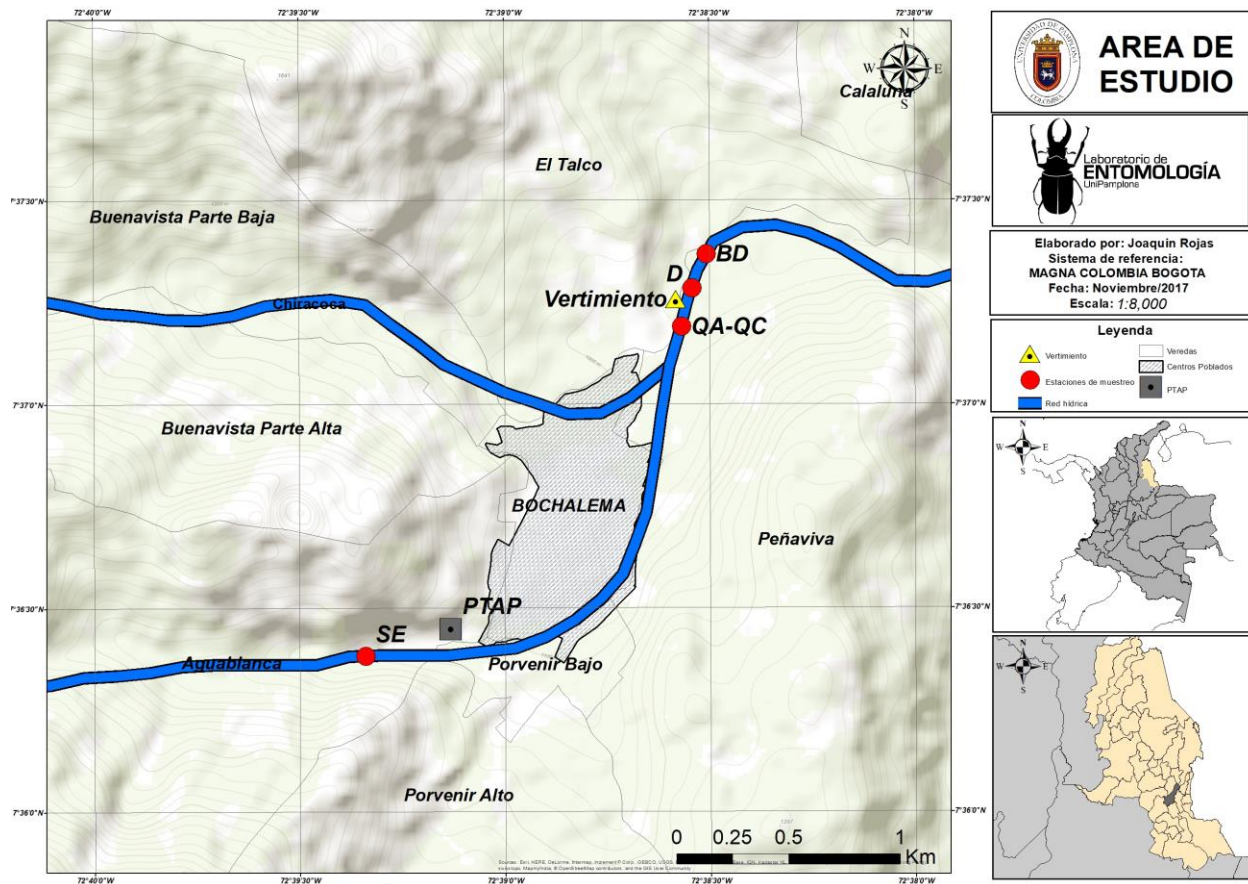


Figura 9. Ubicación de las estaciones de muestreo en la quebrada Aguablanca, (SE: Sendero Ecológico; QAQC: Quebrada Aguablanca y Quebrada Chiracoca; D: Desagüe; BD: Bajo el Desagüe, (Ilustración: ©Rojas, J., 2017).

Con la ayuda de un GPS marca GARMIN (figura 10) se realizó la toma de las siguientes coordenadas:



Figura 10. Toma de coordenadas implementando GPS marca GARMIN (Fotografía: ©Rojas, J., 2017).

En el Sendero Ecológico ubicado antes del casco urbano de Bochalema a 100 m de distancia del acueducto municipal la estación SE (figura 11a) con las coordenadas $7^{\circ}36'22.07''$ N, $72^{\circ}39'20.42''$ W, aguas arriba del desagüe del casco urbano de Bochalema, 20m abajo de la unión de las quebradas Aguablanca y Chiracoca a 100m de distancia la estación QAQC (figura 11b) correspondiente a las coordenadas $7^{\circ}37'15.8''$ N, $72^{\circ}38'33.7''$ W. En el desagüe del municipio de Bochalema correspondiente a las coordenadas $7^{\circ}37'19.5''$ N, $72^{\circ}38'33.8''$ W (figura 11c) la estación D y correspondiente a las coordenadas $7^{\circ}37'21.9''$ N, $72^{\circ}38'33.6''$ W la estación BD (figura 11d) a 100m de distancia con respecto a la estación D. Se realizaron dos visitas, una en el mes de agosto y otra en el mes de septiembre con una intensidad de esfuerzo de muestreo de 2 horas por cada estación.



Figura 11. (A) Estación Sendero Ecológico (SE), (B) la unión de las quebradas Aguablanca (Izquierda) y Chiracoca (Derecha) 120m del desagüe (QAQC); (C) Estación (D) desagüe del casco urbano de Bochalema; (D) Estación (BD) 100m abajo del desagüe. (Fotografía: ©Rojas, J., 2017).

4.2.1. Captura de insectos acuáticos bentónicos. Los macroinvertebrados bentónicos se colectaron en las estaciones seleccionadas los días 15 de agosto y 5 de septiembre de 2017, ocho muestreos por cada salida, siendo un total de 16 muestreos, cuatro muestreos por estación, cada estación con un esfuerzo de muestreo de 60 minutos estimando un esfuerzo de muestreo de 1920

minutos de todo el estudio (Rodríguez Badillo, *et al.*, 2016). Los muestreos fueron realizados de frente al flujo de agua utilizando la red surber de maya blanca con dos varillas de metal de 30.5 cm formando un cuadrado (figura 12) removiendo el suelo del Río (bentos) (Darrigan, 2007), cada 15 minutos se detenía y se desplazaba en el punto de muestreo, esto da un total de cuatro puestas por cada muestreo. Se implementó un cepillo y pinzas entomológicas para remover las muestras en los diferentes sustratos epifíticos (vegetales) y epilíticos (rocas) presentes en las orillas y centro de la quebrada depositándolas dentro de la red surber (Domínguez & Fernández, 2001); posteriormente se llevaron a bolsas ziploc previamente rotulados con la información del lugar (estación, muestreo, coordenadas, altitud, fecha y hora) en la cual se depositaron con solución fijadora (alcohol al 70%, glicerina, ácido acético y formol al 4%) para su preservación y traslado.



Figura 62. Red Surber de malla blanca con dos varillas de metal de 30.5 cm formando un cuadrado (Fotografía: ©Rojas, J., 2017).

4.2.2. Toma de muestras de parámetros fisicoquímica. Se hizo un muestreo compuesto en cada estación (SE, QAQC, D y BD) (Alarcón Pérez & Álvarez, 2016) tomando 1000mL de muestra de agua en envase de plástico previamente esterilizado los días 15 de agosto y 5 de septiembre del 2017, para los análisis ex situ DQO y DBO₅. Se implementó un multiparámetro para la toma de parámetros fisicoquímicas *in situ* como temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad (IDEAM, 2015) y se procedió a llevar las muestras al laboratorio de control y calidad de la Universidad de Pamplona.

4.3. Metodología de laboratorio

A las respectivas muestras puestas en bolsas ziploc se les realizó una limpieza y reconocimiento de morfotipos determinados taxonómicamente hasta género en el laboratorio de Entomología de la Universidad de Pamplona utilizando para su identificación un estereoscopio binocular (Zeiss stemi DV4) y se emplearon las claves taxonómicas e ilustraciones actualizadas, Carrera & Fierro (2001), Hanson *et al.*, (2010), Oscoz (2009), Palma (2013) & Pérez (2009), Álvarez, (2005), Domínguez y Fernández, (2009), Roldan, (2016), Ramírez, (2010), Gutiérrez, Y. & Días, L., (2015), Zamora, C., *et al.*, (2015), Flowers, R. W., & De la Rosa, C., (2010), Hanson, (2010) posterior a su determinación se dejó en la colección líquida del laboratorio de entomología de la Universidad de Pamplona.

La determinación de la DQO se realizó mediante el método de reflujo cerrado en termorreactor, el cual consiste en implementar un tubo por muestra, agregando 2 mL de muestra, 3.5 mL de solución catalizadora y 1.8 mL de solución digestora, se dejó en calentamiento por dos horas a una temperatura de 110° c, posteriormente se llevó al espectrofotómetro para su lectura; la DBO₅ se realizó por método oxitop en el laboratorio de control y calidad de la Universidad de Pamplona, el

volumen de la muestra para el DBO₅ en las botellas de oxitop se determina mediante el resultado de la DQO, los reactivos usados fueron un gramo de NaOH y dos gotas de inhibidor de nitrificación, se contó con magnetos para una constante agitación durante los cinco días de duración de la prueba.

4.4. Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza en las estaciones observando el *p*-valor de Tukey para la comparación de la abundancia y la riqueza de los géneros encontrados por cada estación.

Para la estimación de diversidad se implementó el estimador de riqueza y abundancia propuesto por Chao & Jost (2012) el cual permite evaluar que tan completo fue el muestreo por medio de las especies que se identificaron para cada sitio de muestreo, el resultado de este análisis se muestra mediante el programa INEXT (Hsieh, 2013). Se utilizó el análisis de diversidad alfa expresada en números de Hill (Chao & Jost, 2010), en el cual se utilizó diversidad de orden cero (⁰D) representando riqueza de especies, orden uno (¹D) el cual es el valor exponencial del índice de Shannon, teniendo en cuenta las especies más comunes en el muestreo y de orden dos (²D) representando el inverso Simpson, mostrando las especies más abundantes de cada género (Jost, 2007; Jost *et al.*, 2010).

Con ayuda del software estadístico R versión 3.4.2 se realizó el análisis de disimilaridad de Morisita - Hornd (1959) para apreciar la distribución de los géneros en las diferentes estaciones mediante la abundancia de las especies dominantes independiente del tamaño y riqueza de las muestras (Rodríguez Badillo, *et al.*, 2016).

