



Servimos por Naturaleza

Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF)  
Departamento de Vida Silvestre



# Potocolo de Monitoreo de la Calidad del Agua

---

Mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores





Servimos por Naturaleza



# Protocolo de monitoreo de la calidad del agua

Mediante macroinvertebrados acuáticos  
como bioindicadores

Metodología de muestreo

2011







Texto por: Lucía I. López Umaña  
 Fotos por: P. Gutiérrez y L. López  
 Dibujos por: L. López

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| CONTENIDO .....  | 2  |
| AGRADECIMIENTOS .....  | 4  |
| INTRODUCCIÓN .....   | 6  |
| EL PAPEL ECOLÓGICO DEL AGUA .....  | 8  |
| El agua .....  | 9  |
| Ciclo del agua .....   | 10 |
| Contaminación del agua .....   | 11 |
| Situación del agua en Honduras .....   | 11 |
| BIOMONITOREO .....   | 14 |
| Definición.....  | 15 |
| Concepto de indicador biológico .....  | 15 |
| Utilidad de los bioindicadores .....   | 16 |
| Organismos bioindicadores .....  | 16 |
| Bacterias .....  | 16 |
| Protozoos.....   | 17 |
| Fitoplancton.....  | 17 |
| Macrófitas.....  | 17 |
| Peces.....   | 18 |
| Macroinvertebrados .....   | 18 |
| METODOLOGÍA DE MUESTREO .....  | 20 |
| Antes de la toma de las muestras.....  | 21 |
| Recolecta de las muestras .....  | 22 |
| Procesamiento de las muestras.....   | 25 |
| INDICES BIOTICOS .....   | 28 |
| Definición.....  | 29 |
| BMWP (Biological Monitoring Working Party) .....                                       | 29 |
| Índice Biótico de Familias (IBF) .....   | 32 |
| EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera) .....   | 34 |
| CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT.....   | 36 |
| Definición del hábitat .....   | 37 |
| Evaluación Visual del Hábitat.....   | 37 |
| SVAP.....  | 37 |
| Criterios para la valoración del hábitat.....  | 38 |
| GLOSARIO .....   | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 43 |
| ANEXOS.....  | 48 |
| Anexo 1. Hoja de toma de datos .....   | 49 |
| Anexo 2. Criterios de puntuación para la evaluación visual del hábitat.....            | 51 |
| Anexo 3. Puntuación de la evaluación visual de ríos o quebradas .....                  | 52 |
| Anexo 4. Ejemplos de los cálculos de los índices bióticos: BMWP-Hon, IBF-SV y EPT..... | 53 |





## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado por medio del Proyecto Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales en Honduras (Proyecto ECOSISTEMAS) que promovió dentro de sus Objetos de Monitoreo en Paisajes Productivos (OMEPP) el desarrollo de un protocolo de calidad de agua mediante los macroinvertebrados acuáticos. ECOSISTEMAS es financiado por el Fondo Global del Ambiente (GEF por sus siglas en inglés) y administrado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El proyecto es ejecutado por el Gobierno de Honduras a través del Instituto de Conservación Forestal y Vida Silvestre (ICF), la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) y la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). Estas instituciones brindaron un apoyo clave para el desarrollo y conclusión del presente protocolo. De igual manera el apoyo de Nelson Ulloa (director ECOSISTEMAS), José Manuel Mora (director del Centro Zamorano de Biodiversidad) y Napoleón Morazán (ECOSISTEMAS) fue fundamental para la realización de este protocolo.

