

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA  
Programa de Ingeniería Ambiental

MACROINVERTEBRADOS COMO UNA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA  
PARA LA BIOINDICACIÓN DE AGUA EN COLOMBIA

Preparada por:

Sorayda Montoya Grisales

Monografía presentada en cumplimiento de requisitos para la obtención del grado  
como Ingeniero Ambiental

Director

Jorge Alejandro Rodríguez Palacios

Magister en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Florencia (Caquetá), Colombia

2016

## Dedicatoria

A Dios que me ha permitido alcanzar grandes metas en la vida, consolidar un hogar y ver cumplidos mis sueños profesionales y laborales.

A mi esposo Miguel Ángel y a mis hijas Sofía y Antonia, por ser mi fuente de inspiración y mi roca fuerte a la cual aferrarme para continuar luchando en procura de alcanzar nuestras metas.

A toda mi familia y amigos con especial cariño.

## Agradecimientos

La autora expresa sus agradecimientos a:

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA, por ser gestores de desarrollo regional a través de la oferta del Programa de Ingeniería Ambiental, desde el cual se engrandece la vocación amazónica del departamento del Caquetá en procura de la conservación del ambiente sano.

El Director Jorge Alejandro Rodríguez, Magister en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible, por sus aportes a la culminación de este trabajo monográfico.

El Jurado William Andrés Rincón Valenzuela, Ingeniero Ambiental, por las correcciones y sugerencias hechas para la entrega final de este trabajo monográfico.

Los tutores de las diferentes asignaturas que conforman el plan de estudios del Programa de Ingeniería Ambiental.

## Contenido

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	xi
1. JUSTIFICACIÓN.....	0
2. OBJETIVOS.....	1
2.1 Objetivo General.....	1
2.2 Objetivos Específicos .....	1
3. MARCO REFERENCIA.....	2
3.1 Los Macroinvertebrados .....	5
3.1.1 Importancia de los Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.....	6
3.1.2 Ventajas de los macroinvertebrados.....	8
3.2 Concepto de Bioindicación.....	8
3.2.1 Historia de la Bioindicación.....	9
3.3 Descripción de los macroinvertebrados más relevantes en la bioindicación de agua.....	10
3.4 Monitoreo de Aguas con Macroinvertebrados.....	17

3.5 Técnicas de monitoreo de macroinvertebrados. ....	18
3.5.1 Materiales. ....	20
3.5.2 Indicaciones para la clasificación de los macroinvertebrados .....	21
3.5.3 Recomendaciones para la clasificación de los macroinvertebrados.....	21
3.5.4 Piedras y hojarasca.....	22
3.5.5 Red de patada .....	23
3.5.6 Red Surber.....	25
3.6 Índices utilizados como bioindicadores de la calidad del agua .....	27
3.6.1 Índice <i>Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera</i> EPT .....	27
3.6.2 Biological Monitoring Working Party BMWP/ Col. ....	28
3.7 Investigaciones de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en algunos países. ....	30
3.8 Investigaciones recientes de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en Colombia.....	31
3.8.1 Departamento de Tolima.....	32
3.8.2 Departamento de Antioquia .....	35
3.8.3 Departamento de Cundinamarca .....	37
3.8.4 Departamento del Valle del Cauca.....	40
3.8.5 Departamento de Caldas.....	41
3.8.6 Departamento de Caquetá .....	43
3.8.6.1 Municipio de Solano .....	43
3.8.6.2 Municipio de Florencia .....	46
3.8.6.3 Otras investigaciones realizadas en el Departamento de Caquetá .....	48

4. CONCLUSIONES.....	50
GLOSARIO.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. <i>Especies de macroinvertebrados y sus características</i> .....	11
Tabla 2. <i>Clasificación de macroinvertebrados según sensibilidad a la contaminación</i> .....	18
Tabla 3. <i>Porcentaje de Ephemeropteros, Plecópteros y Trichópteros</i> .....	28
Tabla 4. <i>Interpretación de los resultados según el método BMWP/ Col</i> .....	29

## Lista de Figuras

	pág.
<i>Figura 1.</i> Lugar provisto para el muestreo (EcoSpark, 2013).....	19
<i>Figura 2.</i> Lugar de muestreo (Carrera & Fierro, 2001).....	23
<i>Figura 3.</i> Red de patada (Carrera & Fierro, 2001).....	24
<i>Figura 4.</i> Monitoreo con Red Surber (Carrera & Fierro, 2001).....	25
<i>Figura 5.</i> Red Surber (Carrera & Fierro, 2001) .....	26



## RESUMEN

El ecosistema acuático es uno de los recursos naturales más importantes para la preservación de la vida, estos ecosistemas han sufrido grandes impactos debido a la actividad antrópica, las cuales afectan directamente la vida acuática y la calidad de las fuentes hídricas. Durante los últimos años, se ha considerado el valor de los macroinvertebrados, como uno de los principales bioindicadores de la calidad del agua. Para profundizar el estudio sobre los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua, se deben establecer los macroinvertebrados más relevantes en la bioindicación de aguas, las técnicas más adecuadas para su monitoreo, los índices biológicos utilizados para la caracterización de las aguas y, las familias de macroinvertebrados que hay presentes en las cuencas, a las cuales se les ha realizado estudios en Colombia para verificar la calidad biológica de la misma.

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos visibles sin tener que hacer uso del microscopio; estos se alimentan principalmente de materia orgánica en descomposición, sus poblaciones evolucionan de acuerdo a la calidad del agua que habitan y, si las condiciones fisicoquímicas de su entorno varían abruptamente, las poblaciones de estos macroinvertebrados se verán afectadas de manera directa.

Palabras Claves: Macroinvertebrados, Bioindicador, Técnicas de Monitoreo de Macroinvertebrados, Índices Biológicos

## ABSTRACT

The aquatic ecosystem is one of the most important natural resources for preservation of life, these ecosystems have suffered major impacts due to the anthropic activity, which directly affect aquatic life and the quality of water sources. In recent years, it has been considered the value of macroinvertebrates, as a major bioindicators of water quality.

To deepen the study of macroinvertebrates as bioindicators of quality water should establish the most relevant macroinvertebrates in bioindication waters, the most suitable for monitoring techniques, biological indexes used to the characterization of the water and the families of macroinvertebrates are present in basins, in which it has undergone studies in Colombia to verify biological quality.

Aquatic macroinvertebrates are visible organisms without having to make use of microscope; these feed mainly on decaying organic matter, their populations evolve according to the quality of water they inhabit and, if conditions physicochemical of their environment vary abruptly, the populations of these macroinvertebrates will be affected directly.

Keywords: macroinvertebrates, Bioindicator, Macroinvertebrates Monitoring Techniques , Biological Indices

## INTRODUCCIÓN

Dada la diversidad de factores que están influyendo sobre la dinámica del recurso hídrico es insuficiente la evaluación basada simplemente en los parámetros fisicoquímicos, ya que impiden tener una visión global de la calidad del agua en los ríos, pues al ser puntuales no muestran los impactos causados en los ecosistemas acuáticos a lo largo del tiempo.

A lo largo del trabajo se destaca, que para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos, han sido utilizadas las comunidades biológicas de macroinvertebrados como indicadores de las condiciones ambientales, ya que estos reflejan las condiciones físicas, químicas y bióticas e integran y acumulan los efectos de diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales (Barbour, Gerritsen, & Snyder, 1999).

Dando cumplimiento a los objetivos trazados, la monografía es basada en la recopilación de información acerca de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua, los temas principales son : los macroinvertebrados, el concepto de bioindicación, la descripción de aquellos macroinvertebrados más relevantes en la Bioindicación de agua, el monitoreo de aguas con macroinvertebrados, las técnicas de monitoreo de macroinvertebrados, los índices más utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, y las investigaciones recientes de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua en Colombia.

## 1. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha evidenciado el deterioro de los ecosistemas acuáticos a nivel mundial, es por esto que el concepto de la calidad de las aguas ha ido cambiando de un enfoque fisicoquímico, a otro que integre todos los componentes del ecosistema (Lozano, 2005). El análisis de las poblaciones de Macroinvertebrados aporta información valiosa en la evaluación y monitoreo de afluentes, teniendo en cuenta que, de hecho, contrasta con los indicadores de calidad fisicoquímicos, puesto que la información que aportan estos últimos sólo es representativa de las condiciones momentáneas del agua.

La medición de Macroinvertebrados son una herramienta que permite detectar las alteraciones de un ecosistema tiempo atrás y posibilita la identificación de las causas naturales y/o antropogénicas de los daños causados (Pérez, Pineda, & Medina, 2007). Considerando que las perturbaciones en los sistemas acuáticos afectan a los seres vivos que los habitan, se han desarrollado diversas metodologías que utilizan una gran amplia variedad de organismos, desde bacterias hasta peces como indicadores biológicos de estas alteraciones (Karr, 1981; De Paw, Ghetti, Manzini, & Spaggiari, 1992).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Compilar información sobre el uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad en aguas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Describir los macroinvertebrados más relevantes en la bioindicación de aguas.
- Realizar la búsqueda necesaria referente a las investigaciones realizadas de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua por medio de las fuentes bibliográficas secundarias y buscadores web.
- Describir los métodos de análisis utilizados en el estudio de los macroinvertebrados.

### **3. MARCO REFERENCIA**

Colombia es un país en el que anualmente llueve en promedio alrededor de 1.800mm, es bañado por unas 720 mil cuencas hidrográficas y sus principales cuencas tienen caudales casi permanentes durante todo el año, con estos datos se podría pensar que hay agua ilimitada para todo el país; sin embargo, la situación es preocupante ya que más del 50% del recurso hídrico en Colombia no se puede utilizar por problemas de calidad del agua, debido a la contaminación que se arroja diariamente a las fuentes hídricas.

Según el Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia, elaborado con apoyo de la Asociación Mundial del Agua y la Comisión Económica para América Latina (Cepal), los factores que contribuyen al deterioro del agua y al incremento constante de la contaminación en el país son diferentes, siendo los sectores agropecuario, industrial y doméstico los principales responsables, ya que en conjunto generan cerca de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante (Ojeda, 2000).

Actualmente la evaluación de la calidad de agua se realiza mediante una serie de análisis de laboratorio dirigidos a conocer cualitativa y cuantitativamente, las características físicas, químicas y biológicas más importantes que pueden afectar, su uso real y potencial, como el tipo y grado de tratamiento requerido para un adecuado acondicionamiento.

Dentro de los estudios utilizados para la bioindicación de agua, se encuentra el uso de macroinvertebrados, ya que se convierten en una referencia confiable para la identificación de la calidad de agua.

Según Roldán (2003) un organismo es buen indicador cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es superior al resto de los organismos.

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500  $\mu\text{m}$ , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre los que se encuentran los cangrejos. Sin embargo, el grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. En la mayoría de éstos, los estados inmaduros (huevos y larvas) son acuáticos, mientras que los adultos suelen ser terrestres. Entre los macroinvertebrados se destacan, por su abundancia y distribución, los siguientes órdenes: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros (Ladrera, Rieradeval, & Prat, 2013).

Los macroinvertebrados acuáticos han adquirido una creciente importancia en el análisis de la calidad del agua, debido a que no sólo revelan las condiciones ambientales actuales, sino que actúan como reveladores de las condiciones en el tiempo (Alba-Tercedor, 1996). Según Roldán (1999), el uso de Macroinvertebrados acuáticos constituye hoy en día una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua, siendo necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema. En la ecología de los ríos, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es de principal importancia para el entendimiento de la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas, como eslabón fundamental de la cadena trófica sirviendo de alimento a los peces, así como a las aves y anfibios asociados al medio acuático; como indicadores biológicos de la calidad del agua y como componentes del sistema acuático aportando riquezas y diversidad. Además, esta

comunidad también provee una importante herramienta para monitoreos y programas de manejo (González & García, 1995; Rosenbert & Resh, 1993).

En general la distribución y abundancia de los macroinvertebrados en las mediciones de campo en Colombia evidencian que las características limnológicas de los cuerpos de agua presentan variaciones geográficas observables, condicionadas por factores climáticos, altitudinales y de intervención antrópica que van siendo modificadas sobre el curso de los cauces. Además, se ha establecido que los cambios en la precipitación y temperatura del aire, en los cuerpos de agua tienen efecto sobre la vegetación y el suelo, las cuales de manera conjunta revelan el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas (Blanco, Imbert, & Castillo, 2009).

El empleo de índices biológicos, calculados con datos provenientes de un muestreo de macroinvertebrados, se encuentra muy relacionado con la determinación de calidad del agua, debido a que el proceso de identificación de la contaminación de los ríos al utilizar métodos tradicionales, es muy lento y la información proporcionada es momentánea. Aún la misma presencia de peces puede que no brinde información sobre un problema de contaminación, porque éstos pueden alejarse para evitar los efectos del agua contaminada y luego regresar al mejorar las condiciones; una muestra de estos organismos acuáticos puede servir como indicador de la calidad del agua al ofrecer más información sobre la contaminación o la calidad general del agua a través de un periodo más largo de tiempo (Álvarez & Pérez, 2007).