Se aplicó el índice biótico de calidad de agua a cada estación de muestreo, Biological Monitoring Working Party, adaptado para Colombia (BMWP/Col) (Roldán, 2003 modificado por Álvarez, 2005), el cual presenta diferentes valores de indicador por familia siendo 10 el valor más

alto que refleja las familias o géneros que son muy sensibles a cambios y no aceptan contaminantes en el ambiente y 1 el más bajo, representando a aquellos con una alta tolerancia a contaminantes y perturbaciones en el ambiente. Este índice de diversidad taxonómica, considera únicamente la presencia de familias o géneros (ecuación 1) y no la abundancia de individuos (Roldán, 2016). El cálculo de este índice se puede definir con la siguiente ecuación (Rodríguez Badillo, *et al.*, 2016):

Ecuación 1

$$BMWP/CO = \sum V_i$$

Donde:

BMWP/CO = índice biológico BMWP/CO para un sitio determinado

V_i = Valor constante de calidad de agua para la familia

i (Valor establecido del 1 al 10 para cada familia)

Posteriormente, se hizo la lectura y clasificación (tabla 3) dependiendo el resultado:

Tabla 3. Clasificación BMWP/Col del estado del agua. (Roldán, 2003; Álvarez, 2005).

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150. 101-120	Aguas muy limpias a limpias	AZUL
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	VERDE
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	AMARILLO
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	NARANJA
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	ROJO

El índice biótico de familias (IBF) propuesto por Hilsenhoff, (1988), el cual, reconoce los individuos a nivel de familia, considera la abundancia de individuos de cada familia. La

abundancia se da por la ponderación de cada familia al multiplicar por el valor asignado (ecuación 2) que va de 1 (organismos más sensibles) y 10 (organismos de menor sensibilidad). Se tomó la sumatoria obtenida de las familias por estación (Sermeño *et al.*, 2010).

Ecuación 2

$$IBF = 1/N \sum ni \times ti$$

IBF= Índice Biótico de Familias

N= número total de individuos en la estación

ni= número de individuos en una familia

ti= puntaje de tolerancia de cada familia.

Los resultados obtenidos se verificaron en la tabla de clasificación del IBF (Tabla 4) en donde se realizó la clasificación del estado del agua.

Tabla 4. Clasificación índice IBF del estado del agua. (Figueroa, 2003).

Clase	IBF	Características ambientales	Color
I	0,00-3,75	Muy bueno, no perturbado	Azul
II	3,76-4,63	Bueno, moderadamente perturbado	Verde
III	4,64-6,12	Regular, perturbado	Amarillo
IV	6,13-7,25	Malo, muy perturbado	Naranja
V	7,26-10,00	Muy malo, fuertemente perturbado	Rojo

Se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) a los datos obtenidos en los índices biológicos y parámetros fisicoquímicos en cada estación, utilizando un análisis correlación de Pearson “r” entre lo obtenido en abundancia y riqueza con los parámetros fisicoquímicos

(Benítez Abud, *et al.*, 2016), esta relación se hizo con el fin de mostrar las variables fisicoquímicas que se relacionaron con los insectos acuáticos estudiados en este trabajo.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterización de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata).

Se colectó un total de **4610 individuos** entre larvas y ninfas de los cuatro ordenes estudiados en las estaciones, distribuidos en **16 familias, 21 géneros y 21 especies**. Para el orden **Ephemeroptera** se registran **329** individuos en la estación **SE**, **291** individuos en la estación **QAQC**, **9** individuos estación **D** y **471** individuos en la estación **BD**, para un total de **1100** individuos representados en cuatro familias y seis géneros. Para el orden **Plecoptera** se registran **120** individuos en la estación **SE** y **87** individuos para la estación **QAQC**, para un total de **207** individuos representados en una familia y un género, en las estaciones **D** y **BD** no se registraron individuos de este orden. Para el orden **Trichoptera** se registran **672** individuos en la estación **SE**, **494** individuos en la estación **QAQC**, **108** individuos estación **D** y **1942** individuos estación **BD** para un total de **3216** individuos distribuidos en **ocho familias y 10 géneros**. En lo que respecta al orden **Odonata**, se registran **54** individuos en la estación **SE**, **23** individuos en la estación **QAQC**, nueve individuos estación **D** y solo un individuo en la estación **BD**, para un total de **87** individuos representados en cuatro familias y cuatro géneros (ver figura 13). El análisis de Tukey muestra una significancia entre las varianzas de abundancia con un $Tukey = 0,0001 p < 0,05$.

De los órdenes estudiados, **Trichoptera** es el de mayor abundancia con un **70%** del total estudiado, seguido de **Ephemeroptera** con **24%**, **Plecoptera** con **4,5%** y **Odonata** con **2%**. Entre las familias encontradas, **Hydropsychidae** presenta la mayor abundancia con **57%** del total estudiado, seguida de **Leptohipidae** con **17%**, **Leptoceridae** con **5%**, **Leptophlebiae** con **4,8%**, **Perlidae** con **4,5%**, **Helicopsychidae** con **3,8%**, **Philopotamidae** con **2,2%**, **Libellulidae**

con **1,3%**, **Oligoneuriidae** con **0,8%**, **Odontoceridae** con **0,7%**, **Baetidae** con **0,7%**, **Calamoceratidae** con **0,6%**, **Gomphidae** **0,3%**, **Calopterygidae** con **0,15%**, **Hydrobiosidae** con **0,11%** y **Coenagrionidae** con **0,09%**.

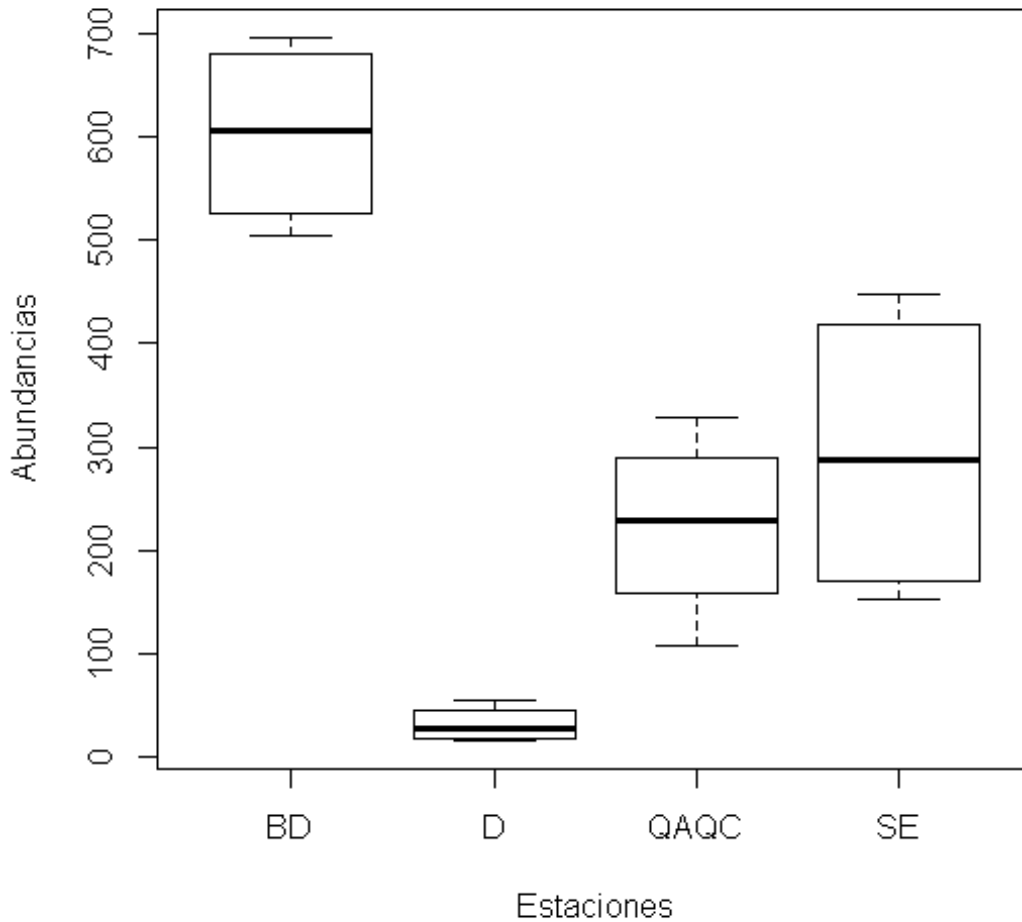


Figura 73. Diagrama de cajas de abundancia representada en las diferentes estaciones de muestreo durante el periodo de estudio en la quebrada Aguablanca de Bochalema.

A nivel de estaciones, se presentó mayor riqueza en la estación SE y la estación QAQC con 19 especies colectadas, seguidas de la estación D con nueve especies y la estación BD con ocho

especies (figura 14) Para la riqueza, el análisis de Tukey muestra una significancia entre las varianzas con un Tukey = 0,0006 $p < 0,05$.

