



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**¿Qué es un bioindicador?  
Aprendiendo a partir del ciclo de  
indagación guiada con  
macroinvertebrados bentónicos.  
Propuesta Metodológica**

**Nafer Edivar Morales Salinas**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Leticia, Colombia

2011



# **¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos. Propuesta Metodológica**

**Nafer Edivar Morales Salinas**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales**

Director:

M.Sc. Santiago R. Duque

Profesor Asociado Sede Amazonia UN

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Leticia, Colombia

2011



*Come, hijo mío, de la miel,  
porque es buena;  
el panal es dulce a tu paladar.  
Así será para ti el conocimiento  
de la sabiduría:  
si la hallas tendrás recompensa  
y al fin tu esperanza no será frustrada.  
Pr. 24: 13-14.*



## **Agradecimientos**

A Dios por permitirme alcanzar este logro.

A la Universidad Nacional de Colombia, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios superiores.

A Santiago R. Duque, M.Sc., Profesor Asociado, líder del grupo de Investigación Limnología Amazónica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia - Instituto Amazónico de Investigaciones (Imani), por su dirección y aportes durante el desarrollo de este trabajo.

A los compañeros del laboratorio de limnología de la Universidad Nacional sede Amazonia.

A los 36 estudiantes del grado noveno de la Institución Educativa Sagrado Corazón de Jesús de Leticia, Colombia, por participar en el desarrollo de la propuesta metodológica.

A mis padres por respaldarme en todo momento.





## Resumen

El objetivo de este trabajo fue diseñar y ejecutar una propuesta metodológica para construir el concepto de bioindicador a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos. La propuesta metodológica se diseñó a partir de una unidad temática, en la cual se definieron como referentes: un concepto de bioindicador, una clase de macroinvertebrados bentónicos, antecedentes del concepto de bioindicador en el currículo de la escuela y un enfoque metodológico. La propuesta metodológica se implementó con estudiantes de grado noveno de la institución educativa Sagrado Corazón de Jesús de la ciudad de Leticia, Amazonas. Uno de los conceptos construido por los estudiantes fue el de bioindicador como organismo que se puede estudiar para determinar el nivel de contaminación de un ecosistema. Este trabajo demuestra la importancia de la implementación de nuevos enfoques en la enseñanza de las ciencias naturales.

**Palabras clave:** Bioindicador, unidad temática, propuesta metodológica, indagación, macroinvertebrados.

## Abstract

The aim of this Project was to design and execute a methodological proposal to build the concept of bioindicator since the concept of guided inquest cycle with bentonic macroinvertebrates- The methodological proposal was designed from a thematic unit in which were established as referents: a bioindicator concept, a kind of bentonic macroinvertebrates, background of bioindicator concept in the school curriculum and a methodological focus. The methodological proposal was implemented with ninth grade students from Institución Educativa Sagrado Corazón de Jesús from Leticia, Amazonas. One of the concepts built by the students was the bioindicator as organism which can be studied to determine the pollution level of an ecosystem. This paper demonstrates the importance of the implementation of new focuses in the Natural Sciences teaching.

**Keywords:** Bioindicator, thematic unit, methodological proposal, inquest, macroinvertebrates.



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Capítulo 1 Bioindicación</b> .....	<b>3</b>
1.1 Historia de los sistemas de bioindicación.....	3
1.2 El concepto de los bioindicadores en la ecología.....	4
1.3 Los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores.....	5
1.4 Experiencias de los macroinvertebrados en la enseñanza.....	7
<b>2. Capítulo 2 Diseño de la Unidad temática para construir el concepto de Bioindicador</b> .....	<b>9</b>
2.1 Selección del concepto de bioindicador .....	9
2.2 Selección de la clase de macroinvertebrados bentónicos .....	10
2.3 La bioindicación dentro del currículo de la escuela .....	10
2.4 Selección del enfoque metodológico.....	11
2.5 Diseño de la propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos.....	12
2.5.1 Formulación de la pregunta.....	12
2.5.2 Selección del protocolo de Muestreo de macroinvertebrados.....	12
2.5.3 Planeación de actividades de aula y de campo .....	12
2.5.4 Diseño del cuestionario para indagar ideas previas sobre el concepto de bioindicador .....	13
2.5.5 Diseño del cuestionario para evaluar la construcción del concepto de bioindicador.....	14
2.5.6 Propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos.....	14
<b>3. Capítulo 3 Implementación de la propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos</b> .....	<b>19</b>
3.1 Resultados de las actividades del primer paso del ciclo de indagación guiada .....	20
3.1.1 Ideas previas sobre el concepto de bioindicador .....	20
3.1.2 Presentación de la pregunta.....	22
3.2 Resultados del segundo paso del ciclo de indagación guiada.....	22

3.2.1	Resultado de la Actividad No. 1 ¿Qué estamos comparando? .....	22
3.2.2	Resultado de la Actividad No. 2 Diseñemos nuestra indagación.....	23
3.2.3	Resultado de la Actividad No. 3 Definición de la metodología.....	23
3.2.4	Resultado de la Actividad No. 4 Recolección de la información .....	24
3.2.5	Resultado de la Actividad No. 5 Organización y análisis de la información .....	26
3.3	Resultados de la actividad del tercer paso del ciclo de indagación.....	28
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>33</b>
4.1	Conclusiones.....	33
4.2	Recomendaciones.....	33
<b>A.</b>	<b>Anexo: Guía de identificación de los macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano .....</b>	<b>35</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Tabla de Tolerancia.....</b>	<b>37</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Guía No 1.....</b>	<b>38</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Guía No. 2.....</b>	<b>39</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo: Cuestionario para evaluar el concepto de bioindicador .....</b>	<b>40</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Propuesta metodológica ajustada. ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos.....</b>	<b>41</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>45</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 3-1:</b> Proceso de muestreo realizado en la Quebrada San Antonio. ....	24
<b>Figura 3-2:</b> Proceso de muestreo realizado en la Quebrada La Arenosa .....	26

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Aportes históricos al sistema de bioindicación.....	3
<b>Tabla 2-1:</b> Plantilla resumen para diseñar las actividades.....	13
<b>Tabla 2-2:</b> Construcción de preguntas a partir de conceptos asociados.....	14
<b>Tabla 2-3:</b> Formato para registrar el número de individuos de insectos.....	17
<b>Tabla 3-1:</b> Resultados de la primera pregunta del cuestionario de ideas previas.....	20
<b>Tabla 3-2:</b> Resultados de la segunda pregunta del cuestionario de ideas previas.....	20
<b>Tabla 3-3:</b> Resultados de la tercera pregunta del cuestionario de ideas previas.....	21
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados de la cuarta pregunta del cuestionario de ideas previas.....	21
<b>Tabla 3-5:</b> Resultado de la quinta pregunta del cuestionario de ideas previas.....	21
<b>Tabla 3-6:</b> Preguntas y respuestas que surgieron de la presentación de la pregunta de investigación.....	22
<b>Tabla 3-7:</b> Caracterización General de la quebrada San Antonio.....	24
<b>Tabla 3-8:</b> Caracterización General de la quebrada La Arenosa.....	25
<b>Tabla 3-9:</b> Recopilación de descripciones realizadas por los estudiantes.....	26
<b>Tabla 3-10:</b> Cuantificación del número de organismos colectados.....	27
<b>Tabla 3-11:</b> Cuantificación del número de familias taxonómicas en cada muestra.....	27
<b>Tabla 3-12:</b> Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Cuál es la respuesta a nuestra pregunta de investigación?.....	28
<b>Tabla 3-13:</b> Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Cuáles podrían ser las explicaciones para nuestros resultados?.....	28
<b>Tabla 3-14:</b> Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Por qué en las dos quebradas encontramos insectos diferentes?.....	29
<b>Tabla 3-15:</b> Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Qué información nos puede dar la presencia de algunos organismos en un determinado ambiente?.....	29
<b>Tabla 3-16:</b> Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Qué es un bioindicador?...	30
<b>Tabla 3-17:</b> Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿El ser humano puede ser un bioindicador?.....	30

**Tabla 3-18:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Qué es un bioindicador?...30





## Introducción

En Colombia, las investigaciones que se adelantan en el campo de la enseñanza de las ciencias abordan variados ámbitos, entre estos encontramos las que se centran en propuestas de estrategias para el aprendizaje de conceptos básicos (Hernández 2000).

El proyecto ***¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos. Propuesta Metodológica***, aborda el ámbito descrito anteriormente; con objetivos como el de diseñar, ejecutar y evaluar una propuesta metodológica que permita construir el concepto de bioindicador a partir del estudio de los macroinvertebrados bentónicos encontrados en pequeños cursos de agua o arroyos con diferentes grados de alteración humana; con una metodología basada en el modelo didáctico de indagación.

Dicho modelo es reconocido como uno de las nuevas tendencias educativas para la enseñanza de las ciencias (Torres 2010), pues garantiza un acceso más equitativo al conocimiento, por lo que actualmente es promovido por la comunidad científica internacional, como metodología de enseñanza para el aprendizaje de las ciencias (González et. al. 2008).

Se puede precisar que este proyecto tiene un enfoque reflexivo, ya que se centra en evaluar el alcance de una propuesta metodológica, diseñada como una herramienta para inducir al estudiante a la construcción del conocimiento, a partir del modelo de aprendizaje por indagación, el cual garantiza un acceso más equitativo al conocimiento y a su aplicación. Por consiguiente, en la actualidad los métodos indagatorios se difunden con fuerza en las aplicaciones didácticas (Campanario y Moya 1999). Según esta visión y desde la comunidad científica internacional, se ha promovido la implementación y el uso de la indagación científica como metodología de enseñanza para el aprendizaje de las ciencias (González *et al.*, 2008); esquema que se opone a las prácticas pedagógicas tradicionalistas, las cuales están centradas en la enseñanza de conceptos propios de las ciencias, a través de textos escritos en el tablero, dictados de contenidos encontrados en libros, diseño gráfico de fenómenos objeto de “estudio” y explicaciones superficiales que conllevan más a la confusión que al cambio conceptual (Hernández 2000) de las ideas previas (Carretero 1997).

Así, este proyecto que auspicia la relación pedagógica entorno-escuela (Torres 2010), ejemplifica una forma diferente de enseñar y aprender ciencias, aprovechando el contexto amazónico, un lugar reconocido por su exuberante riqueza en biodiversidad, con la que los estudiantes pueden interactuar inclusive en el mismo patio de la escuela. Es por esto, que se reitera el contexto amazónico como un gran laboratorio en la que docentes y estudiantes pueden experimentar la indagación sobre un ambiente natural real, palpable, estimulante, enigmático, cautivador e interesante.

El documento está estructurado de la siguiente manera:

En el primer capítulo se presenta un breve recuento de la historia de los sistemas de bioindicación, el concepto de los bioindicadores en la ecología, las características de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores y, al finalizar, se describe una experiencia con macroinvertebrados en la escuela.

El capítulo dos, se centra en el proceso de diseño de la unidad temática ¿Qué es un bioindicador? y su respectiva propuesta metodológica.

En el capítulo tres se describen los resultados obtenidos en la implementación de la propuesta metodológica con estudiantes de grado noveno de la institución educativa Sagrado Corazón de Jesús de la ciudad de Leticia-Amazonas.

Finalmente, el documento incluye las conclusiones que se establecieron a partir de la implementación de la propuesta metodológica, además las recomendaciones para su aplicación.

# 1. Capítulo 1 Bioindicación

## 1.1 Historia de los sistemas de bioindicación

La bioindicación ha sido una constante a lo largo de la historia de la humanidad, esto se evidencia en todas las etapas de desarrollo de la cultura humana, la cual ha recurrido a la utilización de elementos del ambiente como indicadores de la existencia de recursos vitales para la supervivencia o de intentar conocer y definir las causas de los cambios ocurridos al ambiente en buena medida producto de las actividades humanas (Guillot 1997).

Roldán (2003) realizó una recopilación de los aportes históricos del concepto de bioindicación y su uso en sistemas acuáticos. Esta síntesis se presenta en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1:** Aportes históricos al sistema de bioindicación. (Tomado de Roldán 2003)

Autor	Año	Aporte
Kolenati	1848	Encontró relaciones entre ciertas especies y el grado de calidad de agua.
Cohn	1853	Reafirmó lo establecido por Kolenati.
Mez	1898	Utilizó microorganismo para establecer relaciones entre la presencia de estos con la calidad del agua.
Kolkwitz y Marsson	1908, 1909	Sentaron las bases para el sistema saprobio.
Patrick	1949, 1950	Propuso métodos biológicos para evaluar las condiciones.
Gaufin y Tarzwell	1952	Proponen a los macroinvertebrados como los indicadores de contaminación de la corriente.
Varios autores.	1949 hasta 1970	Se discute el concepto de diversidad de especies basado en índices matemáticos derivados de la teoría de la información.
Hynes	1959, 1963	Presentó a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua e integró la biología a la contaminación acuática.
Sládecek	1962	Introdujo el sistema limnosaprobio en Checoslovaquia.
Illies y Botosaneau	1963	Discutieron los métodos y la zona de las aguas corrientes, introdujeron los términos ritón y potamon.
Woodwiss	1964	Encontró una correlación entre los parámetros biológicos y químicos de la contaminación.
Ghetti y Bonazzi	1981	Consideran a los macroinvertebrados como los mejores bioindicadores de la calidad del agua.
De Pauw y Vanhooren	1983	Discutieron los métodos de evaluación para Bélgica.
Washington	1984	Revisó los índices de diversidad biótico y de similitud con especial referencia a los ecosistemas acuáticos. Presentó índices de diversidad y similitud.
Prat y colaboradores	1986	Encontró una baja correlación entre la comparación de índices que utilizaban parámetros físicos y biológicos.
Metcalf	1989	Distinguió factores para evaluar respuesta de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación (saprobio, diversidad, biótico).
Karr	1991	Introdujo el concepto de índice de integridad biológica IBI.
Armitage y Petts	1992	Examinaron la factibilidad de usar puntajes bióticos y predicciones basadas en el sistema computarizado RIPACS para valorar la pérdida de la fauna bentónica.
De Pauw y colaboradores	1992	Establecieron que once países europeos utilizan los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.