De acuerdo a la Wáter and Rivers Commission (WRC) (2001) los macroinvertebrados son sensibles a distintas condiciones físicas y químicas, por lo que un cambio en las condiciones del agua, podría alterar la estructura y composición de las comunidades acuáticas. Por ende, la riqueza de macroinvertebrados puede ser utilizada para proveer un



estimado de la salud de un cuerpo de agua. Chapman (1996) asegura que los organismos indicadores de la calidad del agua determinan los efectos de los impactos en el ecosistema acuático a través de un tiempo más prolongado. Sin embargo, la información biológica generada, a partir de los también llamados bioindicadores, no reemplaza los análisis fisicoquímicos, pero si reduce costos, por lo que estos estudios son importantes en el monitoreo de la calidad del agua (Castellón *et al.*, 2011).

La necesidad de conocer adecuadamente la diversidad de macroinvertebrados acuáticos permitiría tener más bases para un mejor entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas dulceacuícolas y conjuntamente mejorar la precisión y efectividad de los programas de biomonitoreo, de manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos.

Haciendo un enfoque de macroinvertebrados en el área ambiental, esa herramienta puede ser de gran utilidad para la realización de estudios de impacto ambiental (EIA) y para la elaboración de planes de Manejo de manejo ambiental (PMA), ya que ayudan a conocer el estado ambiental de su hábitat y de cualquier otro lugar que se desee estudiar.

### **3.1 Los Macroinvertebrados**

Según Roldán (1999) los macroinvertebrados son organismos que no tienen espina dorsal y que son visibles sin usar un microscopio. En la mayoría de los riachuelos, la energía disponible para los organismos se almacena en las plantas y se pone a disposición de la vida animal en forma de hojas y algas que comen los macroinvertebrados. A su vez, estos son una fuente de energía (alimento) para aves, mamíferos y peces.

El hábitat de los macroinvertebrados acuáticos son los cuerpos de agua y los elementos allí presentes, como limo, piedras y materia orgánica presente en los cuerpos de agua. Los

macroinvertebrados se alimentan de materia orgánica en descomposición, y estos a su vez, son el alimento para otros animales como son algunas variedades de peces. Por lo general los macroinvertebrados son de color muy similar a la del agua que habitan y no tienen mucha capacidad de desplazamiento, estos viven en el agua de acuerdo a su calidad, si varían abruptamente las características químicas naturales de su entorno, ellos pueden morir. Los macroinvertebrados, al crecer, se transforman en moscas que pueden provocar enfermedades como la malaria, el paludismo (Carrera & Fierro, 2001).

La necesidad de conocer adecuadamente la diversidad de macroinvertebrados acuáticos permitiría tener más bases para un mejor entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas dulceacuícolas y conjuntamente mejorar la precisión y efectividad de los programas de biomonitoreo, de manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos.

### **3.1.1 Importancia de los Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua**

Los macroinvertebrados presentes en las aguas dulces juegan papeles importantes dentro de todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos. Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera. Los macroinvertebrados son un enlace importante para poder mover esta energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas.

Los macroinvertebrados controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos.

Estos consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos. Muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, ya que se elimina tejido poco productivo y se mineralizan los nutrientes (Wallace & Webster, 1996; Allan & Castillo, 2007).

En sistemas basados en material alóctono como la hojarasca, los macroinvertebrados fragmentadores son vitales para mover esta energía a otros niveles tróficos. Los fragmentadores utilizan partículas de gran tamaño, como las hojas de árboles que caen al río y las degradan. En el proceso, generan fragmentos pequeños de materia orgánica que son accesibles a otros organismos, como los recolectores y filtradores. Al mismo tiempo, los macroinvertebrados filtradores, como las larvas de *Simuliidae*, remueven partículas finas (seston) del agua y las convierten en partículas fecales más densas que se hunden y proveen alimento para otros invertebrados acuáticos. Estos procesos garantizan que los nutrientes presentes en las partículas no sean exportados del ecosistema y llevados por la corriente al mar (Wotton & Malmqvist, 2001; Roldán G. , Fundamentos de limnología neotropical, 1992).

Los macroinvertebrados habitan todas las aguas, para lo cual se posibilitan los estudios comparativos en cualquier lugar, estos poseen una elevada diversidad, con diferentes grados de tolerancia a la contaminación, permite que la ausencia de las familias más sensibles a la contaminación alerten si hay algún tipo de contaminación (Álvarez & Pérez, 2007).

La reducida movilidad de la mayoría de las especies de macroinvertebrados permite detectar cualquier alteración de una fuente hídrica, la presencia de estos en el agua facilita la realización de muestreos cuantitativos, pues existen métodos que han sido validos en diferentes ríos del mundo (Carrera & Fierro, 2001).

### **3.1.2 Ventajas de los macroinvertebrados**

Roldán (2003) afirma que los macroinvertebrados son los mejores indicadores de la calidad del agua debido a:

- Son fáciles de identificar y de recolectar.
- Son sensibles a los cambios que se presenten en el medio y en referencia al tiempo de respuesta
- Se pueden apreciar a simple vista.
- Varían poco genéticamente.
- Se pueden realizar monitorear en campo y en laboratorio.
- Tienen una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes)

### **3.2 Concepto de Bioindicación**

Según Álvarez & Pérez (2007) el concepto de bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como: especie que posee requerimientos particulares con relación a uno ó 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 ó químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia. El uso de bioindicadores 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.

Los daños y alteraciones que ha sufrido los ríos, lagos, lagunas, arroyos, a lo largo del tiempo, pueden evidenciarse. “Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y jugar un papel fundamental en la transferencia de energía” (Ladrera, Rieradeval, & Prat, 2013).

La metodología de estudio de las aguas por medio de macroinvertebrados como bioindicadores es ampliamente usado, debido a la facilidad del muestreo, el bajo costo y detección temprana de cualquier contaminación.

### **3.2.1 Historia de la Bioindicación**

Según Roldán (1999):

“la degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación del hombre. Solo hasta mediados de los años 50’s comenzaron a utilizarse diferentes metodologías de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de los indicadores biológicos, la metodología más utilizada para el conteo de macroinvertebrados es BMWP Biological Monitoring Working Party. Los daños causados por la contaminación orgánica, industrial, agrícola y minera; pueden medirse con comunidades resultantes comparadas con las no perturbadas” (p. 376).

Complementariamente, un índice que ha sido adaptado en los últimos años en varios países de Latinoamérica es el “BMWP (“Biological Monitoring Working Party”), el cual fue desarrollado inicialmente para Inglaterra y luego adaptado para España por Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega (1987). Este índice se basa únicamente en la presencia de familias y sus valores de tolerancia asignados, totalmente independiente de la cantidad de

géneros o individuos recolectados de cada familia, por lo que es de fácil aplicación. Otro índice ampliamente utilizado es el “FBI” (“Family Biotic Index”), desarrollado por Hilsenhoff (1988), el cual además toma en cuenta las abundancias de cada familia (Springer, 2010).

Complementa Springer (2010) indicando que:

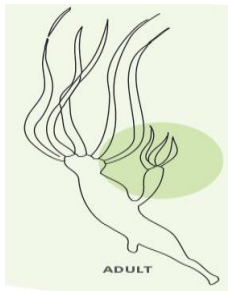
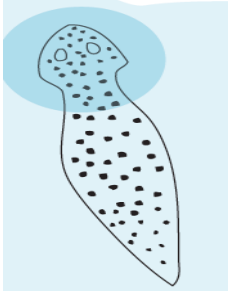
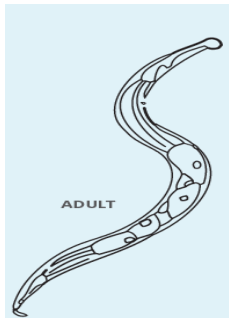
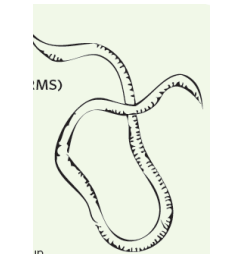
“El FBI, a diferencia del BMWP pondera el valor de tolerancia, ya que la cantidad de individuos recolectados se multiplica por el valor de tolerancia del taxón y se divide entre el total de individuos recolectados. Al igual que en los otros métodos, estos índices deben ser adaptados localmente y no se recomienda que sean aplicados a otra región sin previa modificación” (p. 55).


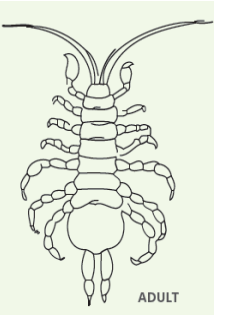
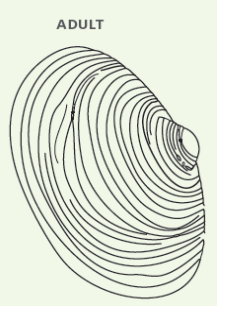

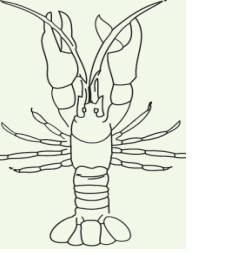
### **3.3 Descripción de los macroinvertebrados más relevantes en la bioindicación de agua.**

Los macroinvertebrados se adaptan a todo tipo de ambientes, de acuerdo a su grado de tolerancia. El agua dulce es un medio distinto al agua salada, muy pocas especies son capaces de vivir en ambientes de agua dulce y marinas, sobre todo por las diferencias en salinidad.


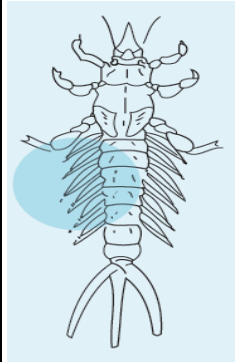
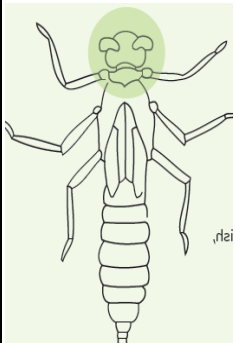
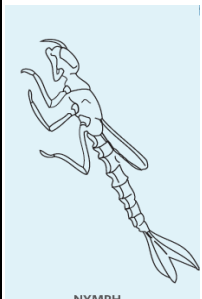
En la siguiente tabla se hace énfasis, en los macroinvertebrados de agua dulce, describiendo el valor de tolerancia, el cual define la capacidad que tienen los macroinvertebrados para vivir en diferentes ambientes; la escala va de 1-10, siendo diez los macroinvertebrados más sensibles a la contaminación, y los de puntaje más bajo hace referencia a los macroinvertebrados que más toleran la contaminación.



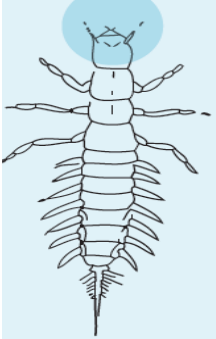

Tabla 1. *Especies de macroinvertebrados y sus características*

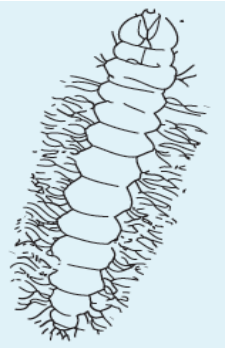
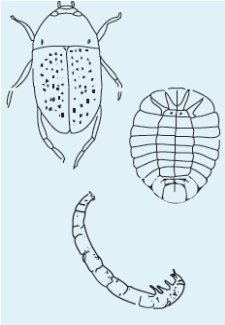
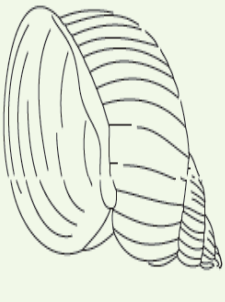
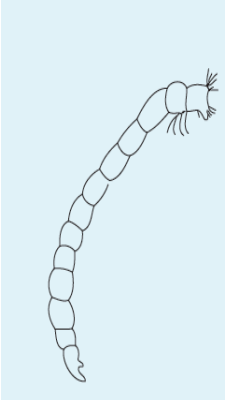
GRUPOS TAXONOMICOS	CARACTERISTICAS	VALOR DE TOLERANCIA	IMAGEN
<i>Coelenterata</i>	Se reproduce asexualmente por gemación	8	
	Su color el claro		
	Son de tamaño de 2 a 5 mm		
	el cuerpo tiene una abertura rodeada de tentáculos		
	Son llamadas <i>Hydras</i>		
<i>Ordén Turbellaria</i>	Son de forma alargada.	8	
	Son de tamaño de 5 a 30 mm		
	Sus movimientos son de arrastre		
	Con depredadores - carroñeros		
	Los órdenes más conocidos de esta clase de macroinvertebrados son: <i>Polycladida</i> y <i>Tricladida</i> .		
<i>Phylum Nematoda</i>	Sus movimientos son rápidos y en forma de látigo	8	
	Son gusanos redondos sin estructura de agarre para sostenerse		
	Son de color blanquecino, rosado o amarillento		
	Son de tamaño de 5 a 15 mm		
	Pertenecen la Subclase <i>Secernentea</i> y Subclase <i>Adenophorea</i>		
<i>Clase Oligochaeta</i>	Son lombrices acuáticas, su cuerpo es blando, poseen pelos delgados ( espinas)	8	
	Son de tamaño de 1 a 30 mm		
	Su movimiento es de arrastre y se encogen con facilidad		
	Pertenecen al <i>Phylum Annelida</i> y su orden más común es <i>Haplotaxida</i>		