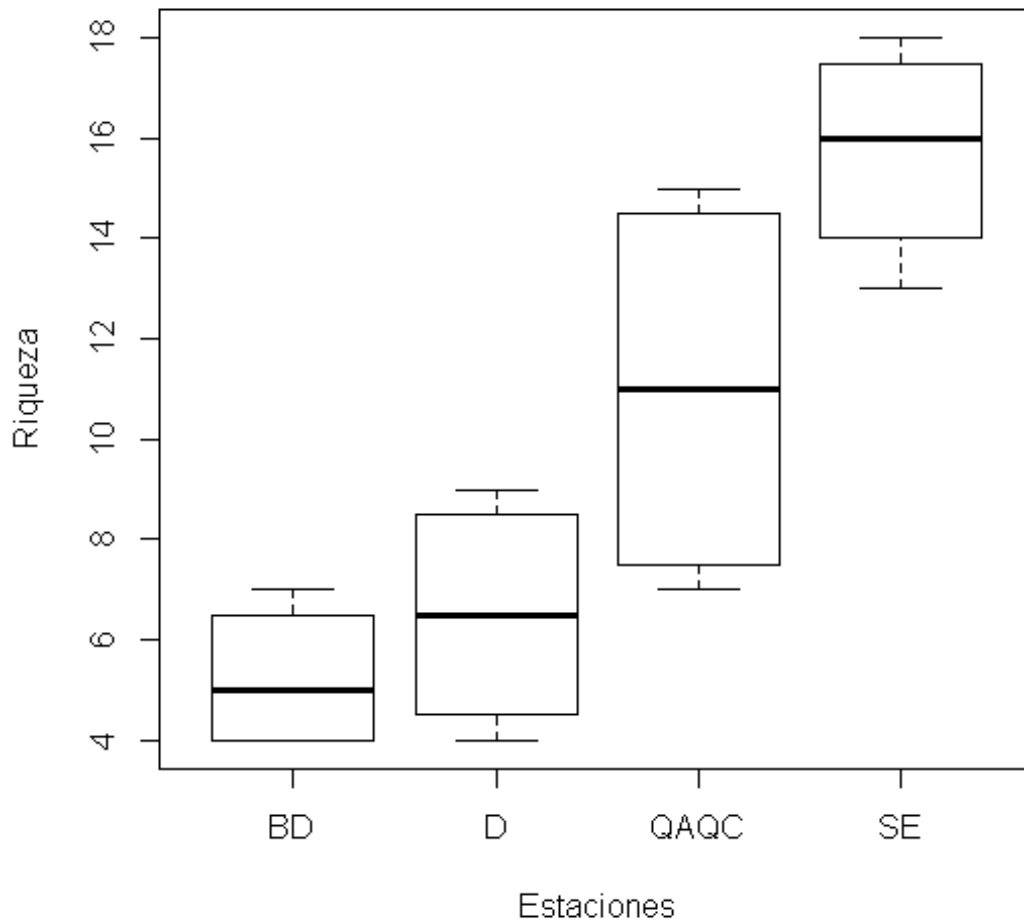


Figura 84. Diagrama de cajas de la riqueza representada en las diferentes estaciones de muestreo durante el periodo de estudio en la quebrada Aguablanca de Bochalema.

5.1.1. Determinación de diversidad (Chao & Jost) y diversidad (alfa) de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata). Con respecto a la completitud del muestreo, lo cual tiene encuenta a el esfuerzo de meustreo, se registró un 99% general en todas

las estaciones obteniendo un 99,91% de cobertura para la estación SE, 99,55% para la estación QAQC, 99,21% para la estación D y un 99,96% en que respecta a la estación BD. El análisis de las curvas de completitud (figura 15) mostro que las estaciones con mayor riqueza estimada de especies son SE y QAQC, seguidas de la estación D y por ultimo con menor riqueza estimada la estación BD.

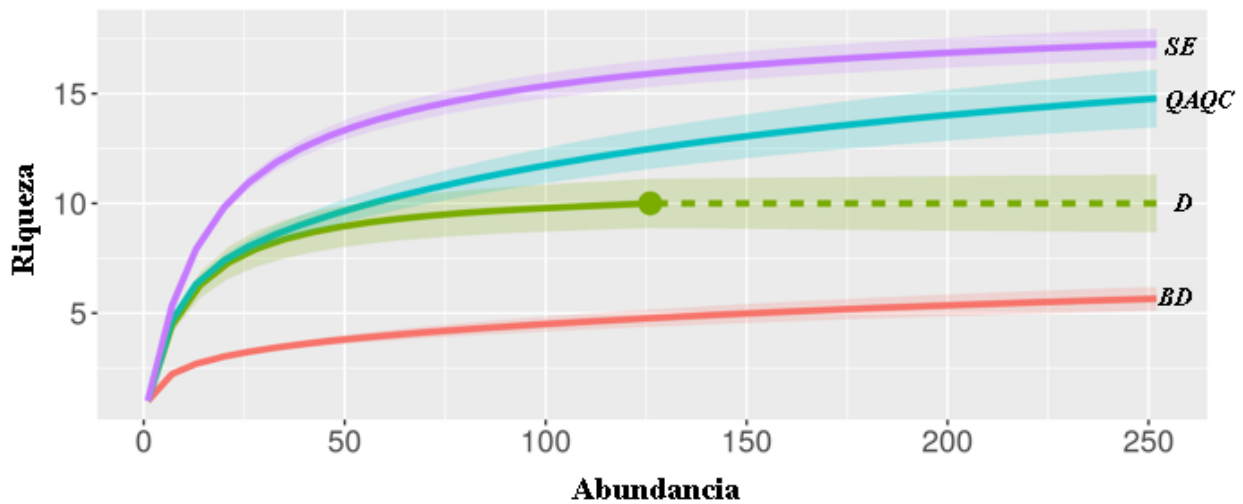


Figura 95. Curva de rarefacción de riqueza y abundancia para el ensamblaje de insectos acuáticos en las diferentes estaciones de muestreo mediante el método Chao & Jost 2012. (SE: Sendero ecológico; QAQC: Quebrada Aguablanca y Quebrada Chiracoca; D: Desagüe; BD: Bajo desagüe).

La curva de distribución de abundancia mostró que el género *Smicridea* representado con la letra H, fue el más abundante en las estaciones SE y QAQC, para la estación D fue el género *Helicopsyche* representado con la letra G; para la estación BD fue el género *Leptonema* representado con la letra D (figura 16).

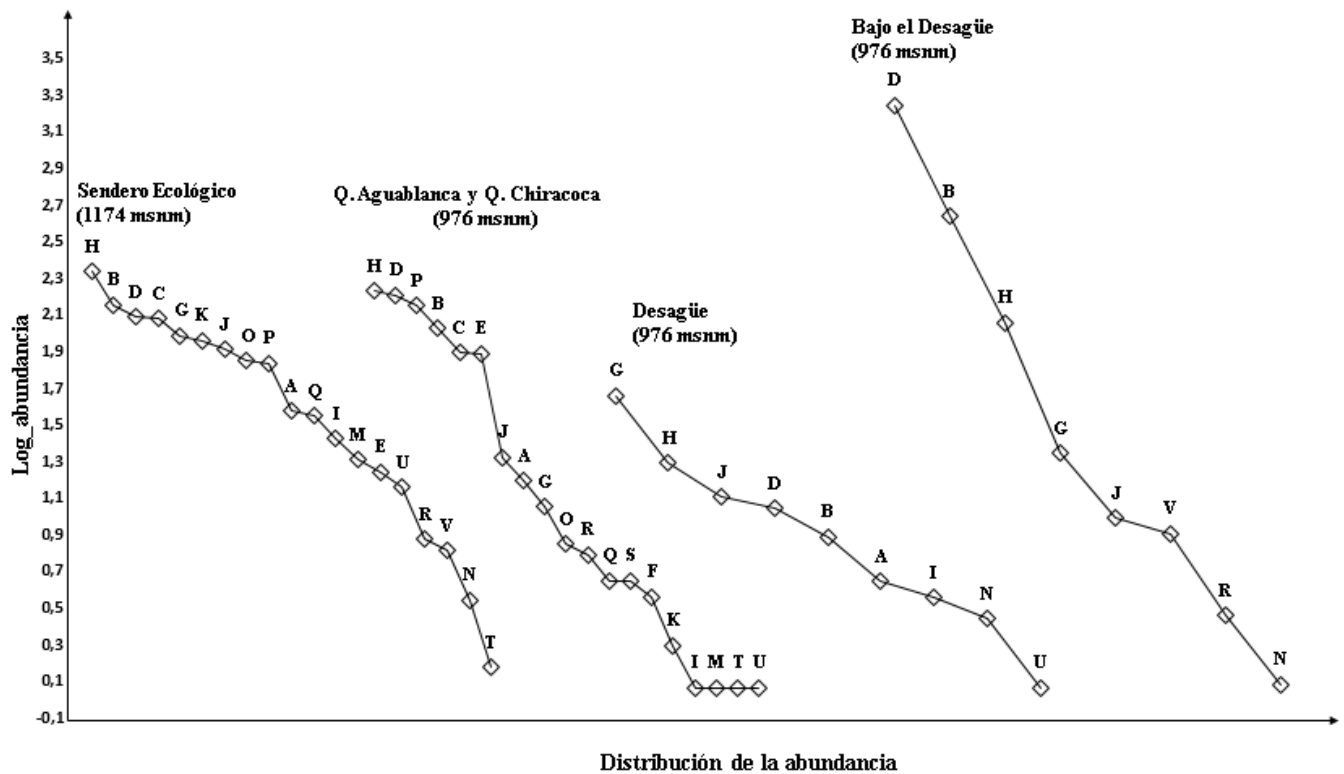


Figura 106. Curva de distribución de abundancia de los géneros representada en las diferentes estaciones de muestreo durante el periodo de estudio en la quebrada Aguablanca de Bochalema.

Sendero ecológico: SE; Q. Aguablanca y Q. Chiracoca: QAQC; Desagüe: D; Bajo el desagüe:

BD). Elasmotheremis (A), Leptohyphes (B), Anacroneuria (C), Leptonema (D), Chimarra (E), Argia (F), Helicopsyche (G), Smicridea (H), Phylloicus (I), Nectopsyche (J), Triplectides (K), Marilia (M), Hetaerina (N), Haplohyphes (O), Thraulodes (P), Lachlania (Q), Camelobaetidius (R), Atopsyche (S), Grumichella (T), Desmogomphus (U), Baetodes (V).

El perfil de diversidad de orden 0 (0D), mostro que las estaciones con mayor riqueza son la estación SE y la estación QAQC, ambas con 19 especies efectivas, seguidas de la estación D con 9 especies efectivas y por último la estación BD con 8 especies efectivas. Para el orden 1 (1D) la estación con mayor número de especies abundantes fue SE con 10,38 especies efectivas, seguida de la estación QAQC con 7,01 especies efectivas, la estación D con 5,29 especies efectivas, la

estación que presenta menos cantidad de especies comunes fue la estación BD con 2,22 especies efectivas. En lo que respecta para el orden 2 (2D) se observa que la estación SE es la que presenta mayor dominancia con 8,44 especies efectivas, seguida de la estación QAQC con 5,95 especies efectivas, la estación D con 4,55 y con menor valor la estación BD con 1,78 especies efectivas (figura 17).