Se agradece a los asistentes a la Mesa Regional de Monitoreo de Calidad de Agua en Áreas Protegidas del CBCH por su participación y críticas constructivas para el mejoramiento del protocolo (lista sin ningún orden particular): Ela Roxana Rivera y Manuel Estrada (SANAA), Enoc Burgos, Silvia J. Cruz y Alberto Salín (FUCAGUA), Mirna Marín y Roberto Martínez (UNAH), Armando Mondragón (FUCSA), Iris Zavala del Cid (FUPNAPIB), José Adalid Mendoza (AJAAMSAF), Lenin Corrales Chaves, Humberto vander Zel y Beatriz Martínez (PROCORREDOR), Gustavo Gonzales (ICF-Tela), Napoleón Morazán (Proyecto ECOSISTEMAS), Iris Aquino Zapata (ICF-ORFA), Ivany Argueta y Norman Flores (ICF-Subv.41-PROCORREDOR), Julie Tom (SERNA-PROCORREDOR), Juan Carlos Carrasco (INCEBIO), Roger H. Flores (Cuerpos de Conservación de Omoa), Fernel Rivas (FUPNAND), Madelin Hernández, Marco Carias y Héctor Ulloa (ICF), Ralfaella Sardi y Alfredo López Garcés (SAFEGE).

A los asistentes al taller de presentación del Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Agua mediante Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores por sus recomendaciones y revisión del protocolo (lista sin ningún orden particular): Mariela Cruz (SERNA-PROCORREDOR), María Elena Flores, Cecilia Calidonio y Napoleón Morazán (Proyecto ECOSISTEMAS), Armando Mondragón (FUCSA), Ela Roxana Rivera (SANAA), Roger H. Flores, Sandra Yamilet Cardenas y Gustavo Cabrera (Cuerpos de Conservación de Omoa), Said Enrique Laínez (ICF), Norman Flores ( OBIOS-REHNAP-ICF), José Manuel Mora (CZB-Zamorano).

M.Sc. Mirna Argueta, Directora Nacional de Calidad del Agua (SANAA) proporcionó las normativas nacionales relacionadas con la calidad del agua.

M.Sc. Monika Springer y Ph.D. José M. Mora revisaron el documento y han apoyado a la autora del texto de forma constante para motivarla a seguir trabajando en el tema de macroinvertebrados acuáticos.







## INTRODUCCIÓN

El agua cubre 71% de la superficie de la Tierra y en ella viven un alto número de organismos. Los océanos constituyen el mayor volumen de agua ya que cubren cerca de tres cuartas partes del planeta. El agua dulce representa apenas 3% del total que se encuentra en la Tierra (Figura 1) y de este porcentaje aproximadamente las dos terceras partes se encuentran inmovilizadas en forma de nieve y en glaciares.