**Tabla 1-1:** (Continuación)

Wright	1995	Aplicó el método RIPACS en la Gran Bretaña, afirmó que este método no era válido para este país.
Barbour y colaboradores	1995	Presentaron 63 tipos de mediciones para la evaluación rápida de los ecosistemas acuáticos. Entre ellos, está el índice biótico BMWP.
Res y colaboradores	1995	Desarrollaron métodos rápidos de evaluación de la calidad de agua utilizando macroinvertebrados.
Trihandiningrum y colaboradores	1996	Utilizaron los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua en Indonesia.
Alba-Tercedor	1996	Adoptó la utilización de los macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la calidad del agua en España, utilizó el índice IBMWP' adaptado para la península Ibérica.
Towsend y Scarsbrook	1997	Calificaron la perturbación en las corrientes en relación con las características de las especies de los macroinvertebrados y la riqueza de dichas especies.
Lorenz y colaboradores	1997	Desarrollaron un sistema de bioindicación con base a conceptos teóricos que describen ríos naturales.
Munné y colaboradores	1998	Establecieron un índice de calidad en España que valora el estado de la calidad de conservación del bosque de ribera.
Jacobsen	1998	Discutió el efecto de la contaminación orgánica sobre la fauna de macroinvertebrados en las planicies ecuatorianas.
Wantzen	1988	Analizó los efectos de la sedimentación sobre las comunidades bénticas en Mato Grosso-Brasil.
Stubauer y Moog	2000	Discutieron las experiencias de monitoreo de la calidad de las aguas en Austria.

## 1.2 El concepto de los bioindicadores en la ecología

Los bioindicadores son organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat (Morais *et al.*, 2009). El bioindicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas (Zúñiga de Cardozo y Caicedo 1997), es decir, son sensibles a las alteraciones de los factores físicos y químicos del medio en el que viven.

Los bioindicadores miden los efectos de la contaminación en el ambiente y en los propios seres vivos, por tanto, ofrecen información sobre los riesgos para otros organismos, el ecosistema y también para el ser humano (Anze *et al.*, 2007). Las especies bioindicadoras son aquellas que pueden vivir bajo condiciones ambientales relativamente particulares (Segnini 2003).

Por sus características como sensibilidad a contaminantes, dispersión, éxito reproductivo, distribución, las especies bioindicadores pueden ser utilizadas como estimadoras de las condiciones ambientales que resulten complicadas y costosas de medir (Isasi-Catalá 2010). Mediante un sistema de bioindicación, la información taxonómica se traduce en un índice, lo que facilita la interpretación de un gran número de datos que resultan de los llamados monitoreos biológicos (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Los bioindicadores son una medida indirecta de lo que se quiere medir, su uso se fundamenta en la suposición de que la presencia o la abundancia de una especie, o un determinado conjunto de especies, esté correlacionado con una o muchas variables del ecosistema que le son favorables para su sobrevivencia; de esta forma se establece una asociación estadística entre el bioindicador y las variables que se quiere indicar (Ribera y Foster 1997).

Hay dos razones para usar bioindicadores:

1. Cuando no se puede acceder directamente a la información de que se requiere de forma directa, y
2. Cuando acceder a esta información es más difícil y costoso que el uso de un indicador.

Las especies bioindicadoras pueden ser clasificadas en aquellas que indican la salud ecológica y cambios poblacionales (Isasi-Catalá 2010). En el contexto de la conservación biológica, los bioindicadores pueden usarse en la planificación o para monitorear las condiciones ambientales (Noguéz *et al.*, 2006).

Las especies bioindicadores han sido utilizadas para evaluar la magnitud de la perturbación producida por el ser humano, para monitorear tendencias poblacionales en otras especies y para identificar y localizar áreas de alta biodiversidad regional (Noguéz *et al.*, 2006).

Segnini (2003) define los siguientes factores como controversiales al considerar una especie bioindicadora:

1. Muchas especies indicadores tienen un área de distribución geográfica muy limitada, lo cual restringe su utilidad.
2. El punto de vista del investigador y el tipo de perturbación influye sobre la calificación de una especie como indicadora.
3. Las especies indicadoras no se pueden utilizar cuando el origen de la perturbación o contaminación sea diferente al enriquecimiento orgánico.

A pesar de estas consideraciones, en la actualidad se utilizan con gran frecuencia a los organismos bioindicadores en estudios ambientales y ecológicos, en especial a los macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad del agua (Segnini 2003; Figueroa *et al.*, 2003; Iannacone 2003; Guerrero-Bolaño *et al.*, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2004; Anze *et al.*, 2007; Morais *et al.*, 2009).

### **1.3 Los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores**

Los macroinvertebrados bentónicos habitan en la zona profunda o bentónica de lagos y ríos, adheridos a sustratos tales como rocas, piedras, residuos vegetales o plantas acuáticas; algunos viven enterrados en el sustrato (Roldán 1992; Roldán y Ramírez 2008). Son relativamente grandes (no inferiores a 0.5 mm) y principalmente pertenecientes al grupo de los artrópodos; entre estos, dominan los insectos que se pueden encontrar en diferentes etapas del desarrollo (ninfas, larvas y adultos). La comunidad de macroinvertebrados bentónicos está constituida por artrópodos, algunos poríferos, hidrozooos, hirudíneos, oligoquetos y moluscos (Roldán 1992; Alba-Tercedor *et al.*, 2005).

Los macroinvertebrados bentónicos son los organismos más utilizados como bioindicadores de la calidad del agua (Ribera y Foster 1997; Barbour *et al.*, 1999; Zúñiga de Cardozo y Caicedo 1997; Riss *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2004; Alba-Tercedor *et al.*, 2005; Blettler y Marchese 2005; Pavé y Marchese 2005; Noguéz *et al.*, 2006; Tomanova y Tedesco 2007; Mancilla *et al.*, 2009; Morais, *et al.*, 2009; Correa-Araneda 2010), debido a que presentan ventajas notables respecto a otros componentes de la biota acuática. Estas ventajas, según Barbour (1999) son:

- La mayoría de las especies tienen un complejo ciclo de vida aproximadamente de un año o más viviendo en el medio acuático.
- Tienen una etapa de vida sensible que pueden responder al estrés ambiental.
- Los macroinvertebrados bentónicos tienen un estilo de vida sésil (poco móvil en el hábitat).
- Algunos son estenotolerantes y pocos son euritolerantes.
- Son abundantes en los arroyos y ríos.
- Existe mayores referencias bibliográficas con respecto a peces y algunas plantas.

De igual forma Roldán (2003) argumenta que los macroinvertebrados bentónicos son buenos bioindicadores debido a:

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Son sedentarios en su mayoría y por tanto, reflejan las condiciones locales.
- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos, como las bacterias, virus, entre otros.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales en corto tiempo.
- Proporcionan información para integrar efectos acumulativos.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se pueden cultivar en el laboratorio.
- Responden rápidamente a los tenses ambientales.
- Varían poco genéticamente.

Ghetti y Bonazzi (1981, citados por Roldán 2003), consideran a los macroinvertebrados bentónicos como los mejores bioindicadores de la calidad del agua; le siguen, en su orden, las algas, los protozoos, las bacterias y en menor grado, los peces, los macrófitos, los hongos y los virus. Sin embargo, para utilizar un macroinvertebrado bentónico como bioindicador de algo, es preciso demostrar previamente que existe una asociación estadística significativa entre su presencia y la variable que se quiere indicar (Ribera y Foster, 1997).

El uso de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua se basa en el hecho de que cualquier cambio en las condiciones ambientales, se reflejará en la estructura de las comunidades que allí habitan (Roldán 1992). Por consiguiente, el uso de los macroinvertebrados bentónicos es la mejor alternativa metodológica para detectar alteraciones tempranas y/o de origen difuso que se producen en los ecosistemas acuáticos (Segnini 2003).

Los macroinvertebrados bentónicos presentan una notable riqueza en los diversos sistemas acuáticos, su gran número de especies integran la comunidad zoobentónica, la cual es susceptible al espectro de estrés ambiental (Pavé y Marchese 2005). Esta susceptibilidad se puede evidenciar a través de las presiones físicas y químicas relacionadas con la contaminación térmica, cambios en la mineralización del agua, contaminación orgánica, eutrofización y contaminación por metales u otros contaminantes; también por presiones hidromorfológicas como alteración del régimen del caudal y alteración de la morfología del lecho fluvial (Alba-Tercedor *et al.*, 2005).

Los macroinvertebrados bentónicos pueden ser utilizados como bioindicadores de la calidad integral del agua de los sistemas acuáticos; sin embargo, no identifican la causa

de la alteración del medio en particular (Mancilla *et al.*, 2009). De lo mucho que se conozca de la ecología de los organismos bentónicos, depende el grado de confianza que estos ofrezcan en la bioevaluación de un ecosistema acuático; por ejemplo, en la actualidad se puede decir, en términos generales, que los efemerópteros, plecópteros y trichópteros (tres órdenes de insectos acuáticos) son bioindicadores de aguas limpias y que los anélidos y ciertas especies de dípteros son bioindicadores de aguas contaminadas (Roldán y Ramírez 2008).

En la metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva del Marco del Agua - Protocolos de muestreo y análisis de invertebrados bentónicos, realizado en el año 2005 por la Confederación Hidrográfica del Ebro (España) con la asistencia técnica de Javier Alba-Tercedor, Isabel Pardo, Narcís Prat y Ana Pujante (cuatro de los más importantes investigadores del tema en la península Ibérica), se seleccionaron los elementos de la calidad biológica, parámetros y métricas más adecuados para establecer el estado ecológico de los ríos a partir del estudio de los macroinvertebrados bentónicos. En este documento se referencian los índices bióticos, de diversidad y métodos aplicados a nivel mundial para establecer la calidad del agua a partir de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores.

Los estudios sobre los efectos de la contaminación sobre los organismos bentónicos en las masas de agua de América del Sur son escasos en comparación a Europa y Estados Unidos (Pavé y Marchese 2005; Mancilla *et al.*, 2009). Su implementación es complicada por el poco conocimiento de la taxonomía de organismos y de sus niveles de tolerancia a las condiciones ambientales del trópico (Tomanova y Tedesco 2007).

En la Amazonia colombiana se ha venido adelantando investigaciones relacionadas con los macroinvertebrados bentónicos, entre estos tenemos los realizados por Beltrán (2003), quien estudió la composición macrotaxonómica de la comunidad de macroinvertebrados y hongos asociados a la hojarasca aportante a los Igarapés amazónicos. De igual forma, Currea-Dereser (2006), realizó un estudio en el cual se establece el papel funcional de los insectos acuáticos en la descomposición de tres especies de plantas representativas del bosque riparios amazónicos. A estos estudios se le suma el realizado por Duarte y Capador (2006) en el que determinaron la composición y variación temporal de la entomofauna acuática asociada a la matriz de macrófitas *Paspalum repens* entre el período de agua bajas y aguas en ascenso en el sistema lagunar Yahuaraca de la Amazonia colombiana.

Uno de los estudios recientes realizados para determinar la calidad de las aguas de sistemas de la Amazonia Andina colombiana a través de la bioindicación con macroinvertebrados acuáticos, fue el realizado por Serrato-Hurtado y Duque (2008). En este estudio, los autores definieron que en el sistema andino-amazónico colombiano existe un gran complejo de especies de macroinvertebrados acuáticos (entre ellos efemeróptera, plecóptera y trichóptera) que se destacan por ser sensibles a la contaminación y al deterioro de las fuentes hídricas.

## **1.4 Experiencias de los macroinvertebrados en la enseñanza**

En el departamento de Amazonas, existe un antecedente del uso de macroinvertebrados como material didáctico y de investigación en el aula. La experiencia se realizó durante el

año 2010, como proyecto ambiental en la institución educativa Francisco de Orellana de la comunidad indígena de Macedonia.