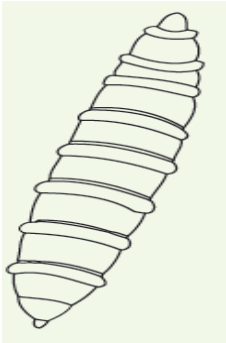
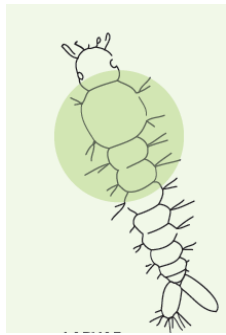
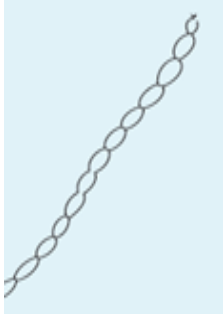
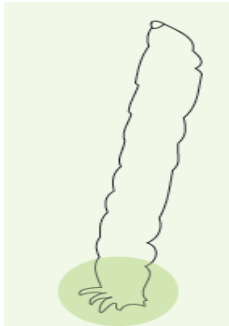
<b>GRUPOS TAXONOMICOS</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VALOR DE TOLERANCIA</b>	<b>IMAGEN</b>
<i>Clase Hirudinea</i>	Conocidas como sanguijuelas, tienen el cuerpo aplastado con pliegues cutáneos, carece de patas.	<b>8</b>	
	Son de tamaño de 5 a 300 mm		
	Habitan aguas poco profundas protegidas donde hay poca perturbación de las corrientes		
<i>Orden Isopoda</i>	Tienen 7 pares de patas y sus movimientos son rasteos.	<b>8</b>	
	Son Crustáceos, su tamaño oscila entre 5 a 20 mm		
<i>Clase Pelecypoda</i>	Son moluscos, tienen una concha, con una cascara dura y ovalada	<b>6</b>	
	Son de tamaño de 5 a 250 mm		
	No tiene capacidad de movimiento		
<i>Orden Amphipoda</i>	Tienen 6 pares de patas y dos antenas	<b>6</b>	
	No tiene caparazón, su cuerpo es comprimido, los ojos sésiles, pereion con siete pares de patas y pleon con tres pares de apéndices birrámeos.		
	Son de tamaño de 5 a 20 mm		
<i>Orden Decapoda</i>	Estos crustáceos tienen 10 patas	<b>5</b>	
	Generalmente poseen un par de patas anteriores modificadas en unas pinzas, algo que les es muy útil para recoger el alimento		
	Son de tamaño de 10 a 150 mm		
	Tiene parecido a las langostas		

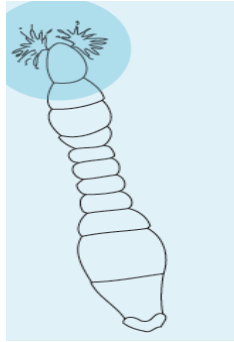
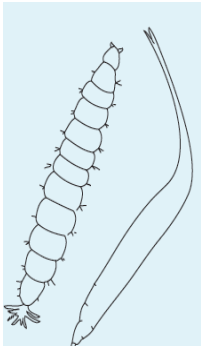


GRUPOS TAXONOMICOS	CARACTERISTICAS	VALOR DE TOLERANCIA	IMAGEN
<b>Trombidiformes- Hydracarina</b>	Son ácaros de ocho patas, tienen parecido a las arañas	<b>6</b>	
	Su cuerpo es redondo y nadan		
	Son de tamaño de 0,5 a 7 mm		
	Pertenecen a la clase <i>Arachnida</i>		
<b>Ordén Ephemeroptera</b>	Es uno de los órdenes más sensibles a la contaminación del agua.	<b>5</b>	
	Entre los más conocidos están: <i>Caenidae</i> , <i>Ephemerellidae</i> , <i>Heptageniidae</i>		
	Son de tamaño de 3 a 28 mm		
	Las ninfas se pueden recolectar directamente de las rocas o en materia orgánica sumergida		
	Cuando llegan a la adultez poseen poco tiempo de vida y pierden la capacidad de volar		
<b>Sub Orden Anisoptera</b>	Llamadas también Libélulas, tiene la cabeza grande y modificada para poder atrapar la presa	<b>5</b>	
	Se mueven lentamente		
	Son de tamaño de 15 a 45 mm		
	Se alimentan de mosquitos y otros pequeños insectos como moscas, abejas, mariposas y polillas		
	Pertenecen al orden <i>Odanata</i>		
<b>Sub orden Zygoptera</b>	Pertenecen al orden <i>Odanata</i>	<b>7</b>	
	Conocidos como los caballitos de diablo		
	Los ojos son muy separados, y poseen un cuerpo delgado		
	Son de tamaño de 10 a 25 mm		
	Sus movimientos son lentos		

GRUPOS TAXONOMICOS	CARACTERISTICAS	VALOR DE TOLERANCIA	IMAGEN
<b>Ordén plecoptera</b>	Llamadas también las moscas de piedra	<b>1</b>	
	Son de tamaño de 5 a 50 mm		
	Su ciclo de vida está compuesto de tres etapas: huevo, ninfa y adulto.		
	Tienen poca capacidad de vuelo y un corto radio de acción, pueden nadar.		
<b>Ordén hemiptera</b>	Son llamados también Chinchas	<b>5</b>	
	Tradicionalmente los Hemípteros se dividían en dos subórdenes: <i>Heteroptera</i> y <i>Homoptera</i> ,		
	Su tamaño es variable, de muy pequeños a grandes, con formas diferentes pero siempre caracterizadas por la presencia de unas piezas bucales perforantes que las emplean para chupar los jugos de los vegetales y de otros animales.		
	Son de tamaño de 15 a 40 mm		
<b>Ordén Megaloptera</b>	Llamadas también moscas de pescado	<b>4</b>	
	Son de tamaño de 25 a 90 mm		
	Se caracterizan por alas membranosas opacas; cabeza prognata, ojos salientes, piezas bucales bien desarrolladas, con mandíbulas fuertes, antenas largas y moniliformes, abdomen blando y flexible.		
	Sus movimientos son de arrastre		
<b>Ordén Trichoptera</b>	Debido a su gran diversidad y por ser larvas con distintos rangos de tolerancia, son muy útiles como bioindicadores de la calidad de agua y la salud del ecosistema. La gran mayoría de las especies son sensibles a la contaminación del agua y a la alteración de su hábitat, es uno de los tres órdenes incluidos en el índice "EPT" ( <i>Ephemeroptera</i> , <i>Plecoptera</i> , <i>Trichoptera</i> ), considerados como de mayor sensibilidad (en la mayoría de sus especies), entre todos los macroinvertebrados acuáticos.	<b>4</b>	
	Son de tamaño de 2 a 50 mm		

GRUPOS TAXONOMICOS	CARACTERISTICAS	VALOR DE TOLERANCIA	IMAGEN
<p><b>Orden</b> <i>Lepidoptera</i></p>	<p>Sus adultos son llamados polillas, mariposas, palomitas y las larvas se conocen como orugas, isocas, lagartas, gusanos, gatas peludas,</p>		
	<p>Sus movimientos son de arrastre</p>		
	<p>Son de tamaño de 10 a 25 mm</p>		
	<p>Los adultos, presentan el cuerpo, las patas y las alas cubiertos de escamas o pelos aplanados y cortos, tienen aparato bucal chupador en sifón o en espiritrompa y ojos simples y compuestos.</p>		
<p><b>Orden</b> <i>Coleoptera</i></p>	<p>Llamados también escarabajos</p>	<p>4</p>	
	<p>Sus movimientos son de arrastre con capacidad para nadar. Principales grupos de artrópodos de agua dulce; los coleóptera habitan sistemas de aguas frías, ciénagas, aguas salobres, aguas rocosas y aguas estancadas.</p>		
	<p>Entre los principales <i>Coleóptera</i> se encuentran: <i>Dryopidae</i>, <i>Dytiscidae</i></p>		
	<p>Son de tamaño de 2 a 40 mm</p>		
<p><b>Clase</b> <i>Gastropoda</i></p>	<p>Poseen un cuerpo dividido en tres partes, la cabeza, el pie (que está unido a la cabeza) y la masa visceral (que está unida a la zona dorsal del pie)</p>	<p>8</p>	
	<p>Son de tamaño de 2 a 70 mm</p>		
	<p>No tienen movimiento</p>		
<p><b>Familia</b> <i>Chironomidae</i></p>	<p>Son de tamaño de 2 a 30 mm</p>	<p>7</p>	
	<p>Viven en distintos ambientes y son tolerantes a bajas condiciones de oxígeno.</p>		
	<p>Pertenecen al Orden: <i>Díptera</i>, Suborden: <i>Orthorrapha</i>, Familia: <i>Chironomidae</i></p>		
	<p>Se encuentra en cuerpos de agua tanto naturales como artificiales, en aguas someras o profundas, corrientes o estancadas, sobre amplias superficies.</p>		

GRUPOS TAXONOMICOS	CARACTERISTICAS	VALOR DE TOLERANCIA	IMAGEN
<i>Familia Tabanidae</i>	Son de tamaño de 15 a 40 mm	5	
	Son una familia de dípteros braquíceros comúnmente conocidos como tábanos que, como el resto de los dípteros, sólo tienen dos alas funcionales, las anteriores.		
	La mayoría de tábanos son diurnos, las hembras más que los machos.		
	Son un poco menos ágiles que otras moscas, pero aun así, siguen siendo rápidos		
<i>Familia Culicidae</i>	Habitan principalmente aguas estancadas son indicadores de baja calidad de agua con altas cargas de materia orgánica	5	
	Pertenece al Orden <i>Diptera</i>		
	Son de tamaño de 3 a 15 mm		
	Conocidos como mosquitos o Zancudos		
<i>Familia Ceratopogonidae</i>	Habitan principalmente zonas de corriente lenta		
	Detritívoras y algunas soportan cambio en la materia orgánica		
	Son de tamaño de 3 a 13 mm		
	Pertenece al Orden <i>Diptera</i>		
<i>Familia Tipulidae</i>	Pertenece al Orden <i>Diptera</i>	3	
	Conocidos comúnmente como típulas, moscas grúa, mosquitos gigantes o zancudos gigantes		
	Son de tamaño de 10 a 50 mm		
	Su cuerpo esbelto y patas muy largas.		

GRUPOS TAXONOMICOS	CARACTERISTICAS	VALOR DE TOLERANCIA	IMAGEN
<i>Familia Simuliidae</i>	Son de tamaño de 3 a 15 mm	6	
	Conocidos comúnmente como moscas negras		
	Pertenecen al Orden <i>Diptera</i>		
	Conocidos comúnmente como moscas negras		
	Se caracterizan por tener el cuerpo más rechoncho, boca picadora-chupadora, alas anchas y patas mucho más corta		
<i>Orden Diptera</i>	Son de tamaño muy variado	5	
	Son vectores de diferentes enfermedades en el ser humano, entre las que se encuentran el paludismo, la leishmaniosis, la fiebre amarilla, dengue		
	Se encuentran presentes en los aguas loticas y lenticas su morfología y reproducción es muy variable. Los adultos no son acuáticos, pero la mayoría de sus ciclos vitales incluyen formas inmaduras dulceacuícolas.		

NOTA: Las características de los grupos taxonómicos, valor de tolerancia e imagen fueron compiladas por la autora tomando como fuente los aportes del Manual de EcoSpark (2013)

### 3.4 Monitoreo de Aguas con Macroinvertebrados

Los monitoreos de agua son los seguimientos y controles que se realizan a están, estos pueden ser biológicos, fisicoquímico y microbiológicos, con los cuales se puede saber el estado en que se encuentra la fuente hídrica que se está estudiando.

La clasificación de macroinvertebrados va de acuerdo a una escala de 1 a 10 según el método BMWP; siendo 1 el menos sensible a la contaminación y 10 el más sensible a la contaminación (Carrera & Fierro, 2001).