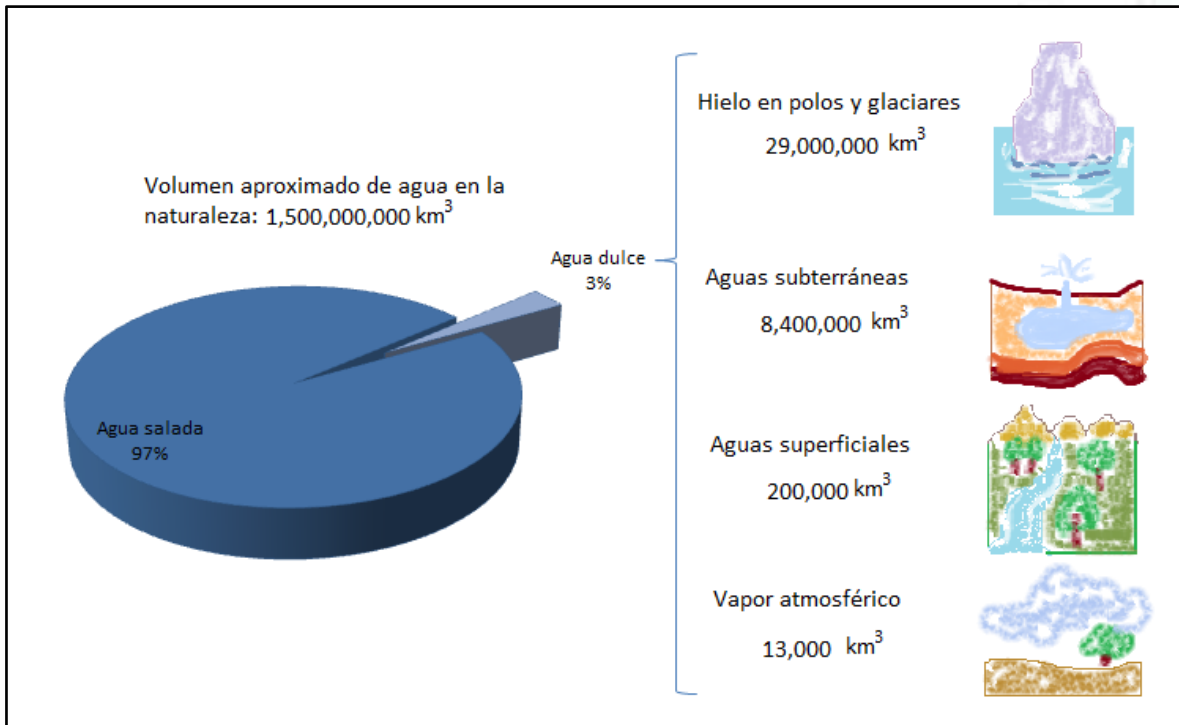


Figura 1. Volumen aproximado de agua dulce en sus diferentes formas en la superficie de la tierra.

El agua es esencial para el mantenimiento de todo ser vivo que habita la Tierra. Particularmente los ecosistemas de agua dulce y de agua salada albergan una gran variedad de organismos. Específicamente alrededor del 12% de las especies animales conocidas, incluido un alto número de peces, viven o dependen de los ecosistemas de agua dulce. Esto se debe en parte a la alta estabilidad climática que presentan dichos ecosistemas, lo que ha permitido una mayor especialización trófica de las especies. Los ecosistemas de agua dulce tienden a ser dinámicos y requieren de cierta variación natural o de disturbio para mantener su viabilidad. Esta mecánica de los ecosistemas acuáticos es lo que permite el mantenimiento de las comunidades de plantas y animales. Adicionalmente, los hábitats presentes en dichos ecosistemas presentan una dinámica natural que garantiza la reproducción y la supervivencia de las especies que ahí habitan.



Los ecosistemas de agua dulce pueden ser particularmente sensibles a la perturbación antropogénica, de hecho, en la actualidad son los que han sufrido más los impactos causados por la actividad humana. Debido a que cada día las poblaciones humanas crecen y se expanden ponen en riesgo la cantidad y calidad del agua. Hay diversos factores que afectan los sistemas de agua dulce entre los que están el aumento de escorrentías, las aguas residuales, la infraestructura inadecuada, el desmonte de tierras, la industria y la contaminación atmosférica entre otros. Todos estos factores tienen un efecto en la calidad de los suministros de agua potable para satisfacer las necesidades del ser humano y sus animales domésticos, pero también afectan los ecosistemas acuáticos. La cantidad de desechos que van a dar a las aguas causan un alto número de disturbios en estos ambientes, los cuales se ven reflejados en las comunidades biológicas.

Todos los organismos, incluidos plantas y animales, que habitan en los ecosistemas de agua dulce presentan adaptaciones a determinadas condiciones ambientales y de la calidad del agua. Por lo tanto, si se experimenta un cambio en la calidad del agua de un río o corriente, algunos organismos que habitan en éstas no pueden sobrevivir ahí. De hecho, una baja biodiversidad y abundancia en un sistema de corrientes se relaciona con una mala calidad del agua. Esto se debe a que los organismos que habitan en los cursos de agua presentan límites de tolerancia a las diferentes condiciones ambientales. Es por esto que la biodiversidad de las comunidades acuáticas puede ser utilizada como un **indicador** de la calidad de las aguas. Los cambios en las comunidades acuáticas a causa de cambios en la calidad del agua pueden alterar el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