La experiencia pedagógica se centró en responder la pregunta *¿cuáles son las consecuencias que pueden traer los cambios fisicoquímicos y biológicos en la quebrada Kuyaté para la comunidad indígena de Macedonia?* El docente, Jhoan Andrés Ladino González, director de la investigación, organizó las actividades del proyecto a partir de la metodología investigación-acción-participación. Durante el desarrollo del proyecto participaron 13 estudiantes, los cuales realizaron actividades de capacitación, muestreo, análisis de muestras e identificación taxonómica de organismos bioindicadores.

Para responder la pregunta los estudiantes recibieron una capacitación por parte de los investigadores de ecosistemas acuáticos del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Con base a los conocimientos recibidos, los estudiantes aprendieron a identificar macrófitas, microalgas, peces y macroinvertebrados. Durante la ejecución del proyecto los estudiantes caracterizaron el cuerpo hídrico a partir de parámetros fisicoquímicos y los relacionaron con la presencia de los bioindicadores.

Los resultados obtenidos en este proyecto fueron tan significativos, al punto que uno de sus integrantes fue seleccionado para participar como estudiante observador en la Feria Internacional Intel ISEF, que tuvo lugar en la ciudad de los Ángeles, EE.UU. en mayo del 2010. Esta feria se caracteriza por convocar a jóvenes estudiantes investigadores de más de 50 países.



## 2. Capítulo 2 Diseño de la Unidad temática para construir el concepto de Bioindicador

Las unidades temáticas constituyen los marcos de referencia para planificar y organizar las experiencias de aprendizaje (Papás *et al.*, 1990). Las unidades temáticas se consolidan a partir de tres fases: planificación, aplicación y evaluación. En el presente capítulo se expone la metodología desarrollada y los resultados obtenidos en la fase de planeación de la unidad temática *¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos.*

### 2.1 Selección del concepto de bioindicador

El diseño de la unidad temática se inició con la selección de un concepto de bioindicador que se pudiera construir en la escuela sin necesidad de utilizar aparatos sofisticados o especializados. A partir de esta condición, se analizó cuatro conceptos de bioindicador de fuentes diferentes. Con base al análisis, se seleccionó el concepto requerido. A continuación se presentan los resultados:

Concepto No. 1. *Las especies indicadoras son las que ocupan los nichos inalterados o los nichos creados por la perturbación ambiental (Branco 1984).*

Análisis: Para construir este concepto en la escuela, se requiere que los estudiantes diferencien los nichos inalterados de los alterados. Para establecer esta diferencia se debe medir parámetros físicos y químicos, para determinar la condición del nicho. Además se requiere caracterizar cada uno de los nichos y establecer sus respectivos antecedentes, para determinar su estado de alteración. Este concepto no es viable, ya que requiere de equipos para medir parámetros fisicoquímicos que la escuela no tiene.

Concepto No.2. *Los bioindicadores son una medida indirecta de lo que se quiere medir, su uso se fundamenta en la suposición de que la presencia o la abundancia de una especie, o un determinado conjunto de especies, esté correlacionado con una o varias variables del ecosistema que le son favorables para su sobrevivencia, de esta forma se establece una asociación estadística entre el bioindicador y las variables que se quiere indicar (Ribera y Foster 1997).*

Análisis: Los autores, a partir de este concepto, establecen que el uso de los bioindicadores se fundamenta en suposiciones, por tanto, no es conveniente partir de este concepto como referencia ya que es ambiguo. Además requiere de aparatos sofisticados para determinar condiciones físicas y químicas del ecosistema y así relacionarlo con los ambientes favorables para algunas especies. Considerando la ambigüedad y requerimiento de equipos sofisticados, este concepto no es viable como marco de referencia para la unidad temática.

Concepto No. 3. *El bioindicador es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas es decir, son sensibles a las alteraciones de los factores químicos y físicos del medio en el que obviamente se encuentran* (Zúñiga de Cardozo y Caicedo 1997).

Análisis: Para construir este concepto se requiere realizar bioensayos, con el fin de establecer los límites de tolerancia de una especie a determinado compuesto químico o cambio de una variable física. Para la construcción de este concepto se requiere el uso de equipos especializados para medir en los bioensayos los parámetros físicos y químicos. Considerando que en las escuelas no tienen equipos para realizar estas mediciones, se concluye que este concepto no puede ser seleccionado.

Concepto No. 4. *Los bioindicadores son organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación del hábitat* (Morais et al., 2009).

Análisis: Este concepto se puede construir en la escuela a partir de actividades de muestreo, tratamientos de muestras e identificación de organismos bioindicadores. No requiere de aparatos sofisticados para construir el concepto, ya que la variable que lo define es la presencia del organismo bioindicador. Este concepto fue el que se seleccionó como marco conceptual de la unidad temática.

## **2.2 Selección de la clase de macroinvertebrados bentónicos**

Para seleccionar la clase de macroinvertebrados bentónicos, se analizó la Guía de Identificación de los macroinvertebrados acuáticos más comunes del Trópico Americano (ver anexo A), propuesto por UNORCAC (2006). El análisis se realizó a partir de la siguiente pregunta: En la Guía de identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes del Trópico Americano ¿Cuál es la clase taxonómica de macroinvertebrados que presenta mayor cantidad de bioindicadores? Para responder esta pregunta se tomó con marco de referencia la Tabla de Tolerancias (ver anexo B) contenida en la referenciada Guía.

La Guía de identificación de los macroinvertebrados acuáticos más comunes del Trópico Americano, contiene los fila platelminta, nematomorpha, annelida, mollusca y artrópoda. En el caso de artrópoda, la clase Insecta presenta ocho familias que no aceptan contaminantes y requieren de excelente calidad del agua, es decir son buenos bioindicadores de aguas no alteradas. En los otros fila no se identificaron clases taxonómicas que pudieran ser utilizadas como bioindicadores de la calidad del agua. Con base en estos resultados, se seleccionó a la clase Insecta como el grupo representativo de los macroinvertebrados bioindicadores.

## **2.3 La bioindicación dentro del currículo de la escuela**

Para recopilar información curricular sobre el concepto de bioindicador, se realizó una revisión documental de los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales expedida por el Ministerio de Educación Nacional en el año 2006. De forma complementaria, se revisó el plan de estudio del área de ciencias naturales y educación ambiental de la Institución Educativa Sagrado Corazón de Jesús de Leticia, Amazonas.

Con base en los resultados de la revisión documental, se concluye que el concepto de bioindicador está ausente en los Estándares Básicos de Competencias. De igual forma ocurre con el plan de estudio del área de ciencias naturales y educación ambiental de la institución educativa Sagrado Corazón de Jesús. Esto significa que no existen antecedentes curriculares para establecer los lineamientos de la unidad temática ¿Qué es un bioindicador?

## 2.4 Selección del enfoque metodológico

Para seleccionar el enfoque metodológico se realizó una revisión del concepto de indagación guiada y los diferentes ciclos de indagación establecidos y promocionados en la actualidad. De esta revisión se seleccionó el concepto de indagación guiada y el ciclo de indagación propuesto por Arango *et al.*, (2002) en la Guía Metodológica para la Enseñanza de la Ecología en el Patio de la Escuela, conocida como EEPE.

El ciclo de indagación es una herramienta metodológica (Arango *et al.*, 2002) que permite organizar las actividades necesarias para lograr la construcción del conocimiento a través de la indagación escolar. Esta metodología es utilizada ampliamente en países como Brasil, Argentina, Chile, Bolivia, Venezuela, México, Panamá, Ecuador y Colombia entre otros (Gajardo *et al.*, 2009); sus seguidores afirman que es una metodología sencilla, auspicia el aprendizaje colaborativo, contribuye al desarrollo del pensamiento autónomo, rescata y afianza la curiosidad innata de los estudiantes, rescata y afianza en los docentes la confianza en sí mismos y la seguridad al enseñar, permite construir conocimiento y subvenciona la apropiación de la historia natural, social y cultural de la localidad (Cerezo 2006).

El ciclo de indagación de la EEPE, está estructurado en tres pasos, en su conjunto son una representación simple del método científico (Arango *et al.*, 2002). El primer paso corresponde a la construcción de la pregunta, la cual se origina de la curiosidad que se tenga acerca de un fenómeno real. La construcción de esta pregunta debe cumplir cuatro requisitos, los cuales son: debe ser comparativa, debe presentarse en un lenguaje claro, para definir la respuesta no debe requerir un período largo de tiempo ni aparatos sofisticados, debe ser atractiva y seductora para quién aprende a través de este ciclo de indagación.

El segundo paso del ciclo de indagación de la EEPE, se denomina Acción o Experiencia de primera mano. En este paso, los estudiantes definen la variable que se compara en la pregunta de investigación, diseñan los pasos o procedimientos del proceso de indagación, definen la metodología, la forma de recolectar la información, organizar y analizar la información (Caselli y Milano 2005).

El tercero y último paso del ciclo de indagación, se denomina Reflexión. En este paso los estudiantes evalúan todo el proceso de indagación, determinan si la forma de recoger la información fue la más apropiada para responder la pregunta, generan nuevas preguntas a partir de la experiencia de primera mano y de la respuesta obtenida, establecen relación entre el evento que se investigó y fenómenos que suceden a su rededor (Feinsinger *et al.*, 2010), contextualizan el resultado obtenido en la investigación y finalmente, generan otras indagaciones.

El desarrollo del ciclo de indagación depende del tipo de indagación que se adopte. Las indagaciones pueden ser guiadas, semiguías y abiertas (Staver y Bay 1987; Arango *et al.*, 2002). En la indagación guiada el maestro construye la pregunta, provee el marco teórico, el diseño de la metodología para el segundo paso del ciclo y los puntos de partida para la reflexión. Arango *et al.*, (2002) recomiendan emplear la indagación guiada para abordar el aprendizaje de temáticas que deben ser cubiertas obligatoriamente en una programación o para iniciar la familiarización con el proceso de indagación.

## **2.5 Diseño de la propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos**

### **2.5.1 Formulación de la pregunta**

El docente formuló una pregunta de investigación basada en el concepto de bioindicador y clase de macroinvertebrados bentónicos seleccionados anteriormente. La construcción de la pregunta se enfocó en establecer la clase de insectos que habitan en el fondo de una quebrada.

Posteriormente, la pregunta se reformuló para satisfacer las condiciones estipuladas por la EEPE. El resultado del anterior proceso fue la siguiente pregunta: ***¿Qué clase de insectos encontramos en el fondo de una quebrada alterada por las actividades del hombre y en otra quebrada que no presente esta condición?***

### **2.5.2 Selección del protocolo de Muestreo de macroinvertebrados**

Se seleccionó el protocolo IBMWP (*Iberian Biological Monitoring Working Party – Alba-Tercedor et al.*, 2005). Se realizó una lectura minuciosa para establecer los materiales y equipos requeridos, el procedimiento de muestreo, conservación y etiquetado de las muestras, tratamiento de la muestra y cálculo de la métrica IBMWP. A partir de esta información se diseñaron dos guías (ver anexo C y D) una para la toma de muestras y otra para cálculo de índice IBMWP.

### **2.5.3 Planeación de actividades de aula y de campo**

Con base al enfoque metodológico del ciclo de indagación seleccionado, se planearon ocho actividades para desarrollarse en un total de 17 horas. Para cada actividad se definió el lugar (dónde), el tiempo requerido, los materiales (que se necesita) y la metodología (cómo). Las actividades se organizaron de acuerdo a los lineamientos didácticos del ciclo de indagación guiada. En la tabla 2-1 se ilustran los resultados obtenidos.

**Tabla 2-1:** Plantilla resumen para diseñar las actividades.

		ACTIVIDADES	Dónde	Tiempo	Qué se necesita	Cómo
CICLO DE INDAGACIÓN GUIADA	1º PASO	Actividad No. 1. ¿Qué se sabe...?	Salón	1 hora	Cuestionario de ideas previas	Aplicación del cuestionario Plenaria
		Actividad No. 2 ¡Esta es nuestra pregunta!	Salón	1 hora	Tablero, marcador acrílico	Exposición
	2º PASO	Actividad No. 1 ¿Qué estamos comparando?	Salón	1 hora	Tablero, marcador acrílico	Exposición Plenaria Trabajo en grupo
		Actividad. 2 Diseñemos nuestra indagación	Salón	1 hora	Tablero, marcador acrílico	Exposición Plenaria Trabajo en grupo
		Actividad No. 3 Definición de la metodología	Salón	1 hora	Guía No. 1 y 2	Exposición Trabajo en grupo
		Actividad No. 4 Recolección de la información	Q. alterada Q. no alterada	4 horas por muestreo	Los referenciados en la Guía No. 1	Muestreo en campo Trabajo en grupo
		Actividad No. 5 Organización y análisis de la información	Salón o laboratorio	2 horas	Fotocopia a color de la Guía de identificación de macro invertebrados	Trabajo en grupo Plenaria
	3º PASO	Actividad No. 1 Respondamos muchas preguntas	Salón	2 horas	Marcador Tablero	Mesa redonda

### 2.5.4 Diseño del cuestionario para indagar ideas previas sobre el concepto de bioindicador

Todos los estudiantes poseen ideas previas sobre determinados fenómenos (Carretero 1997). Estas ideas previas dependen de la experiencia anterior de los estudiantes (Hernández 2000). Basado en estos planteamientos, se diseñó un cuestionario para indagar las ideas previas de los estudiantes sobre el concepto de bioindicador.