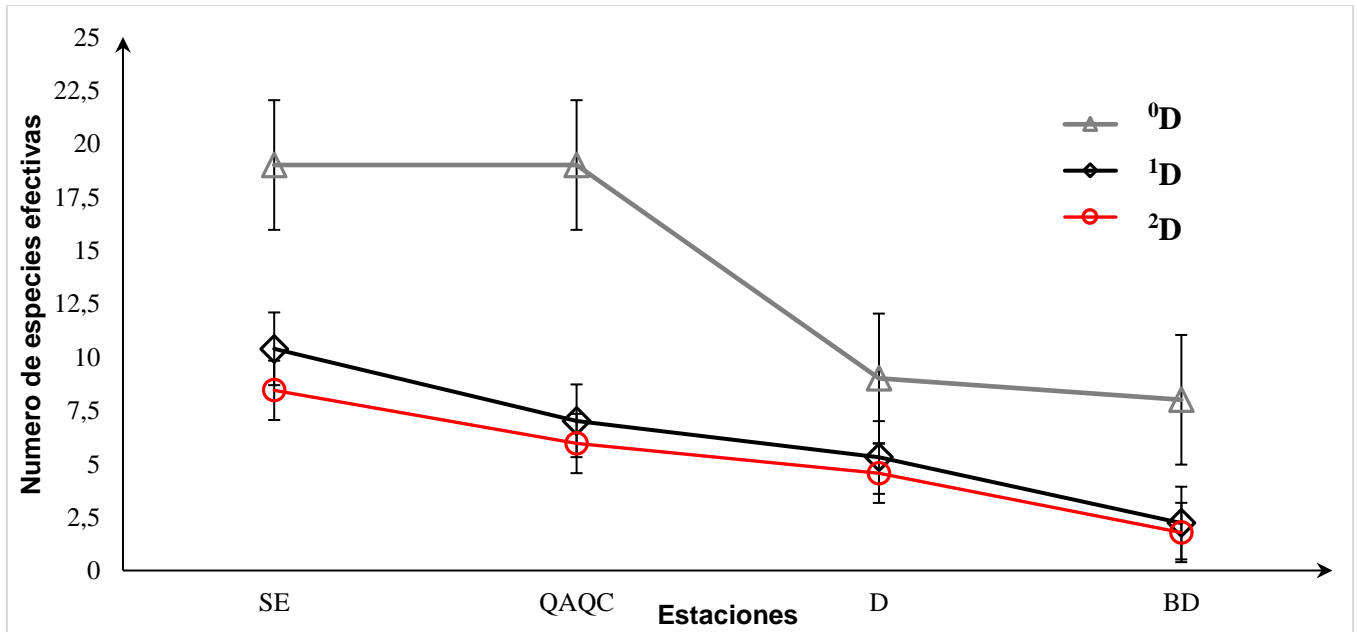


Figura 117. Perfiles de diversidad alfa de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata por estaciones de muestreo en la quebrada Aguablanca de Bochalema, Colombia, diversidad de orden 0 (0D); diversidad de orden 1 (1D); diversidad de orden 2 (2D).

El análisis de disimilaridad de especies llevado a cabo con el índice de Morisita, el cual es un análisis cuantitativo de abundancias, muestra la presencia de una comunidad de insectos acuáticos con valores entre 20-50% en lo que respecta a las estaciones SE, QAQC y D, en lo que respecta a la estación BD, se muestra una diferencia del 70% con respecto a las demás estaciones de muestreo (figura 18).

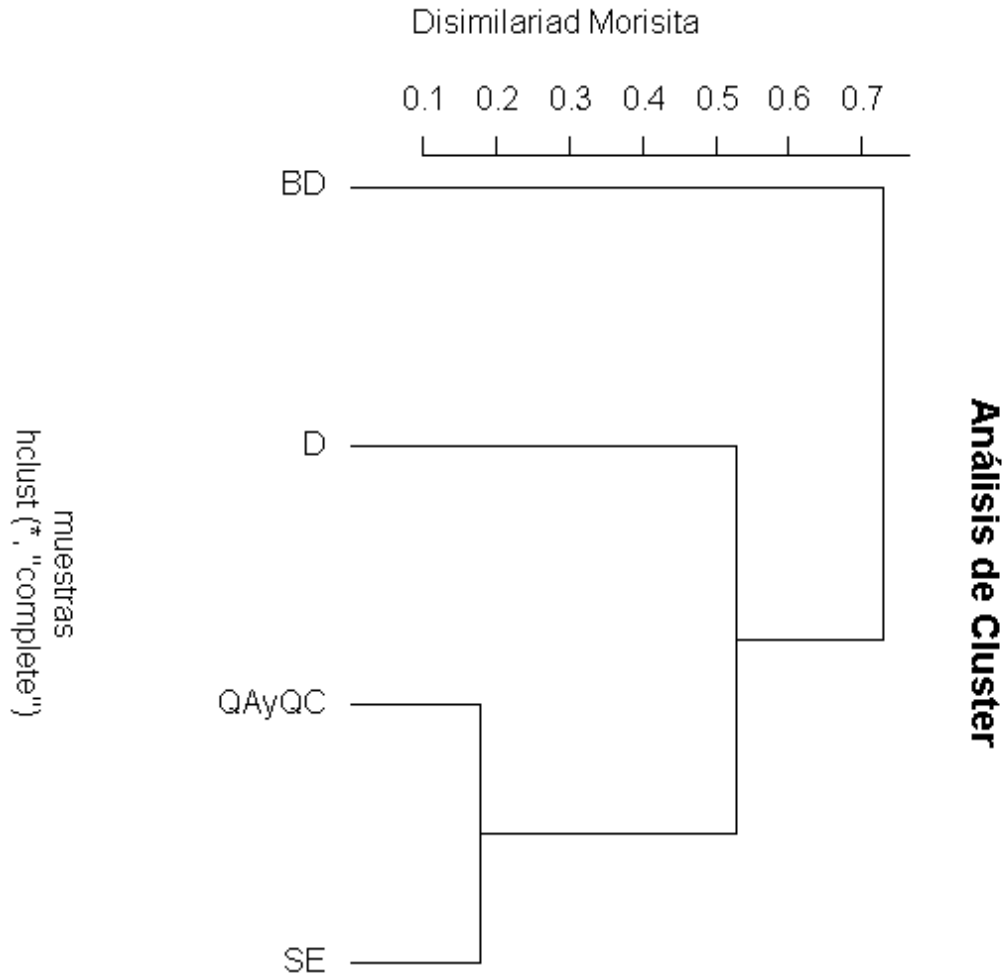


Figura 128. Clúster por estaciones de los géneros de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata de la quebrada Aguablanca en Bochalema, 2017.

5.2. Implementación de índices bióticos (BMWP/Col, IBF) en la comunidad de insectos acuáticos indicadores (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata) y estado biológico de la quebrada Aguablanca

Se determinó la presencia de las familias por cada estación para la implementación de los índices bióticos BMWP/Col e IBF (tabla 5) obteniendo para la estación SE 14 familias de las 16

familias equivalente al 87%, para la estación QAQC 15 de las 16 familias equivalente al 93%, para la estación D ocho de las 16 familias equivalente al 5% y para la estación BD seis familias de las 16 familias equivalente al 3,7%.

Tabla 5. Presencia de las familias en cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema; (x: presencia).

Familias	Estaciones			
	SE	QAQC	D	BD
Baetidae	x	x		x
Calamoceratidae	x	x	x	
Calopterygidae	x		x	x
Coenagrionidae		x		
Gomphidae	x	x	x	
Helicopsychidae	x	x	x	x
Hydrobiosidae		x		
Hydropsychidae	x	x	x	x
Leptoceridae	x	x	x	x
Leptohephidae	x	x	x	x
Leptophlebiidae	x	x		
Libellulidae	x	x	x	
Odontoceridae	x	x		
Oligoneuriidae	x	x		
Perlidae	x	x		
Philopotamidae	x	x		

Los resultados arrojados por el índice BMWP/Col según la clasificación de Roldan en el 2003 (tabla 6) indican que las estaciones SE y QAQC presentan una buena calidad del agua ya que en ellas se encuentran las familias Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae y Philopotamidae, esto indicando aguas no contaminadas, mientras que en las estaciones D y BD no se presentan estas familias dando una dudosa calidad del agua al estar moderadamente contaminadas.

Tabla 6. Resultados de la calidad del agua en las estaciones de muestreo según el índice BMWP/Col en la quebrada Aguablanca en Bochalema.

BMWP/Col				
Estación	Puntaje	Calidad	Significado	Color
SE	113	Buena	Agua no contaminada	
QAQC	122	Buena	Agua no contaminada	
D	59	Dudosa	Agua moderadamente contaminada	
BD	44	Dudosa	Agua moderadamente contaminada	

Con respecto a los resultados arrojados por el índice IBF (tabla 7), se indica que las estaciones SE y QAQC presentan muy buena calidad del agua al no tener perturbación, a diferencia de las estaciones D y BD las cuales presentan una calidad regular del agua al tener perturbación.

Tabla 7. Resultados de la calidad del agua en las estaciones de muestreo según el índice IBF en la quebrada Aguablanca en Bochalema.

Estación	Puntaje	Calidad
SE	3,7	muy buena, no perturbado
QAQC	3,7	muy buena, no perturbado
D	4,8	Regular, perturbado
BD	4,8	Regular, perturbado

5.3 Determinación de variables fisicoquímicas in situ (pH, Oxígeno disuelto, Conductividad y Temperatura) ex situ (DQO y DBO5) y su relación con la calidad biológica del agua en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.

Para la estación SE (tabla 8), se registra en temperatura un promedio de 15°C, pH con un valor de 7, de Conductividad 3 µs/cm, Oxígeno disuelto 6 mg/L, DQO 114 mg/L, DBO₅ 72 mg/L, para la estación QAQC se registró, en temperatura un promedio de 20°C, pH un valor de 7, Conductividad 4 µs/cm, Oxígeno disuelto 6 mg/L, DQO 133 mg/L, DBO₅ 84 mg/L, para la estación D se registró, temperatura 20°C, pH valor de 6, Conductividad 7 µs/cm, Oxígeno disuelto 5 mg/L, DQO 176 mg/L, DBO₅ 111mg/L y para la estación BD se registró en temperatura 20°C, pH valor de 7, Conductividad 6 µs/cm, Oxígeno disuelto 6 mg/L, DQO 168 mg/L, DBO 106mg/L. En la estación SE, la variable con mayor coeficiente de variación es Conductividad con un valor de 91,47; para la estación QAQC, es la variable Conductividad con un valor de 108,78, para la estación D y BD, son las variables DQO y DBO₅ (tabla 9) con un valor de 61 para la estación D y 62 para la estación BD.