El uso de organismos indicadores para la determinación de la calidad del agua se fundamenta en la capacidad natural que tienen estos **bioindicadores** de responder a los efectos de perturbaciones ocasionales o permanentes. El **biomonitoreo** de la calidad de las aguas se basa en la respuesta que tienen diferentes grupos de organismos a los diversos tipos de contaminantes. Es decir, a través del biomonitoreo es posible evaluar el impacto que la actividad humana tiene en los ecosistemas de agua dulce. En la actualidad los bioindicadores son utilizados como complemento de la medición de parámetros físico-químicos en la determinación de la calidad del agua en varios países. Aunque dicho uso por lo general es con fines de salubridad, este protocolo enfatiza el término calidad del agua desde el punto de vista ecológico. La calidad de agua de valor ecológico no necesariamente se refiere al agua potable desde el punto de vista humano.



# PARTE I

---

EL PAPEL ECOLÓGICO DEL AGUA



## El agua

El agua es uno de los compuestos más abundantes sobre la Tierra y constituye el medio ideal para la vida. Este elemento es un componente indispensable en los seres vivos, ya que interviene en múltiples reacciones químicas que ocurren en las células vivas. En la fisiología humana, el agua juega un papel fundamental y es un recurso vital para la supervivencia de todo ser vivo.

Por otro lado, desde tiempos remotos el agua ha sido nuestro medio de vida y se ha utilizado en sistemas de riego y como medio de transporte. El ser humano utiliza el 8% del agua dulce renovable anualmente, no obstante, también se adueña del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. El problema es que actualmente el agua limpia es cada día más escasa, mientras que, las necesidades de una población humana creciente son mayores.



Los ecosistemas dulceacuícolas poseen también una gran diversidad de organismos. Por lo tanto el agua constituye una parte esencial de todo ecosistema y desde luego parte fundamental en las redes tróficas acuáticas. Debido a ello, la disminución del agua disponible, ya sea en la cantidad o en la calidad o en ambas, provoca efectos negativos graves sobre los ecosistemas. Los sistemas acuáticos tienen una capacidad natural de absorción y de **autolimpieza**. Sin embargo, la excesiva entrada de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos reduce dicha capacidad. Cuando esto ocurre, la biodiversidad de los sistemas de agua dulce disminuye o se pierde y por lo tanto, los medios de subsistencia para el hombre también disminuyen, las fuentes naturales de alimentos (por ejemplo, los peces) se deterioran y se generan altos costos de limpieza. El problema se hace más serio para los ecosistemas acuáticos, debido a que prácticamente cualquier

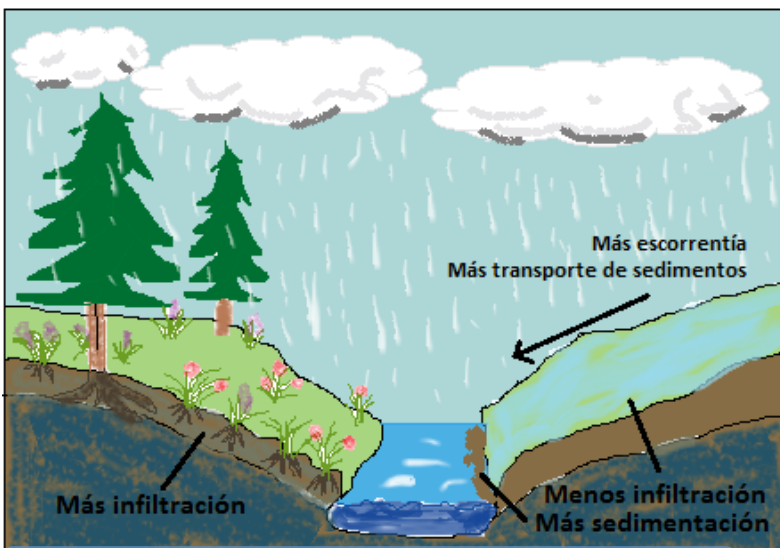


Figura 2. Efectos de la deforestación en la escorrentía, el agua subterránea y el transporte de sedimentos.



daño ambiental incrementa el efecto, sobre todo de la calidad del agua (Figura 2). Por ejemplo, los desastres naturales pueden conllevar al aumento de las inundaciones, principalmente donde la deforestación y la erosión del suelo impiden la neutralización natural de los efectos del agua.