El cuestionario se construyó a partir de cinco (5) preguntas. Las primeras cuatro preguntas se formularon con base a cuatro conceptos de bioindicador de diferentes autores; en cada concepto se identificó la palabra clave, a esta se denominó concepto asociado. A partir del concepto de bioindicador y del concepto asociado, se formularon las preguntas. La quinta pregunta se formuló de forma directa. Los resultados se presentan en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Construcción de preguntas a partir de conceptos asociados.

Concepto de bioindicador	Concepto asociado	Cuestionario para indagar ideas previas
Los bioindicadores son organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación del hábitat. (Morais <i>et al.</i> , 2009)	Presencia	<i>¿Qué información se puede establecer a partir de la presencia de un organismo en un determinado ecosistema?</i>
Las especies bioindicadoras pueden ser clasificadas en aquellas que indican la salud ecológica y cambios poblacionales (Isasi-Catalá 2010)	Salud ecológica	<i>¿Qué relación existe entre la salud ecológica de un ecosistema y los organismos que habitan en él?</i>
El bioindicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas (Zúñiga de Cardozo y Caicedo 1997)	Tolerancia	<i>¿Por qué algunos organismos toleran ambientes contaminados?</i>
Las especies bioindicadoras son aquellas que pueden vivir bajo condiciones ambientales relativamente particulares (Segnini 2003)	Condiciones ambientales	<i>¿Por qué razón algunos organismos requieren de condiciones ambientales específicas para su existencia?</i>
		<i>¿Qué es un bioindicador?</i>

### 2.5.5 Diseño del cuestionario para evaluar la construcción del concepto de bioindicador

Se diseñó un cuestionario de tres (3) preguntas abiertas (ver anexo E) para evaluar la construcción del concepto de bioindicador. La primera pregunta evalúa la correlación del concepto de bioindicador con la adaptación, la segunda pregunta presenta un caso hipotético sobre un estudio de caso de un ecosistema, se presenta una tabla anexa con el número de organismos encontrados en ecosistemas alterado, poco alterado y muy alterado. A partir de esta información se presenta la pregunta, la cual se enfoca en identificar cuál es la especie indicadora. La última pregunta, solicita de forma directa el concepto de bioindicador.

### 2.5.6 Propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos

#### PRIMER PASO: PRESENTACIÓN DE LA PREGUNTA

##### Actividad No. 1. ¿Qué se sabe...?

Objetivo: Indagar las ideas previas relacionadas con el concepto de bioindicador.

Materiales: fotocopia del cuestionario para indagar ideas previas. Tiempo: 1 hora

Metodología: A cada estudiante se le entrega una fotocopia del cuestionario para indagar ideas previas expuesto en la tabla 2-2. Los estudiantes tienen un tiempo de 30 minutos para responder las preguntas. Terminado este tiempo, el docente organiza una plenaria

para que los estudiantes socialicen sus respuestas. En su momento, cada pregunta se escribe en el tablero, a continuación los estudiantes leen o exponen sus respuestas, las cuales deben ser registradas en el tablero. Durante este registro, el maestro debe hacer comparaciones entre las respuestas expuestas por los estudiantes.

### **Actividad No. 2 ¡Esta es nuestra pregunta!**

Objetivo: Exponer a los estudiantes la pregunta de investigación.

Materiales: Tablero, marcadores. Tiempo: 1 hora

Metodología: Al iniciar la actividad el docente escribe en el tablero la pregunta de investigación: **¿Qué clase de insectos encontramos en el fondo de una quebrada alterada por las actividades del hombre y en otra quebrada que no presente esta condición?** Posterior a la presentación de la pregunta por parte del docente, se realiza una explicación sobre el desarrollo larvario acuático de algunos insectos o de aquellos que habitan totalmente sumergidos en el agua. Al final de la exposición se le entrega un formato al estudiante con la siguiente pregunta:

¿Entendió la pregunta de investigación? Si\_\_\_ No\_\_\_

## **SEGUNDO PASO: EXPERIENCIA DE PRIMERA MANO**

### **Actividad No. 1 ¿Qué estamos comparando?**

Objetivo: Analizar la pregunta de investigación.

Materiales: Tablero, marcador. Tiempo: 1 hora

Metodología: Se organizan grupos de seis estudiantes. A continuación el docente escribe la pregunta de investigación en el tablero, les solicita a los estudiantes que la lean y la analicen. Posteriormente, el docente realiza la siguiente pregunta: ¿Qué se está comparando en la pregunta? Los grupos de trabajo exponen en plenaria sus argumentos.

### **Actividad No. 2 Diseñemos nuestra indagación**

Objetivo: Definir el lugar y el cronograma de trabajo

Materiales: Ninguno Tiempo: 1 hora

Metodología: La actividad se inicia solicitando a los estudiantes que se reúnan en grupos de trabajo. A continuación el docente les pregunta a los grupos cuál quebrada nos puede servir para responder la pregunta de investigación y además solicita que realicen una caracterización de las quebradas.

### **Actividad No. 3 Definición de la metodología**

Objetivo: Socializar la metodología para coleccionar los macroinvertebrados bentónicos.

Materiales: Fotocopias de la guía No. 1 y 2. Tiempo: 1 hora.

Metodología: El docente solicita que se reúnan los grupos de trabajo. A continuación les hace entrega a cada grupo la fotocopia de la guía No. 1 Manual para coleccionar insectos y la guía No. 2 Calculando el índice IBMWP. El docente realiza la explicación de cada uno

de los pasos de la guía, en caso de ser necesario se realizan las mímicas del respectivo procedimiento. Se presenta el diseño de la malla que se requiere para realizar los muestreos, además se relacionan todos los materiales requeridos para las actividades de cada guía.

#### **Actividad No. 4 Recolección de la información**

Objetivo: Colectar los macroinvertebrados bentónicos de una quebrada.

Materiales: Los solicitados en la guía No.1. Tiempo: 4 horas para cada muestreo.

Metodología: Esta misma metodología se aplica en las dos quebradas que se están comparando.

En el área de estudio el docente a través de preguntas corrobora que los estudiantes tengan claro el procedimiento de muestreo. El docente realiza recomendaciones sobre el comportamiento y el trabajo en grupo. A continuación el docente distribuye los grupos de trabajo, de tal forma que un grupo no interfiera con otro. Los estudiantes desarrollan el procedimiento expuesto en la guía No. 1. El docente constantemente debe supervisar el trabajo de los grupos. Al finalizar la actividad el docente solicita un reporte verbal a cada grupo sobre el trabajo realizado y además solicita el número de muestras tomadas, de igual forma solicita que describan los organismos que colectaron.

#### **Actividad No. 5 Organización y análisis de la información**

Objetivos: Seleccionar e identificar a nivel de familia taxonómica los insectos de las muestras.

Materiales: Guía para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano; muestras, lupas, bandejas blancas, pinzas, alcohol, guantes de látex. Tiempo: 2 horas

Metodología: Se inicia la actividad reuniendo los grupos de trabajo. Se entrega a cada grupo los materiales de laboratorio necesarios para la práctica y las respectivas muestras. A continuación se les solicita que depositen las muestras de la quebrada alterada y no alterada en bandejas diferentes. Se realiza una observación, descripción y comparación de los organismos colectados. Se cuantifica la cantidad de organismos encontrados en cada una de las muestras. Se realizan las siguientes preguntas:

¿En cuál de las dos muestras hay mayor cantidad de organismos? ¿A qué se debe esto?

¿En ambas quebradas se encontraron los mismos organismos? ¿Por qué razón?

¿Qué relación existe entre la presencia de algunos organismos y las condiciones del medio en el que se encuentran?

Estas respuestas se socializan en plenaria, incitando a la discusión.

Se les hace entrega una fotocopia a color de la Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano. Se les solicita a los grupos que observen detenidamente los gráficos de la Guía, e identifiquen los organismos del filum Artrópoda, clase Insecta. Cada grupo identifica en las muestras los



organismos de la clase Insecta, de forma paralela los separan de los otros organismos. Utilizando la Guía para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos, se clasifican taxonómicamente cada insecto recolectado. De igual forma se solicita que cuantifiquen la cantidad de individuos por cada familia. Las informaciones recopiladas se registran en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3:** Formato para registrar el número de individuos de insectos.

Phylum	Clase	Orden	Familia	No. Individuos
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			

Se identifican en la Guía anteriormente referenciada, los valores de tolerancia de cada familia de la clase Insecta. Con base a la información de la tabla de tolerancia se establece el grado de sensibilidad de cada familia. Se identifican en las muestras las familias que no aceptan contaminantes y sólo se encuentran en aguas de excelente calidad.

A cada grupo se le entrega una fotocopia del índice IBMWP, se realiza una breve explicación del diligenciamiento. Con base a la clasificación taxonómica realizada, se establece el índice IBMWP para cada una de las quebradas.

### **TERCER PASO: REFLEXIÓN**

#### **Actividad No. 1 Respondamos muchas preguntas**

Objetivo: Definir el concepto de bioindicador.

Materiales: Ninguno. Tiempo: 2 horas

Metodología: Se organiza una mesa redonda, se nombra un relator y un moderador. La mesa redonda se desarrolla a partir de las siguientes preguntas:

¿Cuál es la respuesta a nuestra pregunta de investigación? ¿Cuáles podrían ser las explicaciones para nuestros resultados? ¿Por qué en las dos quebradas encontramos insectos diferentes? ¿Qué información nos puede dar la presencia de algunos organismos en un determinado ambiente? ¿Qué es un bioindicador?

Al finalizar la mesa redonda se aplica el cuestionario para evaluar la construcción del concepto de bioindicador.



### **3. Capítulo 3 Implementación de la propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos**

La propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? se implementó en la sede A de la Institución Educativa Pública Sagrado Corazón de Jesús, localizada en la calle 5ª No. 8-17 barrio Porvenir, al suroriente de la ciudad de Leticia, Amazonas-Colombia. La sede A de la referenciada institución educativa, atiende a una población de 1587 estudiantes provenientes de familias de estrato socioeconómico 1 y 2.

En esta sede se ofrece el servicio educativo a partir del grado tercero de la básica primaria hasta el grado once de educación media. Esta población estudiantil es atendida en dos jornadas académicas, las cuales se desarrollan en el horario de 6:30 a.m. a 12:20 p.m. y de 12:30 a 6:30 p.m. La intensidad horaria diaria corresponde a seis horas de clase de 55 minutos. En esta institución se desarrolla un plan de estudio basado en las áreas fundamentales y obligatorias establecidas en el artículo 23 de la Ley General de la Educación, y adicional se brinda las áreas optativas de portugués, profundización en humanidades y ciencias naturales.

El Proyecto Educativo Institucional está fundamentado en el modelo pedagógico socio-crítico, los principios institucionales son ciencia, criticidad y liderazgo. De acuerdo con la Evaluación institucional 2010, esta institución cuenta con estrategias pedagógicas dispersas que no están vinculados a la misión, visión y a los principios institucionales, además están desarticuladas en las diferentes sedes, niveles y grado.

En esta institución, la enseñanza de las ciencias en la primaria se realiza de forma tradicional, los docentes simplemente copian en el tablero el contenido de los libros de textos y no realizan actividades de indagación escolar. En la secundaria, los docentes realizan salidas de campo complementarias a los temas trabajos en el aula de clase, sin embargo, estas salidas no se estructuran a partir de actividades de indagación escolar.

La propuesta metodológica ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos, se desarrolló específicamente con 36 estudiantes de grado noveno, a partir de 24 de febrero al 30 de marzo del 2011, se utilizó en total 17 horas, de las cuales 8 se utilizaron para realizar las salidas de campo y las restantes se desarrollaron en el aula de clase. Los estudiantes del grado referenciado se caracterizan por encontrarse en un rango de edades de 14 a 18 años. El

89% de los estudiantes de este grado son de estrato socioeconómico 1. De los 36 estudiantes, solo uno de ellos está repitiendo el grado noveno. Estos estudiantes, al igual que los otros grados de la básica secundaria y media cumplen con una intensidad horaria de 30 horas semanales, de los cuales 4 horas son empleadas para desarrollar el plan de estudio de ciencias naturales y educación ambiental.

### 3.1 Resultados de las actividades del primer paso del ciclo de indagación guiada

#### 3.1.1 Ideas previas sobre el concepto de bioindicador

Se aplicó el cuestionario a 36 estudiantes de grado noveno, a partir de las respuestas se establecieron categorías para cada pregunta, los resultados se presentan en las tablas 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5.