Tabla 8. Valores de parámetros fisicoquímicos in situ representados para cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema.

Estaciones	T	pH	Cond	OD
SE	15 °C	7	3 µs/cm	6 mg/L
QAQC	20 °C	7	4 µs/cm	6 mg/L
D	20 °C	6	7 µs/cm	5 mg/L
BD	20 °C	7	6 µs/cm	6 mg/L

Tabla 9. Valores de parámetros fisicoquímicos ex situ representados para cada estación de muestreo en la quebrada Aguablanca en Bochalema.

Estaciones	DQO	DBO
SE	114 mg/L	72 mg/L
QAQC	133 mg/L	84 mg/L
D	176 mg/L	111 mg/L
BD	168 mg/L	106 mg/L

La correlación de Pearson indica una relación lineal positiva directamente proporcional entre la abundancia obtenida durante el estudio y la variable DQO, de igual manera entre la abundancia y la variable DBO₅, una correlación de Pearson del 0,98 entre la abundancia y la Temperatura y una correlación de 0,89 entre la abundancia y la variable Conductividad. Para la estación SE y D los parámetros que se correlacionan con la abundancia y la riqueza son Temperatura, pH y DQO con un valor de correlación de uno. Para la estación QAQC son Temperatura, pH, Conductividad y DQO con un valor de correlación de uno. Para la estación BD en abundancia son la Temperatura, pH y DQO con una correlación de uno, mientras que para la riqueza todas las variables presentan una correlación de uno.

El análisis de correspondencia canónica (figura 19) explica un 89,33% la relación de las variables abióticas con la abundancia de géneros. Se observa una relación entre las variables DQO, DBO₅, Temperatura, Conductividad, pH, OD, con los géneros *Baetodes*, *Leptohyphes* y *Leptonema*, en la estación BD. Esto indica que los *Baetodes*, *Leptohyphes* y *Leptonema*, en comparación a los demás géneros, se adaptan mejor a condiciones de 20° de temperatura, 6 -7

$\mu\text{s/cm}$ de conductividad, 6 – 7 de pH y 5 – 6 mg/L de oxígeno disuelto.

CCA = 89,33%

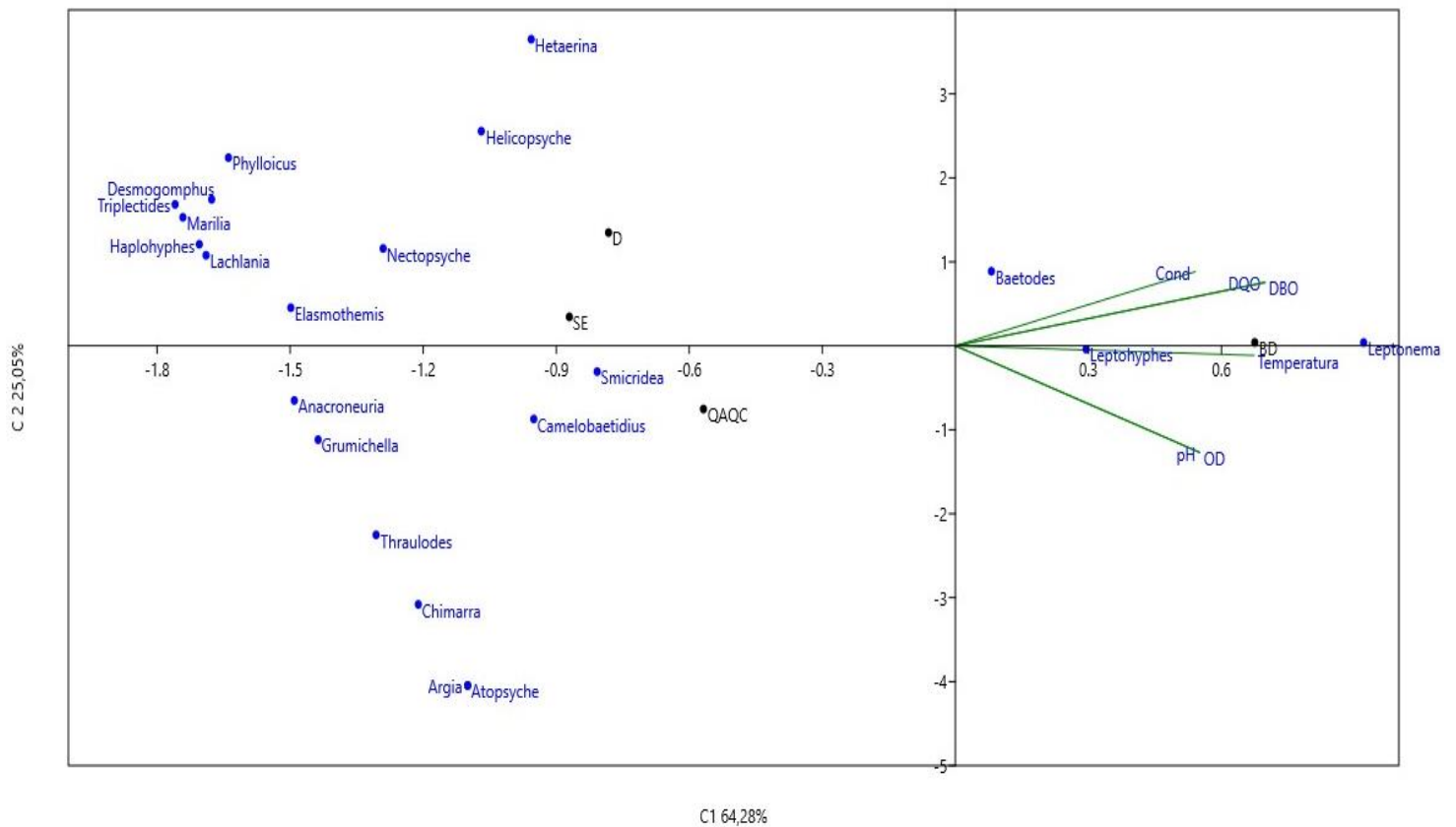


Figura 19. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de los parámetros fisicoquímicos, relacionados con los géneros en las diferentes estaciones de muestreo, en la quebrada Aguablanca en Bochalema.

6. DISCUSIÓN

6.1. Caracterización de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata).

Lo registrado en el presente estudio se asemeja a lo reportado por Castellanos, P., (2007), encontrando 4845 individuos en el páramo de Santurban, variando en los grupos macroinvertebrados acuáticos colectados estudiados y la altitud del muestreo. En concordancia con Forero, L., *et al.* (2014), en cuanto al nivel taxonómico para evaluar los cuerpos de agua, se refleja un cambio en los valores de tolerancia entre el taxón de género y familia. En desacuerdo con Hahn-von, C., *et al.* (2009), en el caso de la familia Hydropsychidae catalogada como una familia sensible a niveles de contaminación y el género *Leptonema* perteneciente a esta familia el cual muestra en este estudio una baja tolerancia ante los cambios fisicoquímicos que presenta la quebrada Aguablanca. El género *Leptonema* muestra el mayor porcentaje de abundancia en el estudio, siendo en la estación BD el género mejor presentado, se puede catalogar como una especie oportunista al aprovechar la perturbación causada por el desagüe como lo señala Gil, J. (2014). Al igual que en el estudio realizado por Madera, L., (2016), lo registrado en riqueza y abundancia (ver figura 13 y 14) permite apreciar que existen diferencias entre las estaciones antes, durante y después del desagüe, se observa una disminución de diversidad de las estaciones D y BD, con respecto a SE y QAQC, desvelando una incidencia antrópica provocada por el desagüe que está alterando de forma pasiva el cuerpo de agua. De lo encontrado en el orden Ephemeroptera, se registraron cuatro de las nueve familias de las cuales Baetidae, Leptohephidae, Leptophlebiidae son familias de mayor distribución y diversidad en la región andina, también se registran seis de los 55 géneros reportados para el país (Roldan, 2014). A nivel del departamento se reportó el

mismo número de familias encontradas en el estudio de Sánchez H, M., *et al.* (2005) y dos familias, dos géneros más de los reportados en el trabajo de Rico, C., *et al.* (2007) en la Quebrada la Tigra. El orden Plecoptera es un grupo estudiado en Colombia con respecto a otros de escasa información en el país (Roldan, 2014), lo encontrado para el orden Plecoptera concuerda con lo registrado para el departamento por Sánchez H, M., *et al.* (2005) y Rico, C., *et al.* (2007). Se encontró la familia Perlidae y el género *Anacroneuria* el cual se encuentra en un rango altitudinal de 50 a 3,600 msnm, es el género dominante tanto en Colombia como en el Neotrópico (Zúñiga y Stark 2007; Roldan, 2014). Trichoptera es uno de los grupos de mayor distribución en la entomofauna y de mayor presencia para la bioindicación (Roldan, 2014), presenta más estudios en conjunto a Ephemeroptera y Plecoptera, para este trabajo al igual que lo registrado por Vásquez, J.*et al.* (2013), el orden Trichoptera fue el de mayor diversidad en el estudio registrando ocho familias y 10 géneros de 13 familias y 45 géneros reportados para el país (Muñoz-Quesada, 2000; Roldan, 2014) y en similitud con lo reportado en el departamento por Sánchez H, M., *et al.* (2005) y Rico, C., *et al.* (2007). El orden Odonata, a diferencia de los otros trabajados en este estudio no presenta un amplio estudio en el país (Roldan, 2014), en concordancia con Rico, C., *et al.* (2007) en Odonata para el departamento se registraron cuatro familias, cuatro géneros de 15 familias y 95 géneros reportados para el país (Pérez, G. y Palacino, R., 2011; Roldan, 2014). En diferencia con lo reportado por Sánchez H, M., *et al.* (2005), se encuentra la familia Gomphidae para el departamento.

6.1.1. Determinación de diversidad (Chao & Jost) y diversidad (alfa) de los insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata).