## Ciclo del agua

El agua tiene un ciclo natural que permite que este vital recurso permanezca estable desde hace millones de años. El ciclo del agua comienza cuando el calor del sol evapora el agua que a medida que se eleva se condensa (el vapor se transforma en agua). Las gotas de agua se unen para formar nubes y luego el agua precipita en forma de lluvia o nieve por acción de la gravedad (Figura 3). Mediante este proceso el ciclo del agua es fundamental para su **autopurificación**. El ciclo del agua es el responsable de la redistribución del agua en la superficie de la Tierra. Sin embargo, el aprovisionamiento del agua es muy irregular ya que una mayor cantidad cae en las áreas tropicales.

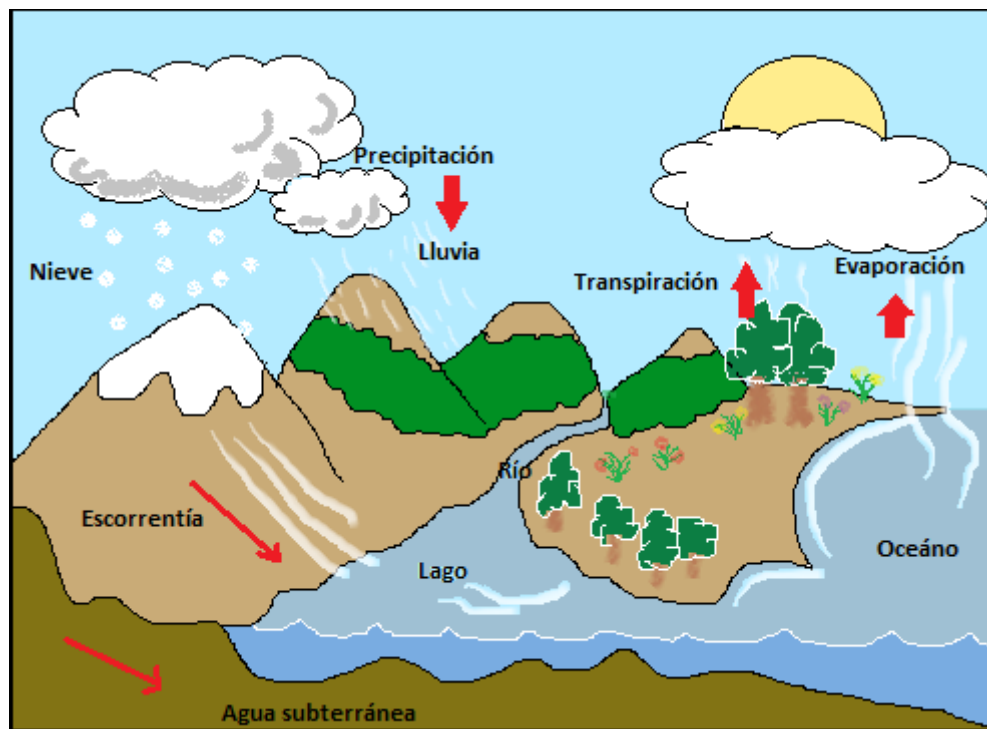


Figura 3. El ciclo hidrológico del agua.

Es importante que el ciclo del agua se mantenga como tal, ya que su suministro es imprescindible para los seres vivos que habitan el planeta. Este ciclo tiene una interacción constante con todos los ecosistemas, debida básicamente a la dependencia del agua de los seres vivos. A su vez, los seres vivos ayudan en el funcionamiento del ciclo del agua.