Tabla 2. *Clasificación de macroinvertebrados según sensibilidad a la contaminación*

<b>SENSIBILIDAD</b>	<b>CALIDAD DEL AGUAS</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
No aceptan contaminantes	Muy buena	9-10
Aceptan muy poco contaminantes	Buena	7-8
Aceptan poco contaminantes	Regular	5-6
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	3-4
Aceptan mucho contaminantes	Muy mala	1-2

Nota: La clasificación de macroinvertebrados según sensibilidad a la contaminación corresponde al estudio de Carrera & Fierro (2001)

Para realizar un monitoreo con macroinvertebrados se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Ubicar la fuente a la cual se le va a realizar el monitoreo.
- Seleccionar dos sitios un área de control (sin alteraciones a la vista) y un área afectada (con alteraciones evidentes).
- El sitio que presenta alteraciones es el indicado para realizar el monitoreo.
- Revisar estudio posibles estudios que pueda tener la fuente hídrica
- Contar con los materiales necesarios para la realización del muestreo.
- Si es posible, medir parámetros físicos *In situ* como pH, color, olor, temperatura.

### **3.5 Técnicas de monitoreo de macroinvertebrados.**

El procedimiento incluye la información necesaria para recoger, proceso e identificar los macroinvertebrados bentónicos que se encuentran en las consideraciones necesarias para tener en cuenta antes de la realización del muestreo según EcoSpark (2013):

- Se debe tener un permiso notificado por el dueño del predio donde se realizara la toma de las muestras.

- Llevar al muestreo equipos y objetos que no vayan a causar daños a la integridad y salud de las personas que están realizando el muestreo.
- Elegir con antelación los lugares y puntos para realizar el muestreo y de esta forma evitar poner en riesgo la salud y vida de los muestreadores.
- Evitar épocas de lluvia para la realización del muestreo.
- Llevar un botiquín de primeros auxilios por si ocurre alguna eventualidad.
- Realizar una visita al lugar (es) de muestreo con el fin de conocer y evaluar el sitio.
- El lugar provisto para el muestreo, debe estar a nivel de lado a lado, y se debe marcar 40 metros hacia arriba y 40 metros hacia abajo del punto definido para muestrear, esta distancia se llama longitud del sitio. La longitud del sitio debe dividirse en 5 partes llamadas transectos como lo muestra la siguiente figura, y se debe dividir la longitud de su sitio por el número de transectos menos uno 1. Los transectos se deben ubicar lo más uniformemente posible, si por algún motivo quedan transectos en lugares peligrosos para los muestreadores, se deben reubicar en virtud de las condiciones del lugar.

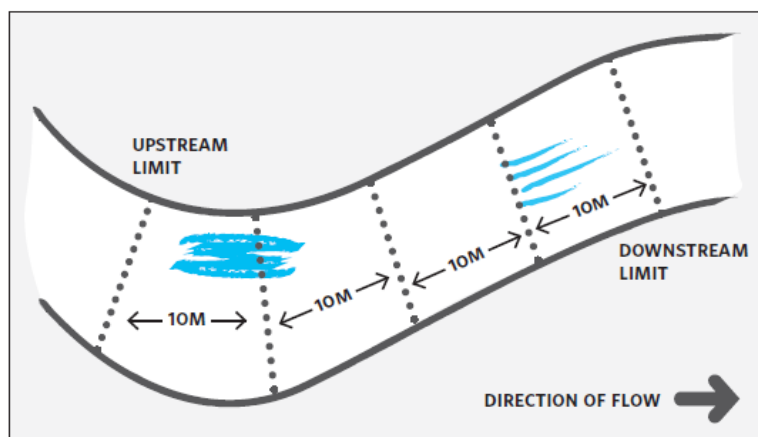


Figura 1. Lugar provisto para el muestreo (EcoSpark, 2013)

### 3.5.1 Materiales.

Los materiales y equipos que se deben llevar a campo en el momento de muestreo son:

1 Cinta de medición

1 tazón de medición

1 botella de alcohol

1 rollo de cinta de abanderamiento

1 Botiquín de primeros auxilios

1 cucharón

2 recipientes plásticos

2 Hielo para preservar las muestras

2 botellas de compresión

2 placas de Petri

4 lentes de mano

4 pipetas

4 Pinzas

Lápiz

Porta papel

Mapa del sitio (topográfico o carretera)

Cámara fotográfica

GPS

Cronometro



### 3.5.2 Indicaciones para la clasificación de los macroinvertebrados

En el momento de tomar la muestra se debe tener las siguientes indicaciones:

- Según el método por el cual se realice el muestreo, la red debe estar en el fondo para garantizar que no queden macroinvertebrados por fuera.
- Al momento de la toma de la muestra verificar que no queden macroinvertebrados atascados en la red.
- No se deben contar los macroinvertebrados muertos.

### 3.5.3 Recomendaciones para la clasificación de los macroinvertebrados

Para la identificación y clasificación de los macroinvertebrados se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- Utilizar una lupa para la identificación
- Ponerlos en un recipiente con hielo y ordenarlos según sea su parecido.
- Se deben recolectar al menos 100 macroinvertebrados por cada punto de muestreo.
- Incluir un boceto del lugar con los diferentes puntos de muestreo, ubicar siempre el norte.
- Incluir registro fotográfico del muestreo.
- Se deben registrar el tipo de vegetación predominante del cada transecto del muestreo en cada orilla con registro fotográfico. La vegetación se clasifica en: **Ninguno** (ausencia de vegetación), **Cultivada** (agrícola), **Bosque** (arboles con

buena cubierta vegetal), **Matorral** (mezcla de árboles y arbustos), **Prado** (hierbas altas).

- Se debe registrar el ancho de la zona para cada transecto.
- Al finalizar el muestreo se debe comprobar que se tenga toda la información requerida, tener un punto de referencia del muestreo.

### **3.5.4 Piedras y hojarasca**

Con este método de monitoreo se busca macroinvertebrados en las piedras y hojas que se encuentran en la superficie y orillas de los ríos.

Este método de monitoreo funciona mejor en ríos torrentosos con piedras grandes, no se recomienda hacerlo en ríos que tienen fondo arenoso o arcilloso y que no tienen hojarasca en las orillas (Carrera & Fierro, 2001).

Para la recolección se eligen dos puntos: un punto de control y un punto afectado por la contaminación.

Se fija un tiempo de recolección entre 30 minutos y una hora, durante este tiempo se deben buscar la mayor cantidad de macroinvertebrados que hayan entre las piedras y hojas, para facilitar la identificación se debe utilizar una lupa (Carrera & Fierro, 2001).



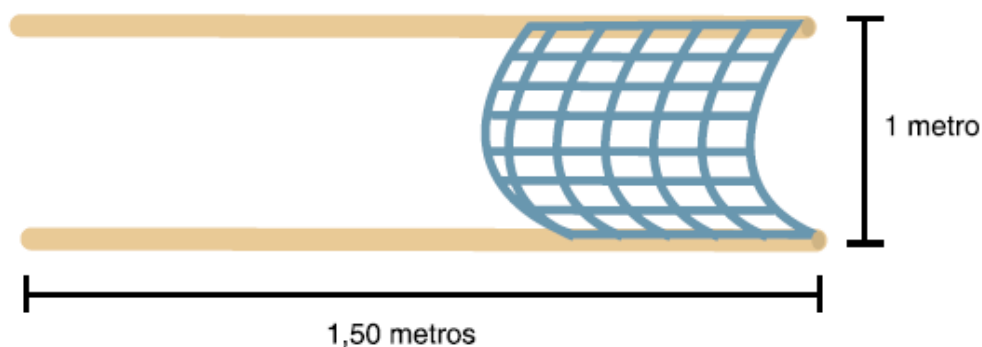
*Figura 2. Lugar de muestreo (Carrera & Fierro, 2001), tomado de Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.*

### **3.5.5 Red de patada**

Este método consiste en atrapar macroinvertebrados en el fondo del río, tiene este nombre, porque una de las personas debe remover el fondo del río y la otra atrapar los macroinvertebrados en una red.

Se utiliza en ríos medianamente torrentosos y poco profundos para poder caminar.

Para el monitoreo se utiliza una malla de aproximadamente un metro de cuadrado, el ojo de la malla debe ser de 0,5 a 1 milímetro, para mayor comodidad, ponerle a los lados tronco de madera para que se sostenga la malla.



*Figura 3. Red de patada (Carrera & Fierro, 2001), tomado de Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*

Para realizar el monitoreo se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Cuando se ingrese al río, tratar de hacerlo corriente abajo del sitio elegido, para no alterar ni remover los materiales del fondo.
- Camine con su compañero o compañera lentamente corriente arriba. Uno de espaldas a la corriente "patea" el fondo; el otro, de cara a la corriente, recibe el material en la red hasta que ésta se llene o hasta que se termine el área de muestreo. Para evitar que el material recogido del fondo se derrame, arrastre la red inclinándola ligeramente.
- Con la ayuda de su compañero o compañera, levante la red por los dos extremos y coloque el contenido en un balde con agua. Enjuague el material y ciérnalo hasta que quede sólo el sedimento.
- Colocar el sedimento en una bandeja de loza blanca, separe los macroinvertebrados del resto de material, recoléctelos con la ayuda de una pinza y guárdelos en un

frasco con alcohol, junto con la etiqueta. Escriba en la etiqueta el sitio, el nombre del lugar o río, la fecha y la persona o personas que participaron en la recolección.

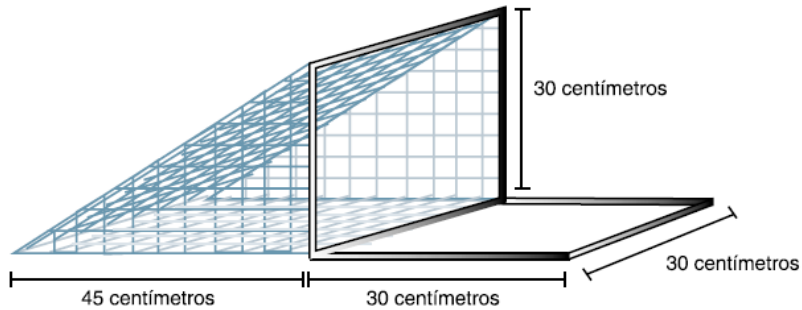
- Guardar las muestras de cada sitio de muestreo en frascos diferentes.
- Evitar amontonar mucho sedimento en la bandeja, así la tierra del fondo no esconderá a los macroinvertebrados (Carrera & Fierro, 2001).

### 3.5.6 Red Surber

Este método de monitoreo de macroinvertebrados consiste en tener una red sujeta a un arco metálico en forma de L como se aprecia en la figura.



*Figura 4. Monitoreo con Red Surber (Carrera & Fierro, 2001), tomado de Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*



*Figura 5. Red Surber (Carrera & Fierro, 2001), tomado de Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.*

Se deben seleccionar una cantidad considerable de puntos de muestreo en el lugar que se elija para recoger material suficiente. Cada sitio puede tener una extensión de 30 ó 40 metros; en cada uno debe ubicar 10 ó 15 puntos de muestreo.

Para la realización del muestreo se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Tratar siempre de ingresar al estero corriente abajo del sitio elegido, así, al acercarse, no alterará ni removerá los materiales del fondo.
- Sostener la red en la parte central de la corriente, o donde el agua sea más correntosa; ubicar la boca de la malla frente a la corriente y asentar la base en el fondo del río.
- En cada punto de muestreo remover con la mano el fondo que está dentro de la base o marco de metal durante un minuto; para hacerlo, colóquese a un lado de la red, de modo que el cuerpo no bloquee la corriente de agua e impida el ingreso de sedimento a la red.

- Una vez recogido el sedimento, se debe poner en un recipiente adecuado (debe haber una para cada punto de muestreo, es decir, 20 ó 30 recipientes en total). Con ayuda de agua, remover todo el sedimento sobrante en la red hasta dejarla totalmente limpia.
- Verter el contenido de cada recipiente en una bandeja de loza blanca, sin mezclar una con otra; separar a los macroinvertebrados de los otros animales y materiales de la muestra; recólectelos con la ayuda de una pinza e identifíquelos con la ayuda de la lámina. Guardarlos en un frasco con alcohol, junto con la etiqueta. Escribir en la etiqueta el sitio, el nombre del, la fecha y la persona o personas que participaron en la recolección (Carrera & Fierro, 2001).

### **3.6 Índices utilizados como bioindicadores de la calidad del agua**

#### **3.6.1 Índice *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* EPT**

Este índice califica la calidad del agua por medio de los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*, estos tres órdenes de insectos son muy vulnerables a las alteraciones del ecosistema acuático especialmente a la degradación de la calidad del agua (Alonso & Camargo, 2005).

En la tabla 2, se observa la clasificación de las aguas, según el porcentaje de representación de los *Ephemeropteros*, *Plecópteros* y *Trichópteros* planteado por Carrera & Fierro (2001).

Tabla 3. Porcentaje de Ephemeropteros, Plecópteros y Trichópteros

CLASE	INDICE EPT (%)	CALIDAD DEL AGUA
1	75-100	MUY BUENA
2	50-74	BUENA
3	25-49	REGULAR
4	0-24	MALA

Nota: Los índices EPT corresponden a la investigación de Carrera & Fierro (2001).