Al igual que en otros estudios como el llevado a cabo por Olarte, C., *et al.*, (2017) en mariposas, la curva de completitud indica que en el esfuerzo de muestro se obtuvo un alto porcentaje de especies observadas para las diferentes estaciones de muestro (ver figura 15) e indica el comportamiento de la riqueza y la abundancia en cada estación, señalando la diferencia entre las estaciones conservadas las cuales son SE y QAQC, ubicadas antes del desagüe y las perturbadas las cuales fueron D y BD después del desagüe. En concordancia con Medina, R., *et al.* (2016) las curvas de rango-abundancia muestran las diferencias en riqueza y abundancia de cada estación determinadas por las especies raras, comunes y dominantes (ver figura 16) resaltando los géneros de mayor dominancia como *Leptonema* y *Smicridea* las cuales pueden verse influenciadas por la interacción antrópica del desagüe como se observa en los trabajos de Rodríguez, J. *et al.*, (2016) y Vásquez, J. *et al.*, (2013), ya que su dominancia aumenta en gran medida en las estaciones D y BD, al igual que disminuyen los valores de géneros como *Leptohyohes* y la nula existencia en estas estaciones de *Anacroneuria*, *Chimarra*, *Argia*, *Atopsyche*. Se encuentra concordancia en lo que respecta al uso de perfiles de diversidad al igual que Olarte, C., *et al.*, (2017) y Casas, L., *et al.* (2017). Para este estudio, la diversidad de orden 0D permite evaluar la riqueza denotando la pérdida del 58% en las estaciones D y BD (Ver figura 17), esto corrobora la existencia de la pérdida de la biota acuática en la quebrada Aguablanca producto de la incidencia antrópica del desagüe, determinada por los valores tan bajos obtenidos a nivel de riqueza en las estaciones D y BD, en comparación de las estaciones SE y QAQC. Con respecto a la diversidad de orden 1D que incluye a las especies raras (singletons y doubletons) según lo postulado por Chao & Jost (2012) muestra a la estación SE como el sitio de muestro con mayor diversidad al ser 4,16 veces más diverso que

la estación QAQC, 5,44 veces más diverso que la estación D y 10,18 veces más diverso, dividiendo una pérdida del 82% de la diversidad entre la estación SE misma estación que registro una buena calidad del agua y la estación BD que se ubica aguas abajo del desagüe que registro la peor calidad del agua, con respecto a la diversidad de orden 2D , se registra una pérdida del 83% de especies dominantes con respecto a las estaciones después del desagüe, esto se explicaría con la presencia resaltada del género *Leptonema*, quien se está acoplado al cambio físico y químico del agua, para su desarrollo, esto genera desplazamiento de los demás géneros, limitando sus poblaciones. A diferencia de Daza, M., *et al.* (2016), el análisis de disimilaridad de Morisita (ver figura 18), es el que mejor explica la relación entre las estaciones, agrupando a las estaciones con mayor similitud como lo fueron SE y QAQC, quienes presentan valores cuantitativos similares tanto en abundancia como riqueza, cerca de ellas D, su cercanía se explica debido a las especies raras de los diferentes géneros como lo son *Phylloicus*, *Elasmothermis* y *Desmogomphus*, las cuales comparte con las estaciones SE y QAQC, y como aparte con menor relación la estación BD, al presentar mucha diferencia en lo que respecta a abundancia y riqueza, tampoco presenta especies raras con las estaciones antes del desagüe. De acuerdo con Daza, M., *et al.* (2016) los resultados obtenidos con índices de diversidad e índices bióticos, son de gran aporte para la evaluación de los cuerpos de agua, al arrojar valores que permiten corroborar el comportamiento de la biota acuática.

6.2. Implementación de índices bióticos (BMWP/Col, IBF) en la comunidad de insectos acuáticos indicadores (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata) y estado biológico de la quebrada Aguablanca.

De acuerdo con García, S. (2016) el índice BMWP/Col y el IBF arrojan valores similares de calidad del agua. Los resultados obtenidos con los índices BMWP/Col (ver tabla 6) son similares

a los obtenidos por Sánchez H, M., *et al.* (2005) en el departamento. Tanto el índice BMWP/Col como el IBF (ver tabla 7) muestran que las estaciones del desagüe (D) y bajo el desagüe (BD) presentan una clasificación III (Roldan, 2003), en donde se indica una calidad dudosa del agua al presentar contaminación, esto corrobora lo obtenido con los análisis de diversidad. *Leptonema* se ha reportado como un género con gran capacidad de tolerar diferentes tipos de ambiente (Vásquez-Ramos, *et al.* 2010; López-Delgado 2015), esto explica la gran presencia del género *Leptonema* tomándose como una especie oportunista (Gil, J., 2014) en las estaciones BD, su gran adaptación a los cambios fisicoquímicos, afectando la riqueza y abundancia de las demás especies presentes en el cuerpo de agua. Para las estaciones SE y QAQC, se tuvieron valores cercanos a los registrados por Hahn-von, *et al.*, (2009), los índices BMWP/Col y el IBF arrojan categoría I indicando aguas buenas o muy limpias, sin perturbación, esto explica la presencia de géneros como *Anacroneuria* en SE y QAQC y la ausencia de la misma en D y BD ya que presenta una sensibilidad muy alta ante cualquier perturbación del cuerpo de agua.

6.3. Determinación de variables fisicoquímicas in situ (pH, Oxígeno disuelto, Conductividad y Temperatura) ex situ (DQO y DBO5) y su relación con la calidad biológica del agua en la quebrada Aguablanca del municipio de Bochalema, Norte de Santander, Colombia.

En estudios similares se ha encontrado que las variables pH, Temperatura, Conductividad y Oxígeno disuelto al igual que en este trabajo, son importantes para la distribución de los diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos (Carvacho-Aránguiz, 2012; Morelli y Verdi, 2014). Los datos obtenidos en las variables pH, Temperatura, Oxígeno disuelto y Conductividad concuerdan a las registradas para el departamento por Rico, C., *et al.* (2007) y las variables pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad, DQO y DBO₅ concuerdan con lo registrado por Sánchez H, M.,

et al. (2005). Para el presente estudio las variables DQO y DBO₅, se registran como las variables de mayor significancia y fluctuación al comprender valores que van de 114 mg/L a 168 mg/L para DQO y 72 mg/L a 111 mg/L para DBO₅, en las diferentes estaciones de muestreo, con respecto a la normativa permitida por el ministerio de ambiente y desarrollo constante (MINAMBIENTE), se registra su valor por debajo de los valores permisibles expuestos en el capítulo V “Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas – ARD y de las aguas residuales (ARD – ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de agua superficiales” en la resolución No. 0631 del 17 de marzo del 2015.

En concordancia con Carvacho-Aránguiz, (2012) y Morelli y Verdi, (2014), las variables con mayor significancia en relación con los insectos acuáticos por estación fueron en su orden DQO, DBO₅, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto y pH debido a que todas se relacionaron tanto en riqueza como en abundancia en las diferentes estaciones, en el caso de la estación BD, se observa que las variables explican la presencia de *Baetodes*, *Leptohyphes* y *Leptonema* tanto en su abundancia como su riqueza al ser los géneros con mejor adaptación a los cambios fisicoquímicos (ver figura 21).

7. CONCLUSIONES

- El orden Trichoptera representa el 70% del muestreo total, con 3216 ejemplares distribuidos en ocho familias y 10 géneros reportando el 60% de las familias y el 22% de los géneros reportados en el país. De los cuales sobresale *Leptonema* con el 92% de lo registrado de todo el orden, convirtiéndose en el género más representativo del estudio y primer registro junto con los géneros *Triplectides* del orden Trichoptera y *Haplohyphes*, *Lachlania*, *Camelobaetidius* y de orden Ephemeroptera para el departamento Norte de Santander.
- La interpretación de la diversidad en términos del número efectivo de especies, permite una comparación más real y acertada de los cambios de la diversidad de los hábitats acuáticos, en este estudio se evidencia la pérdida en términos de diversidad a raíz del vertimiento de aguas residuales que ocasionó una disminución del 82% de la diversidad registrada antes del desagüe del casco urbano de Bochalema.
- Los índices bióticos BMWP/Col e IBF, catalogan la quebrada Aguablanca en dos categorías, siendo una de categoría I, indicando buen estado del agua en las estaciones SE y QAQC y de categoría III, indicando aguas dudosas, con algún grado de contaminación, perjudicando tanto a veredas, pueblos, como a animales y demás organismos que entran en contacto con el agua después del vertimiento.
- En este estudio se resalta la influencia de las variables DQO, DBO₅, Conductividad, Oxígeno disuelto, Temperatura y pH, las cuales presentaron una correlación lineal con la abundancia y la riqueza del ensamble de macroinvertebrados acuáticos, dicha influencia se evidencia con la alta sensibilidad obtenida con las especies del género *Anacroneturia* la cual solo fue registrada para las estaciones antes del desagüe y en la tolerancia de otras como lo fueron las especies

de los géneros *Baetodes*, *Leptohyphes* y *Leptonema* quienes están presentes en todas las estaciones pero presentan mayor abundancia en las estaciones después del desagüe, mismas estaciones en las que se presentan los valores más altos tanto en DQO y DBO₅, como en Conductividad y Oxígeno disuelto, alteraciones en la distribución de las mismas a causa de la perturbación antrópica del desagüe.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón Pérez, B. A., & Álvarez, M. (2016). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *INDES*, 2(2): 98-107.
- Álvarez, L. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Proyecto Andes, Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, D.C.; p. 9.
- Amédégnato, C. & H. Devriese. (2008) Global diversity of true and pygmy grasshoppers (Acridomorpha, Orthoptera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 535-543.
- Batzer, D., & Boix, D. (2016). Invertebrates in Freshwater Wetlands: An International Perspective on their Ecology. En D. Batzer, & D. Boix, *Invertebrates in Freshwater Wetlands: An International Perspective on their Ecology* (págs. 1-23). Springer International Publishing.
- Batzer, D., & Ruhí, A. (2013). Is there a core set of organisms that structure macroinvertebrate assemblages in freshwater wetlands? *Freshwater biology*, 1647-1659.
- Benítez Abud J. A., E. Barba Macías y J. Juárez Flores. 2016. Composición y distribución de la entomofauna acuática en arroyos de Tabasco, México. *Hidrobiológica* 26 (3): 509-518.
- Bernal, E.; García, D.; Novoa, M.; Pinzón, A. (2006). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia): Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Bogotá.
- Boix, D., Kneitel, J., Robson, B. J., Duchet, C., Zúñiga, L., Day, J., & Blaustein, L. (2016). Invertebrates of Freshwater Temporary Ponds in Mediterranean Climates. *Invertebrates in Freshwater Wetlands*. Springer International Publishing, 141-189.