El agua ha cubierto las necesidades del ser humano a lo largo del tiempo. No obstante, el ciclo del agua ha sido desequilibrado por la actividad del hombre. Se pueden citar tres causas principales que han afectado negativamente el ciclo del agua:



1. La modificación de la superficie terrestre
2. La contaminación
3. La sobreexplotación del agua

### Contaminación del agua

Se considera que el agua está contaminada cuando no puede ser utilizada para los usos tradicionales en su estado natural, es decir, cuando se ven alteradas sus propiedades físicas, químicas y biológicas o bien su composición. El origen de la contaminación orgánica tiene dos principales fuentes, las naturales y las **antropogénicas**. En estas últimas se incluyen la contaminación industrial, los vertidos urbanos, la navegación, la agricultura y la ganadería. Es así como los contaminantes del agua pueden ser clasificados en ocho grupos principales:

1. Microorganismos patógenos
2. Desechos orgánicos
3. Sustancias químicas inorgánicas
4. Nutrientes vegetales inorgánicos
5. Compuestos orgánicos
6. Sedimentos y materiales suspendidos
7. Sustancias radiactivas
8. Contaminación térmica

El agua contaminada constituye una seria amenaza para la salud humana, la diversidad de la vida acuática y para la supervivencia de la vida en el planeta. Los efectos de la contaminación del agua van desde la destrucción de los recursos hídricos, disminución de la calidad del agua y la reducción de la autodepuración del agua. En consecuencia podemos decir que el agua que presenta buena calidad es aquella que está libre de contaminantes, es decir cualquier tipo de elemento o energía que cause efectos indeseables para la vida.

### Situación del agua en Honduras

Honduras cuenta con su legislación respecto a la regulación de la calidad del agua para uso potable la cual ejerce por medio de la Secretaría de Salud. Actualmente, se está trabajando en el Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de aguas residuales, además de la Norma Técnica Nacional para Regular los usos de los Cuerpos Naturales de Agua. En esta última norma se contempla el uso, la cantidad y calidad básica del agua que mantiene la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, sin causar alteraciones sensibles en ellos. La calidad se evalúa a través de parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Por otro lado, en lo referente a la protección de las cuencas hidrográficas según lo dispuesto en los Artículos 103, 106 y 354, párrafo segundo de la Constitución de la República y las disposiciones aplicables de la Ley Marco del Sector Agua y Saneamiento, se deben delimitar aquellas cuencas abastecedoras de agua a las comunidades. Adicionalmente, la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto No. 156-2007) en su Capítulo IV contempla la protección, manejo, conservación y recuperación de las



cuencas hidrográficas con énfasis en su conservación. No existe ninguna ley donde se considere el empleo de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua.







# PARTE II

---

BIOMONITOREO



## Definición

El biomonitoreo se refiere a la evaluación de la calidad del agua desde el punto de vista biológico. Es decir, el biomonitoreo es el uso de un conjunto de técnicas basadas en las respuestas biológicas de reacción y sensibilidad de distintos organismos vivos a diversas sustancias contaminantes presentes en el ambiente acuático. Esto es, los efectos que sufren los organismos debido a la presencia de una sustancia tóxica.

El biomonitoreo se puede llevar a cabo mediante el estudio de los efectos de contaminantes o sustancias tóxicas sobre los organismos indicadores existentes en el ecosistema acuático por estudiar. Aunado a la toma de muestras de organismos indicadores, el biomonitoreo requiere la medida de varias variables físicas y químicas que permitan determinar la salud del ecosistema.

La presencia de contaminantes en las aguas altera las comunidades biológicas que ahí existen. Por lo tanto, estos cambios en las comunidades de organismos indicadores permiten determinar el estado ecológico de un sistema acuático, tanto en el momento de la toma de las muestras como semanas antes de la toma de éstas.