**Tabla 3-1:** Resultados de la primera pregunta del cuestionario de ideas previas.

		Ideas previas <i>¿Qué información se puede establecer a partir de la presencia de un organismo en un determinado ecosistema?</i>	
		%	
Categorías	A	74	No contesta o contestación no clasificable: Se incluyen aquí tanto la ausencia de respuesta como las respuestas que por ser incoherentes no se pueden clasificar.
	B	16	Los componentes de la cadena alimenticia.
	C	10	Su capacidad de adaptación a ese medio

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, a los estudiantes se les dificulta establecer información a partir de la presencia de un organismo en un determinado ambiente.

**Tabla 3-2:** Resultados de la segunda pregunta del cuestionario de ideas previas.

		Ideas previas <i>¿Qué relación existe entre la salud ecológica de un ecosistema y los organismos que habitan en él?</i>	
		%	
Categorías	A	5	No contesta o contestación no clasificable: Se incluyen aquí tanto la ausencia de respuesta como las respuestas que por ser incoherentes no se pueden clasificar.
	B	34	Si el ecosistema está contaminado, los organismos mueren.
	C	12	Si un ecosistema tiene buena salud puede permitir que muchos organismos habiten en él.
	D	4	Dependiendo de las condiciones del ecosistema solo algunos organismos pueden habitar en él.
	E	38	Entre más sano sea el ecosistema mayor biodiversidad existe en ese medio.
	F	7	Su capacidad de adaptación a ese medio.

Con base a la anterior información, se puede establecer que los estudiantes relacionan la salud ecológica del ecosistema con la contaminación y con la diversidad de especies existentes en determinado ecosistema.

**Tabla 3-3:** Resultados de la tercera pregunta del cuestionario de ideas previas.

		%	Ideas previas <i>¿Por qué algunos organismos toleran ambientes contaminados?</i>
Categorías	A	6	No contesta o contestación no clasificable: Se incluyen aquí tanto la ausencia de respuesta como las respuestas que por ser incoherentes no se pueden clasificar.
	B	74	Están adaptados para sobrevivir en condiciones extremas.
	C	4	Porque tiene una caparazón que los protegen.
	D	16	Porque en esos ambientes encuentran las condiciones que necesitan para vivir.

Como se puede corroborar, los estudiantes relacionan la tolerancia a condiciones ambientales alteradas con la adaptación de los seres vivos.

**Tabla 3-4:** Resultados de la cuarta pregunta del cuestionario de ideas previas

		%	Ideas previas <i>¿Por qué razón algunos organismos requieren de condiciones ambientales específicas para su existencia?</i>
Categorías	A	58	No contesta o contestación no clasificable: Se incluyen aquí tanto la ausencia de respuesta como las respuestas que por ser incoherentes no se pueden clasificar.
	B	32	Porque no pueden adaptarse fácilmente a otras condiciones ambientales.
	C	10	Porque son organismos muy sensibles a los cambios.

De acuerdo con los porcentajes de las categorías establecidas para la cuarta pregunta, solo el 10% de los estudiantes comprenden que algunos organismos son sensibles a los cambios del medio y por tanto, requieren de condiciones específicas.

**Tabla 3-5:** Resultados de la quinta pregunta del cuestionario de ideas previas.

		%	Ideas previas <i>¿Qué es un bioindicador?</i>
Categorías	A	58	No contesta o contestación no clasificable: Se incluyen aquí tanto la ausencia de respuesta como las respuestas que por ser incoherentes no se pueden clasificar.
	B	4	Es una persona encargada de indicar la clase de vida que encontramos en un ecosistema.
	C	3	Son avisos que se publican para motivar a la gente a cuidar el ambiente.
	D	12	Es un aparato que indica la cantidad de animales que se encuentran en un lugar.
	E	4	Es un tipo de vida que indica el estado de un ecosistema.
	F	3	Es la ciencia que estudia la ecología de un ambiente
	G	10	Es un aparato que indica la cantidad de contaminación.

Con base a las categorías expuestas en la tabla, se concluye que existe un desconocimiento del concepto bioindicador. Del 100%, solo el 4% poseen un concepto apropiado de bioindicador.

### 3.1.2 Presentación de la pregunta

Esta actividad se desarrolló en el tiempo indicado y con los materiales establecidos en la propuesta metodológica. Después de presentar la pregunta de investigación, el 100% de los estudiantes comprendieron la pregunta de investigación. Este resultado evidencia que las preguntas que sean comparativas, que no posean jerga científica y que además sean interesantes y atractivas como lo afirma Arango *et al.*, (2002), facilita la comprensión de la investigación.

## 3.2 Resultados del segundo paso del ciclo de indagación guiada

### 3.2.1 Resultado de la Actividad No. 1 ¿Qué estamos comparando?

El 100% de los estudiantes comprendieron la pregunta de investigación. Durante la exposición realizada los estudiantes hicieron las siguientes preguntas y formularon las respectivas respuestas como se presenta en la tabla 3-6.

**Tabla 3-6:** Preguntas y respuestas que surgieron de la presentación de la pregunta de investigación.

Pregunta	Respuesta
¿Cómo hacen los insectos para respirar debajo del agua?	1. Los insectos salen a la superficie a respirar. 2. Los insectos acuáticos igual que los peces respiran debajo del agua.
¿Cómo hacen los insectos para que la corriente no se los lleve?	1. Algunos insectos tiene garras. 2. Algunos insectos son demasiados planos. 3. Los insectos viven enterrados en el fondo de la quebrada.
¿De qué se alimentan los insectos debajo del agua?	1. Los insectos se alimentan de otros insectos más pequeños. 2. Los insectos se alimentan de las plantas que están sumergidas. 3. Los insectos se alimentan de los frutos que caen y quedan sumergidos.
¿Los insectos que habitan en el fondo de una quebrada no les afecta la presión del agua?	1. Los insectos están adaptados para resistir la presión del agua. 2. Ellos habitan en quebradas poco profundas, por eso no les afecta la presión del agua.

Con base a estas preguntas, se requiere realizar una exposición más detallada de la fisiología y anatomía de los insectos bentónicos.

### **3.2.2 Resultado de la Actividad No. 2 Diseñemos nuestra indagación**

Los grupos de trabajo propusieron y caracterizaron las siguientes quebradas para realizar la actividad de muestreo:

1. Quebrada San Antonio: Es una quebrada que está contaminada, contiene mucha basura. Las casas cercanas vierten a la quebrada las aguas de los baños, los desperdicios de basura y animales muertos. Esa quebrada tiene malos olores.
2. Quebrada Urumutú: Esta quebrada no está contaminada, es poco profunda y no queda muy lejos del colegio. El agua es de color negro y tiene muchos árboles a su alrededor.
3. Quebrada Km 8: Esta quebrada no está contaminada, el agua es de color negro, en el fondo tiene mucho barro, su profundidad es aproximadamente de 1 metro. Esta quebrada la utilizan como sitio de recreación.
4. Quebrada La Arenosa: Esta quebrada queda en el Km 10, no es muy profunda, tiene muchos árboles a su alrededor. El agua es limpia y demasiado fría. Esta quebrada no está contaminada.

Sobre la información que expresaron los grupos se puede afirmar que los estudiantes diferencian los lugares contaminados de los no contaminados.

Las quebradas seleccionadas fueron: San Antonio (alterada) y La Arenosa (no alterada).

### **3.2.3 Resultado de la Actividad No. 3 Definición de la metodología**

Durante la presentación de la guía No. 1 surgieron las siguientes preguntas: ¿Qué es IBMWP? ¿Por qué se debe empezar a realizar el muestreo corriente abajo? ¿Se puede realizar el trabajo en un tramo menor a 30 m? ¿Cuál es la diferencia entre laguna y quebrada? ¿Qué diferencia hay entre limo y arcilla? ¿Gravilla es lo mismo que grava? ¿Qué diferencia hay entre árboles y arbustos?

Sobre la guía No. 2, los estudiantes realizaron las siguientes preguntas: ¿Qué es un índice? ¿Qué significado tiene el término familia? ¿Qué son macroinvertebrados acuáticos? ¿Cómo hacemos para observar los organismos demasiados pequeños? ¿Por qué no utilizamos el microscopio?

Los anteriores preguntas se resolvieron en la clase, para esto se utilizaron libros de textos y el protocolo IBMWP. Sin embargo, se requiere anexar un glosario a la propuesta metodológica.

### 3.2.4 Resultado de la Actividad No. 4 Recolección de la información

#### Muestreo en la quebrada San Antonio

El primer muestreo se realizó en la quebrada San Antonio, localizada en el barrio Porvenir de la ciudad de Leticia. Al llegar al sitio como se ilustra en la figura 3-1a, los estudiantes realizaron la caracterización de la quebrada. Los resultados de la caracterización se ilustran en la tabla 3-7.

**Tabla 3-7:** Caracterización General de la quebrada San Antonio.

Ítem de Observación	Caracterización
Tipo de ambiente	Quebrada
Color de las aguas	Oscuras
Profundidad máxima	0,80 m
Ancho máximo	1, 80 m
Velocidad de la corriente	Baja
Vegetación acuática	Ninguna
Cantidad de vegetación acuática	Ninguna
Vegetación presente en el borde	Árboles, arbustos, pastos
Cobertura del fondo	Basura
Sustrato	Arcilla
Predominancia del uso del suelo	Vegetación natural
Contaminación del área de estudio	Fuertes evidencias
Olores	Alcantarilla

**Figura 3-1:** Proceso de muestreo realizado en la Quebrada San Antonio. Explicación en el texto.





Como se ilustra en la figura 3-1b, los estudiantes seleccionaron un tramo de la quebrada, para esto utilizaron el decámetro y estacas de madera. Durante esta actividad se observó que los estudiantes tienen dificultad para realizar mediciones utilizando el metro.

Como se ilustra en la figura 3-1c, se realizó la captura de los macroinvertebrados utilizando una malla de 1m<sup>2</sup>. Los estudiantes demostraron mucha desconfianza al meterse a la quebrada debido a su notable contaminación. En algunos lugares no se realizó la colecta de macroinvertebrados, ya que eran sitios con una profundidad de 50 cm.

Como se observa en la figura 3-1d, los estudiantes separaron los macroinvertebrados de la basura atrapada, para esto se utilizó la lupa, sin embargo muchos de los organismos colectados eran visibles a simple vista. Como se observa en la figura 3-1e, se almacenaron los macroinvertebrados en frascos plásticos con alcohol al 70%. Al final se recogieron 14 frascos con muestras.

Como se ilustra en la figura 3-1f, los estudiantes realizaron actividades de observación y clasificación de los macroinvertebrados colectados. Para esta actividad utilizaron la Guía de identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes para el Trópico Americano y algunos materiales de laboratorio como cajas de Petri, agujas de disección, lupas y pinzas. Los estudiantes desarrollaron esta actividad con mucha dedicación e interés.

## Muestreo en la quebrada La Arenosa

Para realizar el muestreo en la quebrada La Arenosa, se realizó una salida de campo, solo asistieron 28 estudiantes, por lo cual se organizaron nuevos grupos. Los grupos diligenciaron los formatos de caracterización de la quebrada La Arenosa, los resultados se muestran en la tabla 3-8.

Como se ve en la figura 3-2, los estudiantes desarrollaron con más propiedad los muestreos. Prácticamente todo el proceso de muestreo lo realizaron solos. La única dificultad presentada corresponde al problema al movilizarse con las botas de caucho dentro del agua.

**Tabla 3-8:** Caracterización general de la quebrada La Arenosa.

Ítem de Observación	Caracterización
Tipo de ambiente	Quebrada
Color de las aguas	Transparente
Profundidad máxima	0,65 m
Ancho máximo	2, 30 m
Velocidad de la corriente	Media
Vegetación acuática	Flotantes, sumergidas
Cantidad de vegetación acuática	Poca
Vegetación presente en el borde	Árboles, arbustos, pastos
Cobertura del fondo	Hojarasca, tronco
Sustrato	Arena, Arcilla
Predominancia del uso del suelo	Vegetación natural
Contaminación del área de estudio	sin evidencias
Olores	Normal

Como se ve en la figura 3-2a, los estudiantes delimitaron el área de muestreo, para esto utilizaron sus propios pasos en lugar del decámetro. Seleccionaron un tramo en donde no había tantos árboles al borde de la quebrada. En la figura 3-2b, se observa como los estudiantes realizaron la colecta de macroinvertebrados, para esto utilizaron una malla de 1m<sup>2</sup>; en este muestreo tuvieron mucho dificultad ya que la corriente dificultaba el movimiento de las piernas ya que las botas se llenaron de agua.

**Figura 3-2:** Proceso de muestreo realizado en la quebrada La Arenosa. Explicación en el texto.



En la figura 3-2c y 3-2d se evidencia como los estudiantes colectaron los macroinvertebrados. En esta colecta, los estudiantes tuvieron mucha dificultad, ya que los macroinvertebrados se camuflan con la hojarasca. En total se colectaron 14 muestras de macroinvertebrados.

### 3.2.5 Resultado de la Actividad No. 5 Organización y análisis de la información

Los estudiantes realizaron las descripciones de los organismos encontrados en cada una de las muestras. Para esto, se requirió utilizar lupas para observarlos en detalle. Algunas de las descripciones se presentan en la tabla 3-9.