### 3.6.2 Biological Monitoring Working Party BMWP/ Col.

Este índice de identificación de macroinvertebrados es sencillo y muy asequible, ya que se identifican los macroinvertebrados a nivel de familia sin mucho esfuerzo taxonómico obteniendo información relevante acerca de la calidad biológica del agua a estudiar (Montoya, Acosta, & Zuluaga, 2011).

El *Biological Monitoring Working Party (BMWP/ Col)* se utiliza para la complementación de estudios de fuentes hídricas por medio de macroinvertebrados; este permite diagnosticar el estado actual de una fuente hídrica desde el punto de vista biológico y así poder hacer estudios integrales de fuentes hídricas, donde no solo se realicen análisis fisicoquímicos, microbiológicos sino también biológicos.

El método *Biological Monitoring Working Party (BMWP/ Col)* fue modificado para Colombia por el doctor Roldán G., (2003), quien más ha realizado estudios el país sobre el comportamiento los macroinvertebrados.






Al respecto Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez & Gutiérrez (2013), citando a Roldán & Ramírez (2008) sostienen que dicho método:



“consiste en llegar hasta el nivel de familia y darle el calificativo de presencia o ausencia. El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, la suma de los puntajes de todas las familias proporciona un puntaje total BMWP/Col.” (p 375).

Este índice de valoración cuantitativa tiene en cuenta solo la presencia de las familias de macroinvertebrados y no la cantidad que haya presentes en el agua a analizar. Los macroinvertebrados más sensibles obtienen puntajes más altos, mientras que los más tolerantes a la contaminación obtienen puntaje más bajo.

Tabla 4. *Interpretación de los resultados según el método BMWP/ Col*

CLASE	CALIDAD	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
I	BUENA	>120 101-120	Aguas limpias Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	ACEPTABLE	61-100	Evidentes algunos efectos de contaminación	
III	DUDOSA	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	CRITICA	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	MUY CRITICA	<15	Aguas fuertemente contaminada	

Nota: la información corresponde al estudio de Rosero, & Fossati (2009) para el Fondo para la Protección del Agua FONAG de Ecuador

### **3.7 Investigaciones de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en algunos países.**

En América del Sur, Brasil, Argentina y Chile, han venido realizando estudios de macroinvertebrados a sus cuencas hidrográficas, para de esta forma conocer la relación entre los macroinvertebrados y las variables ambientales.

En Chile, han realizado estudios a la cuenca del Rio Damas, donde evidenciaron una notable disminución de la macro fauna. Las especies de macroinvertebrados presentes en la cuenca fueron *Oligochaeta (Tubifex)*, *Hydrudinea*, *Diptera (Chironomidae)* y *Gastropoda*, los cuales son tolerantes a la contaminación.

La contaminación de dicha cuenca se debe principalmente a vertimientos agroindustriales y domésticos, aportando altas cantidades de fosforo y nitrógeno. En el estudio concluyen que “se sugiere complementar el estudio de los macroinvertebrados bentónicos con adecuadas caracterizaciones de la columna de agua, ictiofauna y de las actividades productivas desarrolladas en las cuencas. Si bien los valores de tolerancia de macroinvertebrados bentónicos se correlacionaron con algunas de las variables físico-químicas consideradas, es fundamental desarrollar estudios adicionales que permitan evaluar experimentalmente la tolerancia de taxa locales frente a otro tipo de contaminantes” (Figueroa, Valdovino, Araya, & Parra, 2003, pág. 275).

En Brasil han realizado estudios de macroinvertebrados en el estado de Sao Paulo, al arroyo Espraiado, corriente Gregório, Quebrada d Agua Quente, corriente María Magdalena y rio Monjolinho, los muestreos los realizaron con red Surber, en los cuales predominaron las especies de macroinvertebrados: *Baetidae*, *Hydrobiosidae*,

*Libellulidae, Gomphidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Glossiphoniidae* y *Tubificidae*.

El estudio arrojó como resultado una contaminación de la aguas por metales pesados. Los macroinvertebrados bentónicos mostraron altos niveles de metales en sus tejidos, especialmente para los metales de zinc, cromo y níquel (Chiba, WAC, Passerini, MD., Tundisi, JR., 2011)

En Argentina, también se ha venido utilizando los macroinvertebrados para monitoreos de agua, en el estudio seleccionaron la cuenca superior del sistema Salí-Dulce como unidad regional de análisis, y cuatro subcuencas. Teniendo en cuenta la diferente intensidad de muestreo en las unidades elegidas, el objetivo de este trabajo es estimar la riqueza de artrópodos bentónicos de subcuencas de la provincia de Tucumán (Mesa L., & Fernandez, H., 2007).

El resultado de este estudio arrojó una gran abundancia de las familias *Ephemeroptera*, *Coleoptera*, *Diptera*, una calidad de agua con pocos niveles de contaminación.

### **3.8 Investigaciones recientes de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en Colombia**

En Colombia los estudios enfocados en la utilización de bioindicadores de la calidad del agua se han realizado desde la década de los noventa. Se trata de investigaciones a nivel taxonómico de los macroinvertebrados en las diferentes cuencas hidrográficas del país, especialmente en aquellas que sirven como fuente de abastecimiento de agua a grandes ciudades y municipios.

A continuación se individualizan los estudios más representativos realizados en diferentes departamentos de Colombia sobre la utilización de bioindicadores de la calidad del agua.

### **3.8.1 Departamento de Tolima**

#### **“Evaluación de la calidad del agua del Río Opia (Tolima, Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos”**

En el departamento de Tolima se han realizado varios estudios a las diferentes cuencas hidrográficas que bañan el departamento, estas fuentes hídricas abastecen de agua a los municipios del departamento y son utilizadas también para suplir las necesidades de agua de las actividades agrícolas, ganaderas y pecuarias de la región, generando de esta forma impactos representativos y deterioro de este recurso. Una de las cuencas hídricas estudiadas en el departamento de Tolima es el río Opia, la cual ha sido impactada por las actividades agropecuarias prevalcientes en la zona, como lo afirman Vásquez & Reinoso (2012) estas actividades han incurrido en la disminución de los macroinvertebrados sensibles (indicadores de agua limpia) y en el aumento de los macroinvertebrados tolerantes a la contaminación, en este río se registraron las familias: *Neotrichia*, *Protoptila*, *Smicridea* y *Chimarra*, *Trichopteros*; los cuales son organismos tolerantes a la contaminación antrópica.

Con la realización de este estudio, se evidenció que es necesario la implementación de programas de prevención y monitoreo con el fin de garantizar la preservación del río Opia.

Para la recolección de los macroinvertebrados:

“los muestreos se realizaron a lo largo de la cuenca durante el periodo de transición de verano a lluvias, teniendo en cuenta los registros pluviométricos históricos (~10 años), época correspondiente a los meses de septiembre y octubre de 2009. Con el objetivo de obtener la mayor información de la fauna béntica de la cuenca, se seleccionaron catorce estaciones con base en la cartografía disponible sobre usos del suelo, accesibilidad y tributarios del río., donde se realizaron diferentes tipos de aforo de macroinvertebrados debido a la diversidad a lo largo de la cuenca. (Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez, & Gutiérrez, 2013, pág. 374).

Para este estudio recolectaron un total de 11.573 macroinvertebrados acuáticos, distribuidos en 4 phyla (*Annelida*, *Arthropoda*, *Mollusca* y *Platyhelminthes*), 7 clases, 16 órdenes, 50 familias y 98 géneros. El *Phyllum Arthropoda*, presentó la mayor abundancia relativa (95.81%), y estuvo representado por las clases *Arachnoidea*, *Crustacea* e *Insecta*; siendo la última la más diversa y abundante en la cuenca del río Opia con el 95.20% (Tabla 4). El *Phyllum Platyhelminthes* estuvo representado por la clase *Tricladida*. A nivel de los órdenes encontrados, *Díptera* (31.80%,) fue el más abundante, seguido por *Ephemeroptera* (28.36%), *Trichoptera* (15.97%) y *Coleoptera* (15.23%); y los menos abundantes fueron los órdenes *Glossiphoniiformes* (0.02%) y *Tricladida* (0.01%). Las familias más abundantes fueron *Chironomidae* (34,74), *Leptohyphidae* (21,95), *Elmidae* (14,17), *Hydropsychidae* (8,83), *Philopotamidae* (4,97), *Leptophlebiidae* (4,50), *Hydrobiidae* (3,02), *Hydroptilidae*. (Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez, & Gutiérrez, 2013, pág. 375).

En el estudio de esta cuenca predominaron los órdenes de familia *Díptera* y *Ephemeroptera*, el orden *Trichoptera* con la familia *Hydropsychidae* es el más abundante en la cuenca del río Opia, su alta cantidad de macroinvertebrados presentes en el agua se debe a que estos tienen la capacidad de vivir en diferentes hábitats, esta familia de

macroinvertebrados pueden resistir agua con contaminación. La familia *Elmidae* fue la más abundante del orden *Coleoptera*; su presencia puede deberse a la cualidad que tienen de vivir adheridos, lo que les permite vivir en diferentes hábitats.

Paralelo al muestreo biológico se realizó muestreo fisicoquímico y microbiológico, donde se analizaron los siguientes parámetros: conductividad, temperatura del agua, oxígeno disuelto OD, pH, turbiedad, alcalinidad, dureza total, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, Demanda Química de Oxígeno DQO y Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales. En la estaciones donde se evidencia alteración antrópica las variables fisicoquímicas asociadas a materia orgánica (fosfatos, DQO, nitratos, sólidos suspendidos, turbiedad y coliformes fecales) , se relacionan con las familias *Chironomidae*, *Hydropsychidae* y *leptohyphidae*, por el contrario en las estaciones donde no hay interacción con el hombre las variables fisicoquímicas asociadas a procesos de mineralización, (alcalinidad, dureza, pH, conductividad eléctrica), se relacionan con las familias *Hydroptilidae*, *Elmidae* e *Hydrophylidae* (Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez, & Gutiérrez, 2013).

Al evaluar los resultados obtenidos con los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos, se pudo conocer ampliamente el estado del Río Opia, de manera general de las catorce estaciones estudiadas a lo largo del río Opia, ocho de ellas presentaron una buena calidad del agua, con este resultado se podría presumir que hay un proceso de intervención del hombre que está limitando la presencia de macroinvertebrados, ocasionando disminución en la calidad del agua (Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez, & Gutiérrez, 2013).

En el departamento de Tolima se han realizado varios estudios a diferentes cuencas hidrográficas como lo afirma Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez & Gutiérrez (2013) “en los últimos años se ha desarrollado un número importante de estudios a nivel taxonómico y

ecológico de la fauna de macroinvertebrados en diferentes cuencas del departamento del Tolima”. Entre ellos se destacan Reinoso (2001), Villa *et al.*, (2003; 2005), Barreto *et al.*, (2005), Carranza (2006), Caupaz (2006), Arias *et al.*, (2007), López (2007), Gutiérrez (2007), Parra (2008), Vásquez & Reinoso (2012), entre otros que han permitido generar una línea base sobre esta importante fauna dulceacuícola de la región (Forero-Céspedes, Reinoso-Flórez, & Gutiérrez, 2013).

### **3.8.2 Departamento de Antioquia**

#### **“Evolución de la calidad del agua en el río negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/Col y el ASPT”**

En el departamento de Antioquia se han llevado a cabo estudios de macroinvertebrados en varias de las principales cuencas del departamento, una de ellas es el río Negro, el cual a su paso recorre varios municipios del oriente antioqueño y es uno de los principales afluentes del embalse Peñol – Guatapé.

Para el estudio de macroinvertebrados en esta fuente hídrica se utilizaron los 5 puntos de muestreo que utiliza la Corporación Autónoma Regional Río Negro Naré (Cornaré) para sus monitoreos.

Explican Montoya, Acosta & Zuluaga (2011) que durante el monitoreo:

“se recolectaron alrededor de 53000 individuos pertenecientes a 16 órdenes y 31 familias. Las familias más frecuentes durante los muestreos, presentaron los valores numéricamente más importantes, siendo estas características de aguas contaminadas,

tales como *Chironomidae*, *Physidae*, *Planorbidae*, *Naididae* y *Veliidae*, excepto esta última la cual es indicadora de aguas de buena calidad” (p. 199).

El estudio de macroinvertebrados en esta cuenca según Montoya, Acosta & Zuluaga (2011) arrojó como resultados una fauna de macroinvertebrados reducida, esto se debe a las alteraciones que ha tenido el río y a las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan en la zona, zona conocida como el Valle de San Nicolás, por la cantidad de cultivos de Pan coger que hay en esta zona, donde el uso continuo de fertilizantes y plaguicidas afecta de manera representativa la presencia de macroinvertebrados en su rivera. Paralelo a los análisis biológicos se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos y microbiológicos: oxígeno disuelto, temperatura del agua, pH, conductividad, turbiedad, DBO<sub>5</sub>, sólidos totales, nitratos y fósforo total y *Escherichia coli*.