El biomonitoreo se puede llevar a cabo mediante el uso de diversos grupos de organismos tales como las algas, los peces, los microorganismos y los macroinvertebrados acuáticos. Una alta diversidad y abundancia de familias de macroinvertebrados en un sitio dado, puede ser indicativo de una buena salud del río. Si por el contrario encontramos una baja diversidad y abundancia puede ser que el sistema acuático este siendo perturbado de alguna manera.

## Concepto de indicador biológico

Un organismo vivo puede ser indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla debido a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. En el caso de los sistemas acuáticos, un indicador biológico acuático es aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, por lo que se les relaciona principalmente con la calidad del agua más que con procesos ecológicos. Por lo tanto, un bioindicador se refiere a la población de individuos de la especie indicadora o bien un conjunto de especies que conforman una comunidad indicadora.

Un organismo indicador se selecciona de acuerdo con su sensibilidad o tolerancia a varios factores. Es decir, que la presencia de una especie indicadora particular en un sitio dado estaría reflejando las condiciones del medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones. Por lo tanto a cada especie indicadora le corresponden determinados límites de condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos). Por lo general, entre más sedentaria sea una especie más



estrechos son sus límites de tolerancia y por lo tanto será un mejor indicador ecológico. Las especies bioindicadoras deben ser, en general, abundantes, muy sensibles al medio de vida, fáciles y rápidas de identificar, bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico y con poca movilidad.

## Utilidad de los bioindicadores

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

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

- Saturación de oxígeno
- Condiciones de anoxia
- Condiciones de pH
- Estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua
- Turbulencia del agua
- Alta precipitación
- Eutrofización natural
- Grado de mineralización del agua
- Presencia de determinados elementos como hierro, sílice y calcio
- Fenómenos de sedimentación

## Organismos bioindicadores

Existe una variedad de organismos que pueden ser indicadores de la calidad del agua, no obstante, estos deben cumplir con ciertos requerimientos dependiendo de la zona de estudio. Entre los organismos más utilizados para la bioindicación están las bacterias, los protozoos, el fitoplancton, las macrófitas, los peces y los macroinvertebrados acuáticos.

### Bacterias

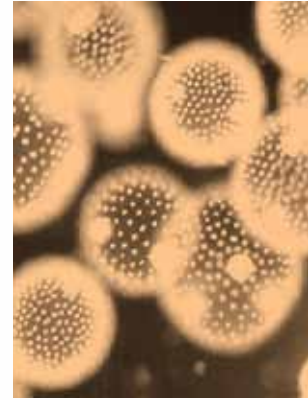
Los índices bacteriológicos se utilizan principalmente para la evaluación de aguas destinadas al consumo doméstico. Estos índices miden la proporción de organismos indicadores de la contaminación fecal presente en las aguas de los ríos y nacientes. Los índices bacteriológicos trabajan a través de conteos directos de las poblaciones de coliformes tales como *Escherichia coli*, estreptococos y también de especies de virus, sulfabacterias y ferrobacterias.



El mayor problema a la hora de utilizar los índices bacteriológicos es el tiempo que se requiere para obtener los resultados, ya que se puede tardar varios días y hasta una semana o más antes de obtener los grupos de organismos buscados. Adicionalmente, en varios casos los resultados son difíciles de interpretar.

### Protozoos

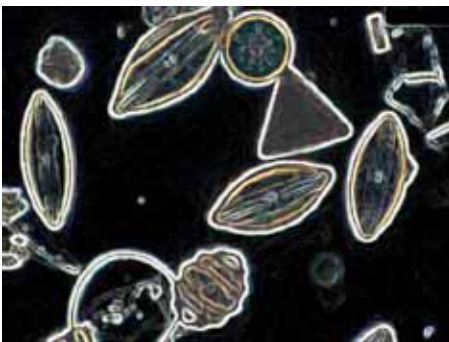
El uso de los protozoos como método de bioindicación tiene la ventaja de que la obtención de las muestras es relativamente fácil y además su respuesta al enriquecimiento orgánico es bien conocida. Por otro lado, este método tiene la desventaja de que se necesita mucha experiencia en la identificación taxonómica. Asimismo, presentan el problema de que hay grandes diferencias en la composición de sus comunidades con relación a los **microhábitats** donde existen, por lo tanto es difícil obtener muestras representativas.