- Carrie, R., & Kay, E. (2014). Capitulo de Belize. En A.-E. Perla, J. M. Mora, B. Campbell, & M. Springer, *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico* (pág. 446). IMTA México.
- Castellanos, P., (2007) “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurban, Norte de Santander, Colombia. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias. Departamento de Santander.
- Carvacho-Aránquiz, C. A. (2012). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile. Tesis de maestría. Universidad de Barcelona.
- Chao, A., & L., J. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12): 2533-2547.
- Chao, A., Chiu, C. H., & Jost, L. (2010). Phylogenetic diversity measures based on Hill numbers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365: 3599-3609.
- Chará-Serna, A. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. Universidad Javeriana Facultad de Ciencias, Bogotá, 15(1), 27-36. Obtenido de www.javeriana.edu.co/universitas_scientiarum
- Cornejo, A., & Bernal, J. (2014). Capitulo de Panamá. En A.-E. Perla, J. M. Mora, B. Campbell, & M. Springer, *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico* (pág. 446). IMTA México.
- Cornejo, A., & Gutiérrez Fonseca, P. E. (2015). Orden Plecoptera (Insecta) en Panamá: listado, distribución de especies, comparación con la riqueza taxonómica regional. *Puente Biológico*, 7: 109-129.

- Daza, M., & Patiño, D. (2016). BIOINDICACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO SUBACHOQUE MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS Y PARAMETROS FISICOQUIMICOS COMO UNA INTEGRACION ESPACIAL Y TEMPORAL. 116.
- Darrigan, G., A. Vilches., T. Legarralde & C. Damborenea. - Guía para el estudio de Macroinvertebrados. Métodos de colecta y Técnicas de fijación. Serie Técnica Didáctica No 10 ISSN 1515 – 9329. ProBiota, FCNyM, UNLP. 2007. 86p.
- Domínguez, E., Hubbard, M., Pescador, M. & Molineri, C. (2001). Ephemeroptera. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos (ed. por Fernández, H.R. & Domínguez, E.), pp. 17 – 53. Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Argentina: Fundación Miguel Lillo. Primera Edición.
- Duque, J. (2008). Calidad del agua de la parte alta de tres quebradas en la microcuenca Llanitos (Villamaría, Caldas) a través de análisis fisicoquímicos y de macroinvertebrados acuáticos. Tesis, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Manizales.
- Epele, L. B., & Archangelsky, M. (2014). Comunidades de invertebrados acuáticos de mallines de Patagonia, bajo distintos niveles de antropización (tesis de doctorado). Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Forero, L. C., Longo, M., Ramírez, R. J. J., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICERN-MAE), Colombia. Revista de Biología Tropical, Vol. 62 (Supl. 2): 231-245.

- Fuentes, F., and A. Massol-Deya. (2002). Manual de Ecología Microbiana. Departamento de Biología. Universidad de Puerto Rico.
- Gaufin, A. R. & Tarzwell C.M. (1952). Aquatic invertebrates as indicators of stream Pollution. Amer. Publ. Health Rep. 67: No. 1.
- García, S. (2016). Evaluación de la calidad de agua del río Shilcayo, mediante la diversidad de insectos acuáticos, Tarapoto, Perú. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.
- Gil, J. A. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. (Trabajo de Investigación) Universidad de Manizales, 1-84.
- Guerra, J. (2016). Manual de prácticas de calidad del agua. Manual.
- Guerrero, F.; Manjarrés, A. & Núñez, N. (2003). Los macroinvertebrados acuáticos de Pozo Azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Tesis: Universidad del Magdalena, Facultad de Ciencias Básicas, Santa Marta.
- Gutiérrez, S. (2008). Uso de macroinvertebrados como bioindicación de la calidad del agua de la granja Yamboró, Pitalito, Huila. Tesis: Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Manizales.
- Gutiérrez-Fonseca, A. R. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. Revista de Biología tropical, 9-20.
- Hahn-Vonhessberg, Christine M *et al.* (2009). DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE INDICADORES BIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS, EN LA ESTACIÓN PISCÍCOLA, UNIVERSIDAD DE CALDAS, MUNICIPIO DE PALESTINA, COLOMBIA. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas [online], vol.13, n.2 [citado 2018-01-11], pp.89-105.

- Hanson, P. S. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 3-37.
- Holzenthall, R. T.-T. (2015). Order Trichoptera. En J. Thorp, & D. Rogers, *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater* (págs. 965-1002). Academic Press.
- Hynes, H. B. N. (1959). The use of invertebrates as indicators of river pollution. *J. Soc. London*, (2):165-170.
- Hynes, H. B. N. (1963). *The biology of polluted water*. Liverpool University Press, 202.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2013). iNEXT online: interpolation and extrapolation (version 1.0) [Software]. Obtenido de <http://chao.stat.nthu.edu.tw/inext>.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 496 páginas.
- J.M., V., G., G., & G., R. (2013). Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 25: 61-70.
- J.M., V., G., G., & G., R. (s.f.). Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 25: 61-70.
- Jara, J. (2015). *Evaluación de la calidad de agua del río Salome mediante el uso de bioindicadores acuáticos en el Cantón Pastaza*, tesis, Universidad Nacional de Loja, Carrera de ingeniería en manejo y conservación del medio ambiente. 16.
- Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88: 2427-2439.

- Jost, L. D. (2010). Partitioning diversity for conservation analyses. *Journal of Conservation Biogeography, Diversity and Distributions*, 16: 65-76.
- Juan, D., Guido, O., Rubiel, C., Leonidas, Z., Hildier, Z., & Gerardo, N. (2017). Estado trófico de la madre vieja Gota e'Leche, Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. Basada en parámetros físicos, químicos y biológicos. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIA ANIMAL*, 38-44.
- Latorre-Beltrán, I. T., Novelo-Gutiérrez, R., & Favila, M. E. (2014). Diversidad genérica de Trichoptera (Insecta) en dos microcuencas del Páramo Rabanal (Cundinamarca-Boyacá, Colombia). *Biológica Tropical* Vol. 62 , 97-110.
- Lenntech. 2007a. Agua residual y purificación del aire
- Madera, L., Angulo, L. C., Diaz, L. C., & Rojano, R. (2016). Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. *Scielo*, 27(4), 103-110. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>.
- Machado, T., Roldán G. (1981). Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anori y sus principales afluentes. *Rev. Actual. Biol*; 10(35):3-19.
- Machado, A. (2001). Caracterización fisicoquímica y biológica de las cuencas de los ríos Tapias y Tareas, Departamento de Caldas, Colombia. Universidad de Antioquia. Medellín.
- Madera, L. et al. (2016). Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. Artículo, Universidad Popular del Cesar, grupo de investigación GEAB-CIDTEC, Facultad de Ingeniería, Cesar.

- Marín, M. A., Álvarez, C. F., Giraldo, C. E., Pyrcz, T. W., Uribe, S. I., & Vila, R. (2014). Mariposas en un bosque de niebla andino periurbano en el valle de Aburrá, Colombia. *Mexicana de Biodiversidad*, 200-208.
- Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82: 1249-1261.
- Morisita, H. (1959). Measuring of interspecific association and similarity between communities. . *Mem. Fac. Sci. Kyushu. Univ. Ser. E. Bio*, 3: 65-80.
- Mozquera-Murillo, Z. (2015). Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. *Scielo*, 67-76.
- Mozquera-Murillo, Z. (2015). Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. Artículo, Universidad Tecnológica del Chocó, Grupo de Limnología, Facultad de Ciencias Básicas, Chocó.
- Muñoz-Quesada, F. (2000). Especies del orden Trichoptera (Insecta) en Colombia. *Biota Colombiana* 1(3): 267-288.
- Navarro-Picado, J., Spínola-Parallada, M., Madrigal-Mora, A., & Fonseca-Sánchez, A. (2017). Selección de hábitat de *Lontra longicaudis* (Carnivora, Mustelidae) bajo la influencia de la represa hidroeléctrica del río Peñas Blancas y sus tributarios, Alajuela, Costa Rica. *UNICIENCIA* Vol. 31, No. 1, 73-84.
- Olarte-Quiñonez, C. A., Acevedo-Rincón, A. A., Ríos-Málaver, I. C., Carrero-Sarmiento, D. A., (2016). Diversidad de mariposas (Lepidoptera, Papilionoidea) y su relación con el paisaje de alta montaña en los Andes nororientales de Colombia. *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 14: 233-255.

- Oleas, J., Bravo, Y., & Clevel, K. (2016). ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE LOS RÍOS TEAONE Y ATACAMES EMPLEANDO MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES. *Gestión Ambiental Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas*, 22-30.
- Oscosz, J. (2009). Guía de campo de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Departamento de Zoología y Ecología, Universidad de Navarra, 4-125.
- Palma, A. (2013). Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. Departamento de Ecología y Medio Ambiente, del Instituto de Filosofía y Ciencias de la Complejidad (IFICC), 122.
- Pérez, G. (2009). Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquía. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 170.
- Pérez, G. R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá, Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 148.
- Perla, A.-E., Mora, J., Campbel, B., & Springer, M. (2014). Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. IMTA México.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). LOS MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DE LAS AGUAS. En E. Domínguez, & H. Fernández, *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y biología* (Vol. 9, pág. 211). Montevideo, Uruguay: Sociedad Malacológica del Uruguay.
- Reinoso-Flórez, G. 1999. Estudio de la fauna béntica del río Combeima, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, Vol: 11 Fasc: 1 pp: 35-44.

- Rico, Claudia; Paredes, Mayerly; Fernandez, Nelson. (2009). MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES. *Acta Biológica Colombiana*, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 71-96, sep. ISSN 1900-1649.
- Rodríguez Badillo L., P. Ríos Guayasamín, M. Espinosa Chico, P. Cedeño Loja y G. Jiménez Ortiz. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiológica* 26 (3): 497-507.
- Rojas Ruiz, N. E., Muñoz Zurita, G., Sosa Jiménez, A., & Baqueiro Peña, I. (mayo-agosto de 2016). Determinación de localidad microbiológica del agua de la Laguna de Chapulco, Puebla. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* (68), 29-35.
- Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia- Conciencias - Universidad de Antioquia, Editorial Presencia Ltda. Santafé de Bogotá.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 23 (88): 375-387.
- Roldán, G. (2001). Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales Colección Jorge Álvarez Lleras* No. 9.
- Roldán, G. (2003). La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Universidad de Antioquía, Medellín, 170.