**Tabla 3-9:** Recopilación de descripciones realizadas por los estudiantes.

	Especie	Descripción
QUEBRADA SAN ANTONIO	A	Cuerpo aplanado, con apariencia babosa, de color negro, mide aproximadamente 6 cm.
	B	Organismo (caracoles) con concha de color negro, pequeño.
	C	Gusano largo y redondo, de color marrón, de apariencia desagradable.
	D	Organismo redondeado, con una larga cola muy delgada, de color gris con blanco. Apariencia desagradable.
QUEBRADA LA ARENOSA	A	Insecto, con patas cortas y con antenas, de la cola salen tres antenas, es de color marrón.
	B	Organismo en forma de gusano, con anillos, al final tiene muchas antenas, presentan las patas cerca a la cabeza.
	C	Camarones, de color rosado, tiene varias antenas y muchas patas, al final del cuerpo tiene unas aletas.
	D	Cangrejos de color negro, con 9 patas, y un par de tenazas, tienen mandíbulas.
	E	Insecto de 1,5 cm de largo, tiene seis patas y un par de antenas.
	F	Organismo en forma de gusano con anillos, tiene una cabeza grande, con 6 patas.

Los grupos de estudiantes cuantificaron la cantidad de organismos colectados en cada quebrada, los resultados se presentan en la tabla 3-10. Al comparar el número de individuos colectados en las quebradas, todos los grupos coincidieron que la quebrada La Arenosa, contiene mayor cantidad de organismos.

De igual forma, los estudiantes establecieron que la quebrada en la que existe mayor variedad de organismos es La Arenosa, también definieron que el orden taxonómico que presentó mayor abundancia en la quebrada anteriormente mencionada es *Ephemeroptera*.

**Tabla 3-10:** Cuantificación del número de organismos colectados.

QUEBRADA	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6
SAN ANTONIO	24	13	6	11	9	10
LA ARENOSA	49	56	43	67	35	65

Al preguntarse por qué hay mayor cantidad de organismos en la quebrada La Arenosa que en la San Antonio, los grupos argumentan que se debe a la mejor calidad del agua en la primera.

Los grupos además concluyen que en las dos quebradas se encuentran organismos totalmente diferentes, los argumentos que presentaron lo relacionan directamente con la capacidad de adaptación que tienen los organismos a las condiciones del medio. Al cuestionar a los estudiantes sobre la relación existente entre la presencia de algunos organismos y las condiciones del medio en el que se encuentran, respondieron:

1. La presencia de los organismos está relacionada con las condiciones del medio.
2. La presencia de un organismo está relacionada con el nivel de contaminación del medio.
3. La presencia de los organismos está relacionada con la ausencia de sustancias contaminantes.

En la Guía de identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano, los estudiantes identificaron 24 organismos pertenecientes a la clase Insecta. Con base a esta información, clasificaron a nivel de familia taxonómica los insectos colectados en la muestra. Los resultados de cada grupo se presentan en la tabla 3-11.

**Tabla 3-11:** Cuantificación del número de familias taxonómicas en cada muestra.

Grupo	Familia	
	Q. La Arenosa	Q. San Antonio
1	4	1
2	6	0
3	3	0
4	4	1
5	4	2
6	5	0

En esta actividad se les dificultó manejar e interpretar la Guía de Identificación de macroinvertebrados acuáticos. Identificaron los insectos por la figura y por las características expresadas en la guía. En pocas palabras, observaban el insecto y lo buscaban en la guía. Al determinar el índice IBMWP, a los estudiantes se les dificultó leer los nombres de las familias taxonómicas; sin embargo cuantificaron e interpretaron de forma correcta el índice IBMWP.

### 3.3 Resultados de la actividad del tercer paso del ciclo de indagación

Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla 3-12:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Cuál es la respuesta a nuestra pregunta de investigación?

	Grupo	Respuesta
¿Cuál es la respuesta a nuestra pregunta de investigación?	1	Encontramos insectos y otros organismos que están adaptados a vivir en ese tipo de ambiente.
	2	En la quebrada alterada encontramos insectos que están adaptados a la contaminación y en la quebrada no alterada encontramos insectos que no toleran la contaminación.
	3	En la quebrada alterada encontramos insectos desagradables, en cambio en la no alterada encontramos insectos que tienen una apariencia agradable.
	4	En el fondo de una quebrada alterada encontramos caracoles, sanguijuelas y muy pocos insectos. En la quebrada no alterada no encontramos sanguijuela ni caracoles, solo insectos que están adaptados a condiciones especiales.
	5	En el fondo de una quebrada alterada encontramos muy pocos insectos en cambio en la quebrada no alterada encontramos mucha diversidad de insectos.
	6	En la quebrada alterada encontramos hirudíneos, en la no alterada encontramos insectos que están adaptados a ese tipo de ambiente.

Con base a las respuestas recopiladas en la tabla se puede establecer que el 100% de los grupos de trabajo, lograron responder la pregunta de investigación a través del proceso de indagación guiada.

**Tabla 3-13:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Cuáles podrían ser las explicaciones para nuestros resultados?

	Grupo	Respuestas
¿Cuáles podrían ser las explicaciones para nuestros resultados?	1	Algunos insectos están adaptados a la contaminación, otros no resisten ambientes contaminados.
	2	Los insectos son selectivos, cada uno requiere de unas condiciones apropiadas.
	3	Algunos insectos son muy resistentes por eso habitan en aguas contaminadas, otros no pueden porque requieren de más oxígeno.
	4	Los insectos son organismos que se pueden adaptar a cualquier tipo de ambiente inclusive a los más contaminados.
	5	Los insectos son un grupo muy resistente a la contaminación.
	6	Algunos organismos requieren de condiciones específicas para sobrevivir.

Con base a los anteriores resultados se puede establecer que los estudiantes correlacionan los términos adaptación, resistencia y presencia con las condiciones del medio en el que se encuentran.

**Tabla 3-14:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Por qué en las dos quebradas encontramos insectos diferentes?

	Grupo	Respuestas
¿Por qué en las dos quebradas encontramos insectos diferentes?	1	Cada uno está adaptado a condiciones diferentes.
	2	Porque una está contaminada y la otra no lo está.
	3	Porque ambas tienen condiciones ambientales diferentes.
	4	Porque la calidad del agua es diferente, una tiene más oxígeno que la otra.
	5	Porque la calidad del agua no es la misma.
	6	Porque una tiene un alto porcentaje de contaminación, mientras la otra está en su estado normal.

De acuerdo a las respuestas dadas, se puede establecer que los estudiantes relacionan las condiciones del ambiente con la presencia de algunos insectos. Con base a estas respuestas se puede establecer que hubo un cambio conceptual, al comparar los resultados con los obtenidos en la aplicación del cuestionario de ideas previas.

**Tabla 3-15:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Qué información nos puede dar la presencia de algunos organismos en un determinado ambiente?

	Grupo	Respuesta
¿Qué información nos puede dar la presencia de algunos organismos en un determinado ambiente?	1	Las condiciones ambientales del ecosistema.
	2	El nivel de contaminación que tiene un determinado ambiente.
	3	La calidad del ambiente.
	4	La presencia de un organismo nos puede dar información relacionada con la contaminación.
	5	Los organismos nos pueden informar las condiciones del ambiente.
	6	Los organismos nos brindan información sobre las condiciones del ambiente.

Con base a los resultados evidenciados en la tabla 3-15, se puede afirmar que los estudiantes comprendieron que la presencia de un organismo brinda información sobre las condiciones del medio en el que se encuentran.

**Tabla 3-16:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Qué es un bioindicador?

	Grupo	Respuesta
¿Qué es un bioindicador?	1	Son organismos que nos brindan información sobre las condiciones de un ecosistema.
	2	Es vida que indica las condiciones del ambiente.
	3	Son organismos que indican el nivel de contaminación de un ambiente.
	4	Son organismos que a través de su presencia indican las condiciones de medio.
	5	Son organismos que dan información sobre las condiciones del medio.
	6	Son organismos que indica la calidad del ambiente.

A partir de los resultados expuestos en la tabla 3-16, se puede establecer que la propuesta metodológica fue efectiva, ya que condujo a la construcción del concepto de bioindicador. Esto se fundamenta en la notable diferencia existente al contrastar los resultados obtenidos en la aplicación del cuestionario de indagación de ideas previas.

Los resultados de la evaluación final se muestran a continuación:

**Tabla 3-17:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿El ser humano puede ser un bioindicador?

	Categoría	%	Respuestas
¿El ser humano puede ser un bioindicador?	A	69	El ser humano no puede ser un bioindicador ya que éste se adapta fácilmente a los ambientes contaminados.
	B	12	El ser humano puede ser un bioindicador ya que a través de las enfermedades que sufre pueden estar indicando el nivel de contaminación del medio.
	C	19	El ser humano no puede ser un bioindicador porque no es un especie sensible, al contrario es muy tolerante a la contaminación.

La mayoría de los estudiantes afirman que el ser humano no puede ser un bioindicador, los argumentos que presentan están relacionados con la capacidad de adaptación que tienen los organismos a los diferentes ambientes, como lo hace el ser humano.

**Tabla 3-18:** Consolidado de las respuestas a la pregunta ¿Qué es un bioindicador?

	Categoría	%	Respuestas
¿Qué es un bioindicador?	A	32	Un bioindicador son organismos que brindan información de las condiciones del ambiente.
	B	23	Son organismos que a través de su presencia o ausencia nos indican las condiciones del medio.
	C	39	Son organismos que se pueden estudiar para determinar el nivel de contaminación de un ecosistema.
	D	5	Son organismos que son sensibles a los cambios ambientales.
	E	2	Es vida que indica.

Como se puede evidenciar en la tabla 3-18, todos los estudiantes construyeron un concepto apropiado de bioindicador. Al contrastar estos resultados con los obtenidos en el cuestionario de indagación de ideas previas, se puede establecer que el 100% de los estudiantes lograron construir el concepto de bioindicador a partir de la experimentación con macroinvertebrados bentónicos.





## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos se puede concluir:

1. La propuesta metodológica *¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos*, permite construir el concepto de bioindicador a partir de la pregunta *¿Qué clase de insectos encontramos en el fondo de una quebrada alterada por las actividades del hombre y en otra quebrada que no presente esta condición?*
2. La metodología de indagación guiada permite inducir a los estudiantes a construir conceptos a partir de la resolución de preguntas de investigación comparativas y que no requieran de aparatos sofisticados.
3. Los macroinvertebrados bentónicos se pueden considerar como un buen material didáctico que permite construir a través de su estudio el concepto de bioindicador.
4. El protocolo IBMWP se puede aplicar como estrategia de enseñanza aprendizaje en la escuela para determinar las condiciones ecológicas de un ecosistema acuático.
5. Las ideas previas sobre el concepto de bioindicador se pueden modificar a partir del muestreo e identificación taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos.

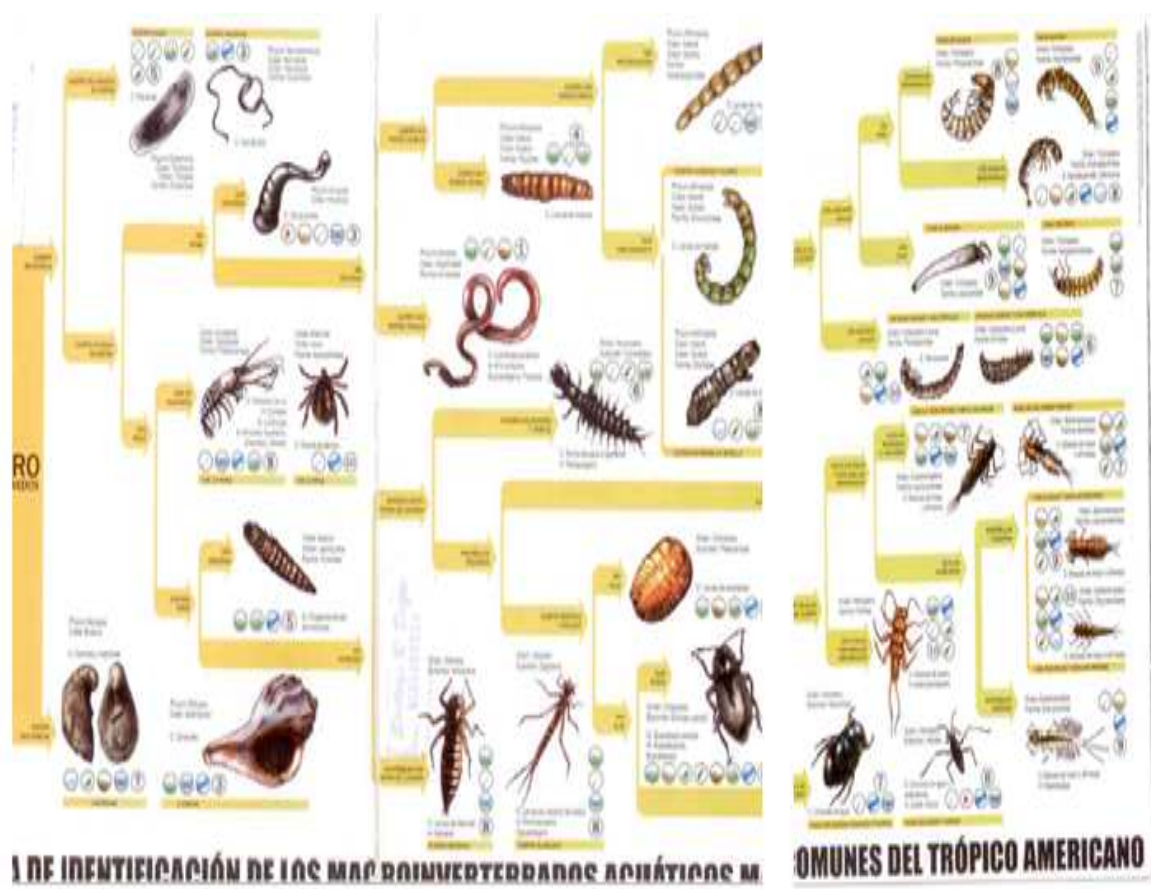
### 4.2 Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos se le recomienda al docente:

1. Realizar una visita de inspección previa al lugar en donde se realizarán los muestreos de macroinvertebrados bentónicos y consultar sus antecedentes.
2. Tomar las medidas de bioseguridad necesarias para evitar una infección al realizar el muestreo en la quebrada alterada.
3. Desarrollar las actividades de la propuesta metodológica en el orden establecido.
4. Realizar un registro fotográfico de las actividades realizadas.
5. Utilizar el estereoscopio para la observación detallada de los macroinvertebrados bentónicos.