Este estudio dio como resultado un

“deterioro en la calidad del agua, especialmente en los tramos medios y bajo del río Negro, en los cuales se observa una sustitución de los taxones característicos de aguas de cabecera (*Perlidae*, *Polythoridae*, *Ptilodactylidae*, *Psephenidae*, *Odontoceridae*, *Leptophlebiidae*) por un grupo de taxones más tolerantes como *Chironomidae*, *Baetidae*, *Simuliidae*, *Glossiphonidae*, *Physidae*, *Hydrophilidae*, *Tipulidae*, *Ceratopogonidae*, *Naididae* “ (Montoya, Acosta, & Zuluaga, 2011, pág. 205).

Los resultados fisicoquímicos y microbiológicos realizados en las diferentes estaciones dieron como resultado que los parámetros asociados con indicadores de contaminación del agua: turbiedad, Sólidos totales, DBO<sub>5</sub> y fósforo, se asocian con las familias *Saldidae* y *Hydroptilidae*, y que *Planariidae* se asocia a contaminación microbiológica; *Elmidae* y *Acari* se relacionaron con el pH entre 6.9 y 7.1 y *Glossosomatidae*, *Hydropsychidae*, *Hydrobiosidae*, *Tipulidae*, *Empididae*, *Tabanidae*, *Gerridae*, *Baetidae*, *Simuliidae*,



*Aeshnidae* y *Veelidae* que se relacionaron con aguas oxigenadas y de buena calidad (Montoya, Acosta, & Zuluaga, 2011).

Acosta afirma que la calidad el agua observado obedece a las alteraciones que tiene la fuentes hídrica debido a las actividad antrópica del hombre , represamientos del agua, actividades agrícolas y pecuarias, procesos de erosión, vertimiento de aguas residuales y modificación del cauce, floricultivos asentados en esta zona (Montoya, Acosta, & Zuluaga, 2011).

### **3.8.3 Departamento de Cundinamarca**

#### **“Assemblage of aquatic macroinvertebrates and its relationship whit physical and chemical variables in the wetland Jaboque”**

En el departamento de Cundinamarca se han venido realizando estudios a las cuencas hidrográficas y a los humedales del departamento, como lo es el caso del humedal de Jaboque ubicado en Bogotá, donde se llevaron a cabo estudios de macroinvertebrados acuáticos entre abril de 2009 y enero de 2010 (Rivera, Pinilla, & Rangel, 2013).

El humedal de Jacobe tiene una extensión de 151,9 Ha, se ubica en las localidades de Engativá y Suba cerca de la cuenca del río Juan Amarillo, a 2546 msnm.

Al humedal llegan las aguas del rio Juan Amarillo, el cual en su recorrido recibe todas las aguas servidas de los barrios aledaños a él; debido a esto en épocas de lluvia el humedal sobrepasa su nivel inundación

Según Rivera, Pinilla & Rangel (2013):

“se registraron los siguientes grupos de macroinvertebrados, los cuales estuvieron formados por 27 familias, 26 géneros confirmados y nueve géneros aún por confirmar, con un total de 6403 individuos recolectados en 28 muestras de macrófitas. La mayor abundancia de esta familias correspondió a detritívoros (43,5 %), colectores-raspadores (31,5 %) y colectores-fragmentadores (14,1 %), los cuales fueron más abundantes en los meses de menor precipitación” (p. 280).

Para el estudio de la laguna se tomaron también muestras de agua para análisis fisicoquímicos, y se analizaron los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, temperatura del agua, pH, conductividad, nitratos (NO<sub>3</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub>), ortófosfatos (PO<sub>4</sub>), sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal y demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

Es importante destacar que en dicho estudio seleccionaron siete estaciones de muestreo con distinto grado de deterioro siendo los puntos A, B, C los más conservados y los puntos D, F y G los de mayor deterioro, el punto E se encuentra en un sector de transición donde no es tan predominante el deterioro de las familias con mayor abundancia en la laguna fueron *Glossiphoniidae* (44 %), *Hyalettydae* (24 %), *Asellidae* (8 %) y *Chironomidae* (4 %) (Rivera, Pinilla, & Rangel, 2013).

Según Rivera, Pinilla & Rangel (2013):

La relación entre macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas “La abundancia de la familia *Glossiphoniidae* tuvo una correlación positiva con los nitratos, es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable. Las morfoespecies del género *Scirtes* también se correlacionaron positivamente con el nitrógeno amoniacal, encontraron que la producción anual de macroinvertebrados está estadísticamente relacionada con los compuestos nitrogenados como los nitratos, ya

que estos compuestos estimulan la producción en el sistema biótico y por ende, el alimento para los Macroinvertebrados, la conductividad también mostró una relación positiva con la abundancia de esta familia de *Sanguijuelas*, debido a que los valores altos de este parámetro implican concentraciones altas de minerales disueltos en el humedal, y estos a su vez promueven un aumento en la vegetación acuática. De esta forma se genera un ambiente. El oxígeno favoreció el establecimiento de los *Chironominae*, *Tipulidae*, *Asellidae*. El aumento de oxígeno promueve una abundancia biológica alta y un desarrollo fuerte de la entomofauna acuática. Las variables que se relacionaron inversamente (es decir, que al aumentar disminuye la abundancia de los organismos) fueron los sólidos suspendidos con respecto a los representantes de las familias *Hyaellidae*, *Asellidae* y *Physidae*, los sólidos suspendidos tienen efectos negativos sobre la comunidad de macroinvertebrados. Por su parte la familia *Sphaeriidae* mostró una correlación positiva con las concentraciones de sólidos, con la conductividad y con el fósforo, mientras que la familia *Tipulidae* presentó una relación positiva con el oxígeno disuelto. Todas estas relaciones demuestran que las características físicas y químicas del agua de Jaboque tienen una clara influencia sobre la composición y abundancia de los invertebrados acuáticos que lo habitan” (p. 405).

Con el estudio de macroinvertebrados en la laguna de Jacobe se concluyó:

- Los macroinvertebrados fueron menos diversos debido al sedimento en el humedal, ofreciendo condiciones estresantes para la mayoría de los macroinvertebrados.
- En épocas de lluvia las familias de macroinvertebrados es muy diversa, mientras que en la época seca se evidencio una abundancia en las familias *Glossiphoniidae* y *Asellidae*, los cuales son indicadores de contaminación orgánica, debido a que están mejor adaptadas para emplear eficientemente los altos niveles de nutrientes.

- La laguna Jacobe cuenta con una tasa elevada de nutrientes favoreciendo de esta forma las familias de macroinvertebrados más tolerantes a la contaminación (Rivera, Pinilla, & Rangel, 2013).

### **3.8.4 Departamento del Valle del Cauca**

#### **“Riqueza genérica y distribución de *Elmidae* (Insecta: *Coleoptera*, *Byrrhoidea*) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia”**

El departamento del Valle del Cauca se encuentra situado entre la cordillera central y la cordillera occidental, en el suroccidente colombiano, bañado por dos grandes vertientes, la vertiente del Pacífico y la vertiente del río Cauca, lo cual genera una biodiversidad en el ecosistema de la región especialmente para la familia de macroinvertebrados *Elmidae* y su género más representativo el *Coleóptera* y *Byrrhoidea*,

Según lo afirma Gonzales *et al.*, (2015):

“en Colombia el conocimiento de la diversidad, la ecología y la distribución de la familia *Elmidae* es incipiente, aunque hay registros genéricos en varias regiones, provenientes de estudios de ecología, riqueza, distribución espacial y temporal, y principalmente a partir de evaluaciones de calidad ambiental del agua con base en macroinvertebrados bentónicos” (p. 52).

Para este estudio utilizaron el material de la colección de entomofauna acuática del Museo de Entomología de la Universidad del Valle, las colecciones de macroinvertebrados acuáticos de la Fundación para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y

Wildlife Conservation Society (WCS)-Programa Colombia, en estos se revisaron aproximadamente 3305 especímenes de *Elmidae* entre las cuales fueron 1525 larvas y 1780 adultos ,estas muestras corresponde a muestreos realizados entre los años 1991 y 2014 en 19 municipios, 116 localidades y 63 corrientes hídricas de bajo y mediano orden, pertenecientes a la cuenca alta del río Cauca. Con esta revisión y los datos de las coordenadas realizaron mapas de representatividad geográfica por medio del programa para Sistemas de Información Geográfica Arcgis (González, Zúñiga, & Manzo, 2015).

Para la familia de *Elmidae* encontrada en la vertiente del Pacífico y en la cuenca del río Cauca se encontraron 16 géneros: *Austrolimnius*, *Cylloepus*, *Heterelmis*, *Huleechius*, *Macrelmis*, *Microcylloepus*, *Neoelmis*, *Notelmis*, *Onychelmis*, *Stenhelmoides* y *Xenelmis*) y cinco a *Larainae* (*Disersus*, *Hexanchorus*, *Phanocerus*, *Pharceonus* y *Pseudodisersus*, estos se encontraron distribuidos entre 110 y 2240 m s.n.m. en las vertientes hidrográficas del Pacífico, y en la cuenca alta del río Cauca. Los géneros de mayor distribución geográfica corresponden a *Heterelmis* y *Macrelmis*, mientras que *Stenhelmoides* y *Xenelmis*, no se encontraron en abundancia (2015).

### **3.8.5 Departamento de Caldas**

#### **“Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná”**

El departamento de Caldas se encuentra localizado en el llamado Eje Cafetero Colombiano, entre las cordilleras central y occidental, este estudio se realizó en los

municipios de Villamaría y Manizales, Caldas; en la subcuenca alta del río Chinchiná, en la quebrada El Diamante, La Oliva y el río Chinchiná.

Para la realización del monitoreo se tuvieron en cuenta tres puntos: un primer punto ubicado en la rivera de la quebrada El Diamante, un segundo punto ubicado en la Quebrada La Oliva y un tercer punto ubicado en el río Chinchiná, se realizaron tres muestreos utilizando el método de Red Surber en diferentes épocas para cada punto, una época seca, intermedia y lluviosa. Las muestras recolectadas en cada uno de los muestreos fueron llevadas y conservadas en el laboratorio de Zoología de la Universidad de Caldas, para la evaluación de las aguas calcularon el índice biótico BMWP “Biological Monitoring Working Party”; paralelo al muestreo de macroinvertebrados, se tomaron muestras para análisis de sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno DQO y demanda biológica de oxígenos DBO<sub>5</sub>, y se midieron in situ pH, oxígeno disuelto y temperatura.

Durante los diferentes muestreo recolectaron alrededor de 7486 macroinvertebrados distribuidos en trece órdenes, 37 familias y 74 géneros, encontrando que en los punto de monitoreo hallaron similitud en los siguientes géneros: *Cricotopus*, *Andesiops*, *Baetodes*, *Heterelmis* y *Anacroneuria* (Meza, Rubio, Díaz, & Walteros, 2012).

Según lo afirma Meza *et al.*, (2012):

“En cuanto a las variables físico-químicas del agua para las tres estaciones, se encontró que la demanda biológica de oxígeno en la estación uno presenta valores más altos (29.5 mg O<sub>2</sub>), en comparación con las estaciones dos (21.1mg O<sub>2</sub>) y tres (14 mg O<sub>2</sub>). Igualmente, se presentaron valores decrecientes para la demanda química de oxígeno donde la estación uno presentó una demanda de 99.28 mg O<sub>2</sub> seguida por la estación dos con 54.85 mg O<sub>2</sub> y por último la estación tres con 42.25 mg O<sub>2</sub>. Las estaciones uno y dos registraron valores iguales para las variables pH (7.1) y oxígeno disuelto (86.5%), mientras que la estación tres

tuvo valores de 6.32 para pH y 83.8 para oxígeno disuelto. En cuanto a las variables conductividad y sólidos totales, la tercera estación presentó los valores más altos con 160.6  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y 281 mg/L “(p. 451).

Dichos autores concluyeron al hacer la evaluación de la calidad del agua por medio del índice BMWP, la calidad de la misma en las tres estaciones analizadas es buena desde el contexto biológico, la zona de la subcuenca del río Chinchiná, la cual es un área protegida presenta mejor calidad del agua que las zonas donde se presenta poca presencia de vegetación; la concentración de oxígeno del Río Chinchiná generalmente es alta, lo que facilita la vida de macroinvertebrados; se presentaron valores más altos de demanda de oxígeno y la baja conductividad en la estación uno con relación a la estación tres, pueden estar relacionados a la falta de cobertura vegetal en esta última estación.

### **3.8.6 Departamento de Caquetá**

Del departamento del Caquetá se presentan investigaciones realizadas en el municipio de Solano y Florencia.