- Roldán- Pérez, G. (2012) Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá, Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 148 pág.
- Roldán, G., Zúñiga, M. d., Zamora, H., Álvarez, L., Reinoso, G., & M. Longo, M. (2014). Capitulo de Colombia. En A.-E. Perla, J. M. Mora, B. Campbell, & M. Springer, Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. (pág. 446). IMTA México.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Vol. 40, 155.
- Sánchez Herrera, Marjorie Josefina (2001). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas [en línea] 2005, 3 (Julio).
- Sánchez Herrera, Marjorie Josefina. (2004) Estudio Limnológico de la Zona Alta del río Pamplonita. Universidad Francisco de Paula Santander. 127p.
- Sermeño, J., Serrano, L., Springer, M., Paniagua, M., Peres, D., Rivas, A., & Arias, A. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). ResearchGate, 45.
- Springer, M., Echeverría-Sáenz, S., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Capitulo de Costa Rica. En A.-E. Perla, J. M. Mora, B. Campbell, & M. Springer, Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico (pág. 446). IMTA México.

- Stark, B. P., Froehlich, C., & Zúñiga, M. C. (2009). South American Stonflies (Plecoptera). En J. Adis, J. R. Arias, S. Golovatch, K. M. Wantzen, & G. Rueda Delgado, Aquatic Biodiversity of Latin American-ABLA (Vol. 5, pág. 154). Pensoft.
- Stevens Institute of Technology (SIT). 2006a. Demanda Biológica de Oxígeno. (en línea). Consultada 18 de Sep 2007.
- Tamaris-Turizo, C. & Sierra-Labastidas, T. (2009). Una inspección al papel de la producción de los Plecopteros en los sistemas lóticos. *Revista de Ciencias. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad del Valle. Vol. 13*: 109-120.
- Tamarís-Turizo, C. J.-S. (2014). Hábitos alimentarios de individuos inmaduros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de un río tropical de montaña. *Revista de Biología Tropical*, 169-178.
- Torres-García, U., Pérez-Valladares, C. X., Herrería-Diego, Y., & Pineda-López, R. F. (2014). Efecto de los factores ambientales sobre la diversidad de insectos hemimetábolos y coleópteros acuáticos en la cuenca del Río Xichú, Guanajuato, México. *Revista de Biología Tropical*, vol. 62, núm. 2, 69-80.
- Vásquez, J. G. (2013). Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 25: 61-70.
- Vásquez-Ramos, J., Guevara-Cardona, G., & Reinoso-Flórez, G. (2013). Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias*, 25(1), 61-70.

- Vásquez, J. M., Guevara, G., & Reinoso, G. (2014). Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricoteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 62 (Suppl. 2): 21- 40.
- Yungán Zambrano, J. L. (2010). Estudio de la Calidad del agua en los Afluentes de la Microcuenca del Río Blanco para determinar las causas de la degradación y alteración del Manejo. 145.
- Zamora, H. (2000). Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Unicauca Ciencia* 4: 47-59.
- Zamora-Muñoz, C., Sáinz-Bariáin, M., & Bonada, N. (2015). Orden Trichoptera. *Ibero Diversidad Entomológica @ccesible (IDEA@ - SEA)*, n° 64: 1-21.
- Zúñiga, M. del C. Rojas, A.M. & Mosquera, S. 1997. Biological aspect of Ephemeroptera in rivers of southwestern Colombia (South América). Pp. 261-268. En: Landolt, P. y Sartori, M. (Eds). *Ephemeroptera and Plecoptera biology, ecology and systematics*. MTL, Mauron Tinguely y Lachat S.A., Switzerland.
- Zúñiga, M. C. (2010). Diversidad, distribución y ecología del orden Plecoptera (Insecta) en Colombia, con énfasis en Anacroneuria (Perlidae). *Universidad de la Amazonía. Momentos de Ciencia*, 7: 101-112.
- Zuñiga, M. d., Cardona, W., Molineri, C., Mendivil, J., Cultid, C., Chará, A. M., & Giraldo, A. (2014). Entomofauna acuática del Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano, con énfasis en. *Biología Tropical* vol. 62, núm. 1, 221-241.

ANEXOS

Anexo 1. Identificación taxonómica de los ordenes Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata.



Orden: Ephemeroptera; **Familia:** Baetidae;

Género: *Baetodes*



Orden: Ephemeroptera; **Familia:** Baetidae;

Género: *Camelobaetidius*



Orden: Ephemeroptera; **Familia:**

Leptohebiidae; **Género:** *Haplohyphes*

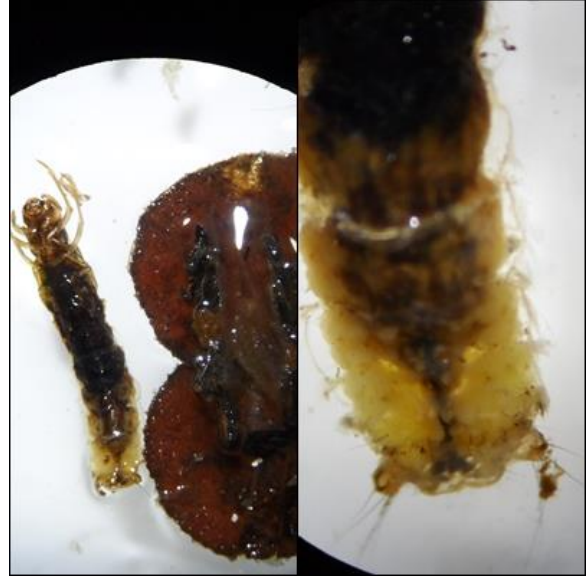


Orden: Ephemeroptera; **Familia:**

Leptophlebiidae; **Género:** *Leptohyphes*



Orden: Ephemeroptera; **Familia:** Oligoneuriidae; **Género:** *Lachlania*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Calamoceratidae; **Género:** *Phylloicus*



Orden: Plecoptera; **Familia:** Perlidae; **Género:** *Anacroneuria*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Helicopsychidae; **Género:** *Helicopsyche*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Hydrobiosidae; **Género:** *Atopsyche*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Hydropsychidae; **Género:** *Smicridea*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Hydropsychidae; **Género:** *Leptonema*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Leptoceridae; **Género:** *Grumichella*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Leptoceridae;
Género: *Nectopsyche*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Odontoceridae; **Género:** *Marilia*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Leptoceridae;
Género: *Triplectides*



Orden: Trichoptera; **Familia:** Philopotamidae; **Género:** *Chimarra*



Orden: Odonata; **Familia:** Calopterygidae;
Género: *Hetaerina*



Orden: Ephemeroptera; **Familia:** Leptohyphidae; **Género:** *Thraulodes*



Orden: Odonata; **Familia:** Coenagrionidae;
Género: *Argia*



Orden: Odonata; **Familia:** Gomphidae;
Género: *Desmogomphus*



Orden: Odonata; **Familia:** Libelullidae;
Género: *Elasmothemis*



Orden: Ephemeroptera; **Familia:**
Leptophlebiidae; **Género:** *Thraulodes*

Anexos 2. Tablas de BMWP/Col e IBF por estación.

BMWP/Col. estación SE.

SE	
familia	Puntaje
Baetidae	7
Calamoceratidae	8
Calopterygidae	7
Gomphidae	9
Helicopsychidae	8
Hydropsychidae	7
Leptoceridae	8
Leptohyphidae	7
Leptophlebiidae	9
Libellulidae	5
Odontoceridae	10
Oligoneuriidae	9
Perlidae	10
Philopotamidae	9
Total	113

BMWP/Col. estación QAQC.

QAQC	
Familia	Puntaje
Baetidae	7
Calamoceratidae	8
Coenagrionidae	7
Gomphidae	9
Helicopsychidae	8
Hydropsychidae	7
Hydrobiosidae	9
Leptoceridae	8
Leptohyphidae	7
Leptophlebiidae	9
Libellulidae	5
Odontoceridae	10
Oligoneuriidae	9
Perlidae	10
Philopotamidae	9
Total	122

BMWP/Col. estación D.

D	
Familia	Puntaje
Calamoceratidae	8
Calopterygidae	7
Gomphidae	9
Helicopsychidae	8
Hydropsychidae	7
Leptoceridae	8
Leptohyphidae	7
Libellulidae	5
Total	59

BMWP/Col. estación BD.

BD	
Familia	Puntaje
Baetidae	7
Calopterygidae	7
Helicopsychidae	8
Hydropsychidae	7
Leptoceridae	8
Leptohyphidae	7
Total	44

IBF estación SE.

Familias	N° de organismos (ni)	Tolerancia(ti)	ni*ti
Baetidae	13	4	52
Calamoceratidae	26	10	260
Calopterygidae	3	8	24
Gomphidae	14	7	98
Helicopsychidae	97	4	388
Hydropsychidae	339	4	1356
Leptoceridae	173	4	692
Leptohyphidae	213	4	852
Leptophlebiidae	68	2	136
Libellulidae	37	9	333
Odontoceridae	20	0	0
Oligoneuriidae	35	2	70
Perlidae	120	1	120
Philopotamidae	17	2	34
Total	1175	61	4415
	SE		3,7

IBF estación QAQC.

Familias	N° de organismos (ni)	Tolerancia(ti)	ni*ti
Baetidae	7	4	28
Calamoceratidae	1	10	10
Coenagrionidae	4	9	36
Gomphidae	1	7	7
Helicopsychidae	13	4	52
Hydrobiosidae	5	0	0
Hydropsychidae	361	5	1805
Leptoceridae	27	4	108
Leptohyphidae	125	4	500
Leptophlebiidae	154	2	308
Libellulidae	18	9	162
Odontoceridae	1	0	0
Oligoneuriidae	5	2	10
Perlidae	87	1	87
Philopotamidae	86	2	172
Total	895	63	3285
	QAQC		3,7

IBF estación D.

Familias	N° de organismos (ni)	Tolerancia(ti)	ni*ti
Baetidae	12	4	48
Calopterygidae	1	8	8
Helicopsychidae	25	4	100
Hydropsychidae	1906	5	9530
Leptoceridae	11	4	44
Leptohyphidae	459	4	1836
Total	2414	29	11566
	BD		4,8

IBF estación BD.

Familias	N° de organismos (ni)	Tolerancia(ti)	ni*ti
Calamoceratidae	4	10	40
Calopterygidae	3	8	24
Gomphidae	1	7	7
Helicopsychidae	53	4	212
Hydropsychidae	36	5	180
Leptoceridae	15	4	60
Leptohyphidae	9	4	36
Libellulidae	5	9	45
Total	126	51	604
	D		4,8