6. Se recomienda implementar la propuesta metodológica con los ajustes realizados (ver anexo F).

# A. Anexo: Guía de identificación de los macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano





## B. Anexo: Tabla de Tolerancia

 Plantas acuáticas, restos de otras plantas.

 Hojas flotantes y en sus restos

 Otros invertebrados y peces

 Troncos caídos en descomposición

 Pequeños restos de comida en descomposición y elementos nutritivos del suelo

 Lodo, arena o en el fondo del río

 Animales en descomposición

 Sobre o debajo de las piedras

 Elementos nutritivos del agua

 Donde el agua es más torrenciosa

 Sangre de otros animales

 Lagunas, lagos, aguas estancadas, pozas y charcos

Nombre en idiomas locales: C: Castellano H: Huaorani  
Q: Kichwa E: Afro - esmeraldeño

Tabla de tolerancias		
Sensibilidad	Calidad del Agua	Calificación
No aceptan contaminantes	Excelente	9 - 10
Aceptan muy pocos	Buena	7 - 8
Aceptan pocos	Regular	5 - 6
Aceptan mayor cantidad	Mala	3 - 4
Aceptan muchos	Muy mala	1 - 2
Se desconoce	Se desconoce	?

TABLA CON LOS CÓDIGOS PARA INTERPRETAR LA TABLA DE MACROINVERTEBRADOS

## C. Anexo: Guía No 1.

### MANUAL PARA COLECTAR INSECTOS DEL FONDO DE UNA QUEBRADA BASADO EN EL PROTOCOLO IBMWP (Alba – Tercedor et. al., 2005)

**Introducción:** Algunos insectos desarrollan su etapa larvaria en el fondo de las quebradas, mientras otros insectos viven todo el tiempo debajo del agua. Para su estudio y clasificación se hace necesario obtener una muestra de estos organismos; para esto, se debe realizar un procedimiento que permita obtener una muestra adecuada.

**Equipos y reactivos:** Malla de anjeo de 1 m<sup>2</sup> adherida en dos de sus extremos a dos palos de aproximadamente 1,20 m., botas pantaneras altas, guantes de látex, lupa grande, pinzas, frascos plásticos de tapa rosca, bandejas plásticas de color blanco, balde, decámetro, alcohol 70%, lápiz, papel, cámara fotográfica.

#### Procedimiento de muestreo

1. Seleccione un tramo de la quebrada equivalente a unos 30 m de longitud.
2. Observe el área de estudio y diligencie el siguiente formato de caracterización del lugar de estudio.

Caracterización del lugar de estudio				
Fecha	[ ] [ ] [ ] (dd/mm/aa)			
Nombre del proyecto	[ ]			
Nombre del colector	[ ]			
Nombre del cuerpo del agua	[ ]			
Duración del muestreo	Inicio	Final	[ ]	
Tipo de ambiente	Quebrada ( )	Río ( )	Laguna ( )	otro ( )
Color de las aguas	Profundidad	Ancho	Velocidad de la corriente	
Transparentes ( )	máxima (m)	máxima (m)	Alta ( )	media ( )
Oscuras ( )			Baja ( )	
Marrón ( )				
Vegetación acuática	Sumergidas ( )	Flotantes ( )	Algas adheridas ( )	Algas flotantes ( )
Cantidad de vegetación acuática	Ninguna ( )		Poca ( )	Moderada ( )
Vegetación presente en el borde	Árboles ( )		Arbustos ( )	pastos ( )
Coberturas del fondo	Sustrato		Predominancia del uso de la tierra	
Hojarasca, paños ( )	Limo ( )	Grava ( )	residencial ( )	industrial ( )
Basura ( )	Arena ( )	Otro ( )	vegetación natural ( )	
Plantas acuáticas ( )	Arcilla ( )		Cultivos ( )	otro ( )
Contaminación del área de estudio	No se evidencia ( )		Fuertes evidencias ( )	
Olores	Normal ( )	Químicos ( )	Alcantarilla ( )	Ninguno ( )

3. Tome la malla y ubíquese con un compañero aguas abajo al final del área seleccionada. El que tenga la malla debe ubicarse de frente a la corriente con la malla abierta e inclinada, y el otro debe ubicarse de espaldas a la corriente del agua y agitar vigorosamente el fondo de la quebrada.
4. Retire la malla de la quebrada, colóquela sobre una superficie plana, observe con la lupa los organismos y atrápelos utilizando la pinza. Coloque los organismos atrapados en los frascos con alcohol.
5. Marque las etiquetas de los frascos con la siguiente información: no. de la muestra, fecha del muestreo, localidad, nombre de la quebrada.

## D. Anexo: Guía No. 2

### CALCULANDO EL ÍNDICE IBMWP BASADO EN EL PROTOCOLO IBMWP (Alba – Tercedor *et. al.*, 2005)

#### Introducción

En el fondo de una quebrada encontramos muchos organismos, entre ellos los insectos y algunas larvas de estos. Para identificarlos se debe utilizar una guía taxonómica. Con base en esta información podemos determinar la calidad del agua.

#### Equipos y reactivos

Lupa, bandeja de color blanco, pinzas, alcohol, cinta enmascarar, Fotocopia de la Guía de identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes del Trópico Americano (UNORCAC 2006), fotocopias de la hoja de cálculo del IBMWP.

#### Procedimiento

1. Vierta el contenido de cada muestra en una bandeja de color blanco.
2. Retire aquellos residuos de hojas, palos y similares.
3. Observe los organismos y clasifíquelos utilizando la Guía de identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes del Trópico Americano.
4. Seleccione las familias encontradas y diligencie la hoja de cálculo IBMWP, con base al índice IBMWP determine la clase de calidad de agua.

## E. Anexo: Cuestionario para evaluar el concepto de bioindicador

Nombre \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_ Grado \_\_\_\_\_

1. Los seres humanos se adaptan con mucha facilidad a las condiciones del ambiente. Por ejemplo cuando hace frío, utilizan ropa especializada para esto, o cuando hace calor utilizan también un vestuario adecuado o aparatos como ventiladores y aire acondicionado que permita adecuar el ambiente a las condiciones que se necesitan. Con base a esto, ¿el ser humano puede ser un bioindicador?

2. Se realizó un estudio en varios ecosistemas que presentaban características semejantes pero con diferente estado ecológico. Es decir son ecosistemas semejantes pero unos están: no alterado, otros, poco alterado y otros definitivamente estaban muy alterado. Durante el estudio se realizó un muestreo de organismos y se obtuvieron los siguientes resultados:

	ECOSISTEMAS SEMEJANTES			
	1	2	3	4
ESPECIES	No alterado	poco alterado	muy alterado	No alterado
A	56	0	0	49
B	34	32	56	45
C	0	0	89	0
D	25	33	32	34
E	46	51	0	46
F	25	26	21	19
G	55	0	0	52
H	66	69	54	47
I	47	0	0	49

¿Cuál o cuáles son las especies bioindicatoras?

4. ¿Qué es un bioindicador?



## **F. Anexo: Propuesta metodológica ajustada. ¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos**

### **PRIMER PASO: PRESENTACIÓN DE LA PREGUNTA**

#### **Actividad No. 1. ¿Qué se sabe sobre...?**

Objetivo: Indagar las ideas previas relacionadas con el concepto de bioindicador.

Materiales: lapiceros Tiempo: 2 horas

Metodología: Se organizan a los estudiantes en fila, a cada uno se le entrega la fotocopia con el cuestionario para que lo resuelva en un tiempo de 20 minutos. Terminado este tiempo, el docente organiza una plenaria para que los estudiantes socialicen sus respuestas. La plenaria se inicia con la invitación del maestro a la participación voluntaria. En su momento, cada pregunta se escribe en el tablero, los estudiantes leen o exponen sus respuestas, las cuales deben ser registradas en el tablero con el respectivo nombre del estudiante que la socializó. Durante este registro, se deben hacer comparaciones entre las respuestas expuestas por los estudiantes.

#### **Actividad No. 2 ¡Esta es nuestra pregunta!**

Objetivo: Exponer la pregunta de investigación.

Materiales: Ninguno Tiempo: 1 hora

Metodología: Al iniciar la actividad el docente escribe en el tablero la pregunta de investigación: ***¿Qué clase de insectos encontramos en el fondo de una quebrada alterada por las actividades del hombre y en otra quebrada que no presente esta condición?*** Posterior a la presentación de la pregunta por parte del docente, se realiza una explicación sobre el desarrollo larvario acuático de algunos insectos o de aquellos que habitan totalmente sumergidos en el agua (se recomienda proyectar imágenes o un

audiovisual). Al final de la exposición se le entrega un formato al estudiante con la siguiente pregunta:

¿Entendió la pregunta de investigación? Si \_\_\_ No \_\_\_

## **SEGUNDO PASO: EXPERIENCIA DE PRIMERA MANO**

### **Actividad No. 1 ¿Qué estamos comparando?**

Objetivo: Analizar la pregunta de investigación.

Materiales: Ninguno. Tiempo: 1 hora

Metodología: Se organizan grupos de seis estudiantes. A continuación el docente escribe la pregunta de investigación en el tablero, les solicita a los estudiantes que la lean y la analicen. Posteriormente, el docente realiza la siguiente pregunta: ¿Qué se está comparando en la pregunta? Los grupos de trabajo exponen en plenaria sus argumentos.

### **Actividad. 2 Diseñemos nuestra indagación**

Objetivo: Definir el lugar y el cronograma de trabajo

Materiales: Ninguno Tiempo: 1 hora

Metodología: La actividad se inicia solicitando a los estudiantes que se reúnan en grupo de trabajo. A continuación el docente les pregunta a los grupos cuál quebrada nos puede servir para responder la pregunta de investigación y además solicita que realicen una caracterización de las quebradas. Se recomienda dejar de tarea: consultar los antecedentes de las quebradas.

### **Actividad No. 3 Definición de la metodología**

Objetivo: Socializar la metodología para coleccionar los macroinvertebrados bentónicos.

Materiales: Fotocopias, malla, pinzas, lupa, frascos tapa rosca, alcohol.

Tiempo: 2 horas.

Metodología: El docente solicita que se reúnan los grupos de trabajo. A continuación les hace entrega a cada grupo la fotocopia de la Guía No. 1 Manual para coleccionar insectos y la Guía No. 2 Calculando el índice IBMWP. El docente realiza la explicación de cada uno de los pasos de la guía, en caso de ser necesario se realizan las mímicas del respectivo procedimiento (se recomienda llevar una malla, y demás materiales necesarios). Se presenta el diseño de la malla que se requiere para realizar los muestreos, además se relacionan todos los materiales requeridos para las actividades de cada guía.

### **Actividad No. 4 Recolección de la información**

Objetivo: Colectar los macroinvertebrados bentónicos de una quebrada.

Materiales: Los solicitados en la Guía No.1. Tiempo: 6 horas para cada muestreo.

Metodología: Esta misma metodología se aplica en las dos quebradas que se están comparando.

En el área de estudio el maestro a través de preguntas corrobora que los estudiantes tengan claro el procedimiento de muestreo. El docente realiza recomendaciones sobre el comportamiento y el trabajo en grupo. A continuación el docente distribuye los grupos de trabajo, de tal forma que un grupo no interfiera con otro. Los estudiantes desarrollan el procedimiento expuesto en la guía No. 1. El docente constantemente debe supervisar el trabajo de los grupos. Al finalizar la actividad el docente solicita un reporte verbal a cada grupo sobre el trabajo realizado y además solicita el número de muestras que tomadas, de igual forma solicita que describan los organismos que colectaron.