#### ***3.8.6.1 Municipio de Solano***

#### **“Diagnostico preliminar de macroinvertebrados acuáticos de tres fuentes hídricas de Jericó Consaya (Solano, Caquetá)”**

El estudio de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua se llevó a cabo en La Quebrada La Consayita, Cananguchal La Tigra y Laguna La Tigra, ubicados en el

Corregimiento de Jericó Consaya, en la Llanura Amazónica, durante el mes de octubre de 2010. Para la investigación de Serrato & Murcia (2013) tuvieron en cuenta tres puntos de muestreos: (1) Laguna la Tigra, (2) Quebrada Consayita y (3) Cananguchal La Tigra.; los muestreos se llevaron a cabo el mes de octubre (época seca) por medio de redes de 60 y 80 micras y se completó con búsqueda directa utilizando pinzas entomológicas. Los hábitats donde se muestreó fueron hojarasca arena, sedimentos y vegetación; el material colectado se conservó en alcohol al 90% en viales plásticos con capacidad de 25 ml y rotulados con los datos de cada localidad.

En el estudio de Serrato & Murcia (2013) fueron

“colectados 1499 macroinvertebrados acuáticos pertenecientes a 9 clases, 15 órdenes, 38 familias, 69 géneros, 1 especie y 74 morfo tipos. Hubo diferencias en cuanto a la ocupación de espacios por los macroinvertebrados, dependiendo de la acumulación de detritos (zona profunda), respecto al nivel superficial o aguas someras (0-30 cm de profundidad), en esta fueron muy frecuentes insectos con morfología adaptada para respirar oxígeno disuelto en el agua como branquias y patas nadadoras, entre ellos chinches y escarabajos acuáticos (*Hemiptera* y *Coleoptera*), larvas de *Trichópteros*, cucarachas y odonatos, mientras que en zonas donde había más sedimento (profundidades mayores a 35 cm) estaba ocupada solo por una especie de insectos (larvas de *Chironomidos*) y otros invertebrados como sanguijuelas (*Glossiphoniidae*), lombrices acuáticas (*Tubificidae*), caracoles (*Ancylidae* y *Planorbidae*) y micro crustáceos, adaptados a vivir en ambientes con déficit de oxígeno. La mayor abundancia de macroinvertebrados acuáticos se obtuvo en Laguna La Tigra, seguido por la Quebrada La Consayita y el Cananguchal La Tigra” (p.35)



Paralelo al muestreo biológico se le analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos al agua: Ph, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Temperatura, los resultados obtenidos en estos análisis “denotaron una similitud entre los valores de las Quebrada La Consayita y La Laguna La Tigra, mientras que el Cananguchal La Tigra, presentó menores valores en cuanto al oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, probablemente por su reducida extensión y bajo volumen de agua; además no se evidenciaron canales de ingreso de corrientes de otras fuentes, estas aguas fueron clasificadas como acidas debido al  $\text{ph} \leq 5,0$  y como aguas negras basado en la baja conductividad, moderada a alta presencia de hojarasca en el lecho y debido a las aguas de color oscuro.” (Serrato & Murcia, 2013, pag.55).

Los resultados obtenidos para este estudio dieron datos opuestos, pues según el índice EPT califica a las aguas como de mala calidad, mientras que el índice BMWP las ubica dentro de los rangos de aguas con calidad aceptables (La Tigra y Cananguchal La Tigra) y como de aguas buenas a la Quebrada La Consayita, estos datos permitieron realizar una aproximación al estado de calidad de las aguas de los tres ecosistemas, aunque se consideran muy puntuales a nivel espacial y temporal, debido a las limitaciones de captura por el difícil acceso a la zona; se observó que en las zonas de mayor profundidad predomina la acumulación de materia orgánica favoreciendo a los macroinvertebrados bioindicadores de aguas poluídas como sanguijuelas (*Glossiphoniidae*) larvas de culebrillas (*Chironomidos*). En los tres ecosistemas evaluados, se observó que el índice EPT reflejo mayor sensibilidad en la determinación de la calidad del agua, comparado con el índice BMWP; probablemente porque el EPT es un índice que solo usa tres grupos de insectos que son más selectivos y contrastantes con el ambiente, mientras que el BMWP utiliza todos los grupos taxonómicos de la muestra (Serrato & Murcia, 2013).

### ***3.8.6.2 Municipio de Florencia***

#### **“Evaluación de la calidad del agua del Rio Hacha (Florencia, Caquetá) con énfasis en el contenido de carga orgánica y la aplicación de bioindicadores”**

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en el municipio de Florencia, Caquetá, en la fuente de abastecimiento del municipio, el Rio Hacha.

Para el estudio seleccionaron cinco puntos de muestreo:

- Estación Caraño, ubicada en la parte alta de la cuenca, en las inmediaciones de la Bocatoma del acueducto Municipal de Florencia.
- Estación Primer Puente, ubicada a la entrada del casco urbano de la ciudad de Florencia, la cual presenta perturbaciones por vertimientos de aguas residuales.
- Estación Puente el Encanto, ubicada a la salida del municipio con dirección a los municipios del sur del departamento, esta estación presenta descargas de vertimientos de aguas residuales.
- Estación Puente López, ubicado en el barrio Juan XXIII, esta estación es la que más deterioro presenta, debido a que el Río Hacha ya ha recorrido gran parte de la ciudad, recibiendo los vertimientos de gran parte de la ciudad, incluida las de su afluente La Quebrada La Perdiz.
- Estación Capitolio, ubicada aguas abajo del Aeropuerto Gustavo Artunduaga Paredes de la ciudad de Florencia, las aguas son turbias y tranquilas, con poca vegetación, en esta estación El Rio Hacha ha recibido todos los vertimientos de agua residual de la ciudad de Florencia.

Según Sandaña & Ome (2005), se recolectaron 1575 individuos distribuidos de la siguiente forma “el orden más representativo en cuanto al porcentaje de individuos fue *Hemiptera* (35,93%), el segundo en importancia lo ocupó el orden *Diptera* (31,81%), seguido de *Ephemeroptera* (18,16%).

“Los órdenes de menor representatividad fueron *Haplotaixida* (1,59%), *Tricladida* (1,14%), *Odonata* (0,89%), *Neuroptera*, *Glossifoniiforme* y *Acari*, cada uno con (0,063%). A pesar de que *Trichoptera* y *Coleoptera* tuvieron un bajo porcentaje de individuos (2,98% y 5,08% respectivamente) fueron los órdenes mayores representados junto con *Diptera*, con 7 familias cada uno, seguidos de *Hemiptera* con 5 familias, *Ephemeroptera* y *Odonata* con 4 familias cada uno”, la estación que presento una calidad aceptable del agua es la estación Caraño, debido a que no se presencia del hombre en el sector, por ser una zona de reserva; la estación Primer Puente, presento aguas moderadamente contaminadas, debido a la poca afluencia de actividades antrópicas. Y finalmente las estaciones Puente López, Puente el Encanto y Capitolio; son influenciadas por las actividades del hombre, presentaron mayor contaminación por materia orgánica y presencia de macroinvertebrados tolerantes a la contaminación” (Sandaña & Ome, 2005, pág. 49).

Paralelo al estudio biótico del Río Hacha se analizaron los siguientes parámetros físico químicos: temperatura, Oxígeno disuelto, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, Demanda Química de Oxígeno DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Suspendidos Inorgánicos, Sólidos Suspendidos Orgánicos, Conductividad, los resultados arrojaron los siguientes resultados: “En el Río Hacha las variables físico-químicas como la conductividad eléctrica, el pH, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, se encuentran en rangos que permiten el desarrollo de la vida

acuática. A pesar de las descargas de desechos orgánicos que se presentan en el Río Hacha, las variables que cuantifican el contenido de materia orgánica (DBO y DQO) no presentan valores altos, excepto en las estaciones Puente López y Capitolio Las concentraciones de sólidos suspendidos (totales, orgánicos e inorgánicos) presentaron los valores más altos en las estaciones Puente López y Capitolio, esto debido al aporte de desechos orgánicos y, principalmente a la extracción de material del lecho del Río. El contenido de carga orgánica, medido a través de la variable DBO5, indica el continuo impacto de las aguas servidas sobre el Río Hacha y la leve recuperación de este sistema a medida que se aleja del área urbana. El Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), confirma la contaminación por materia orgánica en el Río Hacha, aumentando a medida que recibe las descargas de desechos domésticos de la ciudad” (Sandaña & Ome, 2005, pág. 61).

Indican además Sandaña & Ome (2005) que de los hallazgos de la investigación en el río Hacha se encontró una gran riqueza, al evidenciar la existencia de 37 familias de macroinvertebrados, las cuales fueron registradas principalmente en la estación El Caraño. Esto puede explicarse “por el tipo de sustrato (rocoso), las altas concentraciones de oxígeno disuelto, la vegetación ribereña y las bajas concentraciones de sólidos suspendidos, entre otras variables” (Sandaña & Ome, 2005, pág. 60).

### ***3.8.6.3 Otras investigaciones realizadas en el Departamento de Caquetá***

En un estudio realizado en 2005 a la Quebrada La Perdiz en el Municipio de Florencia, el autor encontró 2128 individuos, distribuidos en 7 géneros de 6 familias del orden *Trichoptera*, cuya abundancia, diversidad y riqueza disminuyeron a medida que el cuerpo

de agua se acerca y cruza la ciudad de Florencia, donde se vierten la mayor parte de las aguas residuales, debido a que la ciudad carece de una planta de aguas residuales PTAR (Collazos, 2005).

Otra de las fuentes importantes que baña el municipio de Florencia es la Quebrada El Dedo, para la cual en el Riveros & Muñoz (2003) afirman que la alta cantidad de aguas residuales domesticas que se vierten a esta, están afectando la calidad del agua. En el estudio se encontraron presencia de las familias *Tubificidae* y *Chironomidae*, indicadores de aguas contaminadas.

En el municipio de Belén de los Andaquíes, Arias & Galindo (2003) realizaron estudio a la microcuenca de la Quebrada La Danta; dicho estudio arrojó que en la parte alta de esta fuente hídrica predominó la presencia de especies de la *Familia Hidropsychidae* indicadoras de aguas no contaminadas, por el contrario para la parte media, la cual presentó aguas contaminadas, debido al asentamiento de familias humanas, se encontraron individuos de la familia *Glossiphoniidae*.

#### 4. CONCLUSIONES

Los macroinvertebrados acuáticos se convierten en excelentes indicadores biológicos de la calidad del agua, funcionando como una importante herramienta para monitoreo de los recursos hídricos (González & García, 1995; Hurtado et al., 2005; Rosenberg & Resh, 1993). Estos organismos responden rápidamente a variaciones ambientales y son fundamentales para el entendimiento de la estructura trófica y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Lampert & Sommer, 2007).

Los macroinvertebrados más representativos hallados en los estudios realizados a las fuentes hídricas en Colombia son: *Neotrichia*, *Protoptila*, *Smicridea*, *Chimarra*, *Trichopteros Chironomidae*, *Physidae*, *Baetidae*, *Simuliidae*, *Hydrophilidae*, *Tipulidae*, *Ceratopogonidae*, *Planorbidae*, *Naididae*, *Oligochaeta*, *Culicidae*, *Muscidae*, *Hydrometridae*, *Ceratopogonidae*, *Hirudinea* los cuales son tolerantes a la contaminación, y *Glossiphoniidae* y *Asellidae*, que indican que el agua tiene residuos de materia orgánica, Entre los macroinvertebrados poco tolerantes a la contaminación de aguas se encuentran: *Veliidae*, *Oligochaeta*, *Gastropoda*, *Perlidae*, *Lampiridae*, *Odontoceridae*, *Distiscidae*, *Leptoceridae*, *Coelenterata*; el predominio de estos macroinvertebrados explica que en las partes altas de la cuenca predominan los macroinvertebrados bioindicadores de buena calidad de agua y en las zonas donde los Ríos atraviesan la ciudad y todos los vertimientos de aguas residuales e industriales predominan los macroinvertebrados bioindicadores de agua contaminada.

Los métodos más utilizados para el estudio de macroinvertebrados son el *Biological Monitoring Working Party* (BMWP/Col) que tiene la finalidad de conocer la calidad del agua de acuerdo a la tolerancia de los macroinvertebrados a la contaminación orgánica. El índice *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera EPT*, que califica la calidad del agua por medio de los órdenes *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera*, estos tres órdenes de insectos son muy vulnerables a las alteraciones del ecosistema acuático especialmente a la degradación de la calidad del agua.

Los estudios que utilizan macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua son altamente eficaces en la detección de sitios que presenten alteraciones en las cuencas hidrográficas, convirtiendo a los macroinvertebrados en una herramienta para la elaboración de mapas de calidad de agua, en la elaboración de mapa de Riesgo de fuentes abastecedoras, debido a su bajo costo, su fácil utilización y su alta confiabilidad.

La complicada situación actual de los ríos ha aumentado el interés general por conocer los factores que influyen en su dinámica, por lo que emplear distintas herramientas metodológicas permite realizar un diagnóstico general del estado de una cuenca y a la vez establecer juicios para el análisis de la calidad de agua, es por esto que el estudio de macroinvertebrados complementa los estudios fisicoquímicos y microbiológicos que se le realizan a las aguas; ya que los macroinvertebrados tienen la característica de reflejar las condiciones de una fuente hídrica tiempo atrás, mientras que los análisis fisicoquímicos y microbiológicos dan una visión puntual del estado en que se encuentran la fuente en ese momento.

El estudio de macroinvertebrados es un complemento a los estudios fisicoquímicos y microbiológicos que se le realicen a una fuente hídrica, ya que los macroinvertebrados

tienen la característica de reflejar las condiciones de una fuente hídrica tiempo atrás, mientras que los análisis fisicoquímicos y microbiológicos dan un resultado puntual del estado en que se encuentra la fuente en ese momento.

Se evidencia la ausencia de información acerca de los macroinvertebrados como bioindicadores en Colombia, estos estudios biológicos deberían complementar los estudios fisicoquímicos que se le realicen a cuerpos de agua.

En Colombia no se cuenta con una legislación que incluya los estudios de macroinvertebrados, como requisito para el otorgamiento de concesiones para sistemas de abastecimiento y de permisos de vertimiento.

Los estudios de macroinvertebrados son una herramienta que posibilita a las comunidades alejadas de los cascos urbanos, hacer estudios a fuentes hídricas y de esta forma determinar la calidad del agua y utilizarla para consumo humano.

En Colombia, las entidades que han estado desarrollando estudios de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua, para la recuperación y conservación de las cuencas hidrográficas son: El Instituto Cinara en el Departamento del Valle; en el departamento de Caquetá, la facultad de Biología de la Universidad de la Amazonía en apoyo con Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia CORPOAMAZONIA; en el Departamento de Tolima, la Universidad del Tolima en apoyo con La Corporación Autónoma del Tolima CORTOLIMA, en el Departamento de Antioquia, La Universidad Católica de Oriente en apoyo con La Corporación Autónoma Regional de la Cuencas de los Ríos Negro y Naré CORNARE y la Universidad de Antioquia; La Sociedad para la conservación de la Vida Salvaje; Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, entre otros.



## GLOSARIO

**ALOCTONO:** Especie originaria de otro de un lugar diferente al que habita.

**BIOINDICADOR:** Organismos que detectan las alteraciones de la calidad del medio ambiente.

**CALIDAD DEL AGUA:** Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**DENTRITIVORO:** Son organismos que obtienen su alimento de materia orgánica en descomposición.

**ENTOMOFAUNA:** Es la fauna constituida por insectos.

**FAUNA BÉNTICA:** especies animales que habitan en el nivel más bajo de un cuerpo de agua.

**ICTIOFAUNA:** Conjunto de peces que existen en una región biogeográfica.

**LIMNOLOGÍA:** Es la rama de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos.

**MACROINVERTEBRADOS:** Son organismos que no tienen espina dorsal y que son visibles sin usar un microscopio

**MACROFITAS:** Son plantas, algas, musgos macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático.

**MONITOREO DE AGUAS:** es una herramienta que permite hacer seguimiento, vigilancia y control a toda fuente hídrica.

**PERIFITON:** Es un componente de las comunidades bióticas acuáticas, su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua y de procesos que como la contaminación puedan estar afectando a los ecosistemas

**VARIABLES FISICOQUÍMICAS:** Son los cambio físicos y químicos que puede sufrir un cuerpo de agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de la aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), II*, 203-2013.
- Alba-Tercedor, J., & Sánchez-Ortega, D. (1987). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell. *Limnética*, 4, 51-56.
- Allan, J., & Castillo, M. (2007). *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters* (2 ed.). Dordrecht, Holanda: Springer.
- Alonso, A., & Camargo, J. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 14(3), 87-99.
- Álvarez, S., & Pérez, L. (2007). *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras: Tesis*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.
- Arias, A., Buss, D., Albuquerque, C., Inácio, A., Freire, M., Egler, M., . . . Baptista, D. (2007). Use of bioindicators for assessing and monitoring pesticides contamination in streams and rivers. *Ciência & Saúde*, 12(1), 61-72.
- Arias, C., & Galindo, M. (2003). *Diagnóstico ambiental y estudio limnológico, microbiológico para el área de la microcuenca de la Quebrada la Danta (trabajo*

- de grado*). Florencia, Colombia: Universidad de la Amazonia, Programa de Biología.
- Barbour, M., Gerritsen, J., & Snyder, B. S. (1999). *Revision to rapid bioassessment protocols for use in stream and rivers: periphyton, BMIs and fish*. EPA 841-D-97-002. Washington D.C.: Environmental Protection Agency.
- Barreto, G., Reinoso, G., Guevara, G., & Villa, F. (2005). Primer registro de Gripopterygidae (Insecta: Plecoptera) para Colombia. *Revista Caldasia*, 27(2), 243-246.
- Blanco, J., Imbert, J., & Castillo, F. (2009). La práctica de las claras forestales y su influencia en los ciclos de nutrientes en dos bosques de pino silvestre del Pirineo navarro. *5o Congreso Forestal Español: Montes y sociedad: Saber qué hacer* (págs. 2-15). Madrid España: Editores S.E.C.F. - Junta de Castilla y León.
- Carranza, X. (2006). *Evaluación de la fauna de Dípteros (Insecta: Díptera) acuáticos de las cuencas de los río Prado y la parte baja de Amoyá en el departamento del Tolima. Trabajo de grado (Biólogo)*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Programa de Biología.
- Carrera, R., & Fierro, P. (2001). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Manual de monitoreo*. Quito, Ecuador: EcoCiencia.
- Castellón, R., Suansín, D., Garay, M., & Hernández, A. I. (2011). *Plan de restauracion Microcuenca El Chimbo, Municipio de Santa Lucia, F.M. Tegucigalpa, M.D.C.* Tegucigalpa, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.
- Caupaz, F. (2006). *Estudio de los coleópteros acuáticos de las cuencas de los ríos Prado y la parte baja de Amoyá en el departamento del Tolima. Trabajo de grado (Biólogo)*.

Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Programa de Biología.

Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Londres, Inglaterra: Chapman Hill.

Chiba, WAC, Passerini, MD., Tundisi, JR, (2011.) Estudio da Macroinvertebrados em contaminacao por metales bentónicos em uma sub- bacia do Sudeste de Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, 71(2). Recuperado el 15 de Septiembre de 2016 de : [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842011000300008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842011000300008)

Collazos, G. (2005). *Capacidad bioindicadora del orden Trichoptera en la zona rural y urbana de la Perdiz Municipio de Florencia Caquetá (Tesis de pregrado)*. Florencia, Colombia: Universidad de la Amazonia, Programa de Biología.

De Paw, N., Ghetti, P., Manzini, P., & Spaggiari, R. (1992). Biological assessment methods for running and control. *Commission of the European Communities*, 3, 217-248.

EcoSpark. (noviembre de 2013). *Water Quality Monitoring with Benthic Macroinvertebrates. Field Manual*. Toronto, Canadá: Livegreen, GMCR Canadá, NSERC-CRSNG. Recuperado el 21 de mayo de 2016, de [http://ecospark.ca/sites/default/files/currents/2013\\_CC\\_Manual.pdf](http://ecospark.ca/sites/default/files/currents/2013_CC_Manual.pdf)

Forero-Céspedes, A., Reinoso-Flórez, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Revista Cadalsia*, 35(2), 371-387.

González, M., & García, D. (1995). *Restauración de ríos y ribera*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

- González, M., Zúñiga, M., & Manzo, V. (2015). Riqueza genérica y distribución de Elmidae (Insecta: Coleoptera, Byrrhoidea) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Biota Colombiana*, 16(2), 51-74.
- Gutiérrez, C. (2007). *Estudio de los efemerópteros (Insecta) inmaduros de la cuenca del Río Prado y de la cuenca del Río Saldaña (subcuenca Amoyá) departamento del Tolima*. Ibagué. Trabajo de grado (Biólogo). Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Biología.
- Figuerola, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O . (2003). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua de rios del sur de Chile. *Revista Chilena de historia natural*, 76, 275-285. Recuperado el 8 de Septiembre de 2016 de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-078X2003000200012](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2003000200012)
- Hilsenhoff, W. (1988). Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J.N. Am. Benthol. Soc.*, 7, 65-68.
- Hurtado, S.; Garcia, F. & Gutierrez, P. (2005). Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a12.pdf>
- Karr, J. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6, 21-27.
- Ladrera, R., Rieradeval, M., & Prat, N. (20 de diciembre de 2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza e-Revista de Didáctica*, 11, 1-19.
- Recuperado de [http://www.ehu.es/ikastorratza/11\\_alea/macro.pdf](http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf)
- Lampert, W. & Sommer, U. (2007). *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. 2 Ed. Oxford University Street. Nueva York. 324

- López, E. (2007). *Análisis faunístico de las larvas del orden Trichoptera en la cuenca del río Prado y la subcuenca de Amoyá (Tolima-Colombia). Trabajo de grado (Biólogo)*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología.
- Lozano, O. (7 de diciembre de 2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Revista Umbral Científico de la Universidad Manuela Beltrán*(7), 5-11. Recuperado el 15 de abril de 2016, de <http://www.redalyc.org/pdf/304/30400702.pdf>
- Meza, L., Fernandez, H. (2007). La riqueza de artropodos bentónicos en una cuenca andina subtropical (Tucuman, Argentina). *Revista Eco austral*, 17(2). Recuperado el 9 de Septiembre de 2016, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2007000200006](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2007000200006)
- Meza, A., Rubio, J., Díaz, L., & Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Revista Caldasia*, 34(2), 443-456.
- Montoya, Y., Acosta, Y., & Zuluaga, E. (2011). Evolución de la calidad del agua en el Río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el PMWP/COL y el ASPT. *Revista Caldasia*, 33(1), 193-210.
- Ojeda, E. (2000). *Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia. Recursos hídricos, agua y saneamiento potable*. Bogotá D.C.: CEPAL.
- Parra, T. (2008). *Estudio de los hemípteros (hemiptera: heteroptera) de la cuenca del río Totare (Tolima - Colombia) taxonomía, distribución, diversidad y algunos aspectos*

- ecológicos. Trabajo de grado (Biólogo)*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Programa de Biología.
- Pérez, M., Pineda, L., & Medina, N. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. En O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, & L. Zambrano, *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (págs. 71-112). México D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Escuela de Biología de la Universidad de Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Reinoso, G. (2001). *Estudio bioecológico de los tricópteros del río Alvarado en el trayecto comprendido entre El Salado y Alvarado Tolima*. Alvarado, Tolima, Colombia: Universidad del Tolima.
- Rivera, J., Pinilla, G., & Rangel, O. (2013). Emsamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedad de Jaboque-Colombia. *Revista Caldasia*, 35(2), 389-408.
- Riveros, J., & Muñoz, M. (2003). *Estudio de la calidad del agua de la parte baja de la Quebrada el Dedo con comunidades macroinvertebrados y su relación con algunas actividades agroecológicas (Trabajo de Grado)*. Florencia, Colombia: Universidad de la Amazonia, Programa de Biología.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 23(88), 375-387.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación del a calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col*. Médellín, Colombia: Universidad de Antioquia.



- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosenbert, D., & Resh, V. (1993). *Freshwater biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York: Chapman y Hall.
- Rosero, D., & Fossati, O. (2009). *Comparación entre dos índices bióticos para conocer la calidad del agua en ríos del Páramo del Papallacta. Fondo para la Protección del Agua, FONAG*. Quito, Ecuador: Instituto para el Desarrollo y la Investigación.
- Sandaña, G., & Ome, B. (2005). *Evaluación de la calidad del agua del Rio Hacha Florencia, Caquetá con énfasis en el contenido de carga orgánica y la aplicación de bioindicadores (tesis de pregrado)*. Florencia, Colombia: Universidad de la Amazonia, Programa de Biología.
- Serrato, C., & Murcia, B. (2013). *Diagnostico preliminar de macroinvertebrados acuaticos de tres fuentes hidricas de Jerico Consaya (Solano Caquetá)*. Florencia, Colombia: Universidad de la Amazonia, Programa de Biología.
- Springer, M. (diciembre de 2010). Biomonitorio acuático. *Rev. Biol. Trop.*, 58(4), 53-59.  
Recuperado el 24 de abril de 2016, de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a03v58s4.pdf>
- Vásquez, J., & Reinoso, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, 38, 351-358.
- Villa, F., Reinoso, G., & Bernal, M. L. (2003). *Biodiversidad faunística de la Cuenca del río Coello Biodiversidad Regional fase I. Informe final*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.

- Villa, F., Reinoso, G., Bernal, M., Losada, S., Esquivel, H., García, J., & Vejarano, M. (2005). *Biodiversidad faunística de la Cuenca del río Prado-Biodiversidad Regional fase II. Informe final*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.
- Wallace, I., & Webster, J. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 17, 567-594.
- Water and Rivers Commission -WRC-. (2001). *Fater facts*. Western, Australia: WRC.
- Wotton, R., & Malmqvist, B. (2001). Feces in aquatic ecosystems. *Bioscience*, 51, 537-544.