Observaciones: Se recomienda tomar las medidas de bioseguridad para evitar infecciones al realizar el muestreo en la quebrada alterada.

### **Actividad No. 5 Organización y análisis de la información**

Objetivos: Seleccionar e identificar a nivel de familia taxonómica los insectos de las muestras.

Materiales: Guía para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano; muestras, lupas, bandejas blancas, pinzas, alcohol, guantes de látex.

Tiempo: 4 horas

Metodología: Se inicia la actividad reuniendo los grupos de trabajo. Se entrega a cada grupo los materiales de laboratorio necesarios para la práctica y las respectivas muestras. A continuación se les solicita que depositen las muestras de la quebrada alterada y no alterada en bandejas diferentes. Se realiza una observación, descripción y comparación de los organismos colectados. Se cuantifica la cantidad de organismos encontrados en cada una de las muestras. Se realizan las siguientes preguntas:

¿En cuál de las dos muestras hay mayor cantidad de organismos? ¿A qué se debe esto?  
¿En cuál muestra hay más diversidad?

¿En ambas quebradas se encuentran los mismos organismos? ¿Por qué razón?

¿Qué relación existe entre la presencia de algunos organismos y las condiciones del medio en el que se encuentran?

Estas respuestas se socializan en plenaria, incitando a la discusión.

Se les hace entrega una fotocopia a color de la Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos más comunes del trópico americano. Se les solicita a los grupos que observen detenidamente los gráficos de la Guía e identifiquen los organismos del filum Artrópoda, clase Insecta. Cada grupo identifica en las muestras los organismos de la clase Insecta, de forma paralela los separan de los otros organismos. Utilizando la Guía para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos, se clasifican taxonómicamente cada insecto recolectado. De igual forma se solicita que cuantifiquen la cantidad de individuos por cada familia. Las informaciones recopiladas se registran en la siguiente tabla:

Phylum	Clase	Orden	Familia	No. Individuos
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			
Artrópoda	Insecta			

Se identifican en Guía anteriormente referenciada, los valores de tolerancia de cada familia de la clase Insecta. Con base a la información de la tabla de tolerancia se establece el grado de sensibilidad de cada familia. Se identifican en las muestras las familias que no aceptan contaminantes y sólo se encuentran en aguas de excelente calidad.

A cada grupo se le entrega una fotocopia del índice IBMWP, se realiza una breve explicación del diligenciamiento (se recomienda realizar un ejercicio de vocalización de los nombres científicos de cada familia taxonómica). Con base a la clasificación taxonómica realizada, se establece el índice IBMWP para cada una de las quebradas.

### TERCER PASO: REFLEXIÓN

#### Actividad No. 1 Respondamos muchas preguntas

Objetivo: Definir el concepto de bioindicador?

Materiales: Ninguno. Tiempo: 2 horas

Metodología: Se organiza una mesa redonda, se nombra un relator y un moderador. La mesa redonda se desarrolla a partir de las siguientes preguntas:

¿Cuál es la respuesta a nuestra pregunta de investigación? ¿Cuáles podrían ser las explicaciones para nuestros resultados? ¿Por qué en las dos quebradas encontramos insectos diferentes? ¿Qué información nos puede dar la presencia de algunos organismos en un determinado ambiente? ¿Qué es un bioindicador?

Al finalizar la mesa redonda se aplica el cuestionario para evaluar la construcción del concepto de bioindicador.

## Bibliografía

- [1] ALBA-TERCEDOR, Javier; PARDO, Isabel; PRAT, Narcis y PUJANTE, Ana. Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua: Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. s.l.: confederación hidrográfica del Ebro; 2005, 59p.
- [2] ANZE, Rafael; FRANKE, Margot; ZABALLA Mauricio; PINTO, María; ZEBALLOS, Gabriel; CUADRAS, María; CANSECO, Ángela; DE LA ROCHA, Angélica; ESTELLANO, Victor y DEL GRANADO, Susana. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. En: Redesma. (Junio 2007).
- [3] ARANGO, Natalia; CHÁVES, María y FEINSINGER, Peter. Guía Metodológica para La Enseñanza de La Ecología en el Patio de la Escuela. 1ª ed. Nueva York: National Audubon Society, 2002, 164p.
- [4] BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D. , and SREIBLING, J.B. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1999. Second Edition, 339p.
- [5] BELTRÁN-TOLOSA, Lucila. Estudio de la composición macrotaxonómica de la comunidad de macroinvertebrados y hongos asociados a la hojarasca aportante a los igarapés amazónicos. Tesis de maestría. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología y Microbiología. 65 p.
- [6] BLETTLER, Martin y MARCHESE, Mercedes. Effects of bridge construction on the benthic invertebrates structure in the Paraná river delta. En: Interciencia: Vol.; 30. No 2. (Feb-2005); p. 60-66.
- [7] BRANCO, Samuel M. Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Washington D.C.: The General Secretariat of the Organization of American States, 1984, p. 50-54.
- [8] CAMPANARIO, Juan M. y MOYA, Aida. ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. En: Enseñanza de las ciencias. Vol.; 17. No 2 (1999); p. 179–192.
- [9] CARRETERO, Mario. Construir y enseñar las ciencias experimentales. s.l.: Aique, 1997, 3 -18p.

- [10] CASELLI, Andrea y MILANO, Fernando. Educar para conservar: propuesta desde la Pampa Argentina. En: Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. Vol.; 21. No 1. (2005) p. 34 -39.
- [11] CEREZO, H. Corrientes pedagógicas contemporáneas. En: Odiseo, Revista electrónica de pedagogía. Año 4. No 7 (Jul-Dic 2006) p. 1-19.
- [12] COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas: Lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden. Bogotá: MEN, 2006, 132-141 p.
- [13] CORREA-ARANEDA, Francisco; RIVERA, Reinaldo; URRUTIA, Jonathan y DE LOS RIOS, Patricio; CONTRERAS, Ángel y ENCINA-MONTOYA, Francisco. Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. En: Limnética. Vol.; 29. No 2. (2010) p. 183-194.
- [14] CURREA-DERESER, A. Degradación de hojarasca en un Igarapé (Leticia, Amazonas, Colombia): La acción de grupos funcionales de insectos acuáticos. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. 92 p.
- [15] DUARTE-DIAZ, Jenny y CAPADOR-RAMÍREZ. Entomofauna acuática asociada a *Paspalum repens* (Paocea) en los lagos I y IV del sistema lagunar Yahuaraca (Leticia-Amazonas). Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Biología. 94 p.
- [16] FEINSINGER, P.; POZZI, C.; TRUCCO, C.; CUELLA, R. L.; LAINA, A.; CAÑIZARES, M y NOSS, A. Investigación, conservación y los espacios protegidos de América Latina: una historia incompleta. En: Ecosistema. Vol.; 19. No 2 (Mayo 2010) p. 97-111.
- [17] FIGUEROA, Ricardo; VALDOVINOS, Claudio; ARAYA, Elizabeth y PARRA, Oscar. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos de sur de Chile. En: Revista Chilena de Historia Natural. Vol.; 76. (2003) p. 275-285.
- [18] GAJARDO, Omar; BEZIC, Carlos; DALL`ARMELLINA, Armando; AVILÉS, Lucrecia y CAÑÓN, Silvia. Una experiencia educativa en la enseñanza de las ciencias a partir de un sistema productivo: La indagación como metodología de estudio en carreras universitarias en agronomía. En: Pilquen. Año X. No 9 (2008) p. 1-11.
- [19] GONZÁLEZ, Corina; MARTÍNEZ, Carolina y MARTÍNEZ, María T. Reflexiones y propuestas acerca de la incorporación de nuevas metodologías en el aula de ciencias secundaria: La indagación científica y el aprendizaje experiencial. En: Sembrando Ideas. No 2. (sep 2008) p. 1-25.
- [20] GUERRERO-BOLAÑO, Francisco; MANJARRÉS-HERNANDEZ, Ana y NUÑEZ-PADILLA NORBELLIS. Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con calidad del agua. En: Acta biológica colombiana. Vol.; 8. No 2. (2003) p. 43-55.

- [21] GUILLOT MONROY, Gabriel. Bioindicación: algunas consideraciones y reflexiones generales. En: Seminario invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales. Bogotá: Guadalupe, 1997. p. 169-182.
- [22] GUTIERREZ, Juan; RISS, Wolfgang y OSPINA, Rudolfo. Lógica difusa como herramienta para la indicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá-Colombia. En: Caldasia. Vol.; 26. No 1. (2004) p. 161 -172.
- [23] HERNÁNDEZ, Carlos. Aproximación a un estado del arte de la enseñanza de las ciencias en Colombia. En: HENAO, Myrian y CASTRO, Jorge. Estado del Arte de la Pedagogía en Educación y Pedagogía en Colombia. Bogotá : COLCIENCIAS y SOCOLPE. 2000. p. 10-91.
- [24] IANACONE, José; MANSILLA, Jaime y VENTURA, Karen. Macroinvertebrados en las lagunas de Puerto Viejo, Lima-Perú. En: Ecología aplicada. Vol.; 2. No 1. (2003) p. 116-124.
- [25] ISASI-CATALÁ, Emiliana. Los conceptos de especie indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. En: Interciencia. Vol.; 36. No 1 (Enero 2011) p. 31-38.
- [26] MANCILLA, Gabriela; VALDOVINUS, Claudio; AZOCAR, Marisol; HENRIQUEZ, Mariel y FIGUEROA, Ricardo. Aproximación multimétrica a la evaluación a la calidad del agua en cuencas con diferentes niveles de intervención antrópica. En: Interciencia. Vol.; 34. No 12. (Dic-2009) p. 857 – 864.
- [27] MORAIS PIMENTA, Sandro; PALAU PEÑA, Alfredo y SILVA GÓMEZ, Patrícia. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidrelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde Goiás. En: Sociedade & Natureza, Uberlândia. Vol.; 21. No 3. (Dic 2009) ; p. 392-412.
- [28] NOGUÉZ PIEDRA, Sergio R.; BAGER, Alex; ROCHA M. Paulo; ISOLDI, Loraine; LAUZ, Otoniel y HEEMANN, Chistiane. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Barbara, Pelotas, RS, Brasil. Em: Ciencia Rural, Santa María. Vol.; 36. No 2. (mar-abril 2006) p. 494 -500.
- [29] PAPPAS, C. C., KIEFER, B, Z., LEVSTIK, L. S. (1990). *An integrated language perspective in the elementary school: Theory into action*. N.Y. Longman.
- [30] PAVÉ, Paola y MARCHESE, Mercedes. Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). En: Ecología Austral. Vol.; 15. (Dic 2005) p. 183 – 197.
- [31] RIBERA, Ignacio y FOSTER, Garth. El uso de artrópodos con indicadores biológicos. En: Bol SEA. No 20. (1997) p. 265-276
- [32] RISS, Wolfgang; OSPINA, Rodulfo y GUTIERREZ, Juan. Establecimiento de valores de Bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. En: Caldasia. Vol.; 24. No 1. (2002) p. 135-156.

[33] ROLDÁN PÉREZ, Gabriel A. Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia, 2003. p. 170.

[34] \_\_\_\_\_. Fundamentos de limnología tropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992. p. 529.

[35] \_\_\_\_\_ y RAMÍREZ RESTREPO, Jhon J. Fundamentos de limnología tropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 2008. p. 440.

[36] SEGNINI, Samuel. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición biológica de los cuerpos de agua corriente. En: *Ecotrópicos*. Vol.; 16. No 2 (2003) 45-63.

[37] SERRATO-HURTADO C y S.R. DUQUE. (2008). Calidad de las aguas de sistemas de la Amazonia Andina colombiana, a través de la bioindicación con macroinvertebrados acuáticos. En: BUTRIAGO, Ana y JIMÉNEZ, Eliana. *Gente, Tierra y Agua en la Amazonia*. Imanimundo 3. Imani, Sede Amazonia, Universidad Nacional de Colombia Bogotá: Guadalupe, 2008. p. 215-237.

[38] STAVER, J.R., and BAY, M. Analysis of the Project Synthesis Goal Cluster Orientation and Inquiry Emphasis of Elementary Science Textbooks. En: *J. Research in Science Teaching*. Vol.; 24. (1987) pp. 629–643.

[39] TOMANOVA, Sylvie y TEDESCO, Pablo. Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. En: *Biol. Trop.* Vol., 55. No 1 (marz.2007) p. 67-81.

[40] TORRES, María. La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas. En: *Educare*. Vol.; XIV. No 1. (Ene-Jun 2010) p. 131-142.

[41] ZÚÑIGA DE CARDOZO, M. y CAICEDO, G. 1997 .Indicadores ambientales de calidad del agua en la cuenca del río Cauca. En: *Bioindicadores Ambientales de la Calidad del Agua*. Cali, Universidad del Valle (1997).

[42] UNORCA. Cuida el agua que fluye por las venas de nuestras comunidades: sistema de monitoreo de macroinvertebrados. Ibarra: UNORCA, 2006. p. 28.