### Fitoplancton

Las algas se relacionan con los procesos de eutrofización de las aguas. Esto es la cantidad excesiva de nitratos y fosfatos en el agua, lo cual induce el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos. Cuando estas algas y otros vegetales mueren son descompuestos por los microorganismos por lo que se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

Este método de bioindicación presenta la ventaja de que la toma de muestras es fácil y su tolerancia a la contaminación orgánica es muy conocida, sin embargo, la obtención de muestras cuantitativas es difícil. Existe un alto número de tipos diferentes de algas



microscópicas que son utilizadas para determinar la calidad del agua, entre estas las más empleadas son las diatomeas debido a su dominancia en el ambiente acuático y además de que su identificación es simple. El uso de las diatomeas en el monitoreo presenta varias ventajas, entre las que sobresalen: son cosmopolitas, algunas especies son muy sensibles a cambios ambientales, mientras que otras tienden a ser muy tolerantes.

### Macrófitas

Las macrófitas incluyen a todas las plantas acuáticas pluricelulares, como lo son los musgos, las hepáticas y las fanerógamas y son componentes naturales de la mayoría de los ecosistemas acuáticos. El uso de este indicador biológico se ve facilitado debido a que las macrófitas son estacionarias y su recolección es





fácil debido a su tamaño y ubicación en el cuerpo de agua. El muestreo cualitativo de estos organismos incluye una observación visual y recolección de los tipos más representativos del área de estudio.

### Peces

El grupo de los peces es uno de los más utilizados como bioindicadores, no obstante, su alta movilidad conlleva a una gran desventaja a la hora de determinar la calidad de agua de un ecosistema acuático. Esto ya que los peces pueden escapar de la contaminación y volver cuando las condiciones hayan mejorado. En general, los peces son considerados buenos indicadores de la calidad del medio, por lo que una gran diversidad y abundancia de peces indica un ambiente sano, mientras que, una elevada mortandad o un porcentaje alto de peces enfermos podrían ser causados directa o indirectamente por niveles considerables de contaminantes.



### Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados incluyen a un grupo diverso de invertebrados acuáticos entre los que se encuentran las taxas: Insecta, Mollusca, Oligochaeta, Hirudinae y Crustacea. A consecuencia de su enorme diversidad es probable que algunos de ellos respondan a cualquier tipo de contaminación.

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que alcanzan un tamaño superior a 2 mm a lo largo de su ciclo de vida, por lo que se pueden observar a simple vista. Dentro de este grupo encontramos una gran diversidad de organismos que comprende artrópodos (insectos, ácaros, crustáceos), moluscos (gastropodos, bivalvos), anélidos, nemátodos y platelmintos. Al igual que otros grupos de organismos acuáticos como los peces, los macroinvertebrados acuáticos forman parte de las cadenas alimentarias y por lo general constituyen la base de estas al servir de alimento a organismos de mayor tamaño como los peces. Existen macroinvertebrados con diferentes hábitos alimentarios. Por ejemplo están los macroinvertebrados que consumen gran cantidad de la materia orgánica que entra al agua y también existen varios de hábitos carnívoros. Debido a esto, los macroinvertebrados acuáticos juegan un papel crítico en el flujo natural de la energía y los nutrientes.

La distribución de los macroinvertebrados acuáticos es muy amplia y comprende fuentes termales, charcas pequeñas y grandes, ríos y lagos. Estos animales viven en las rocas, las piedras, los troncos, el sedimento, los escombros y las plantas acuáticas durante algún estado de su vida. También se les puede encontrar adheridos a la vegetación a orillas de los lagos y los ríos. Otros nadan sobre la superficie del agua mientras que otros prefieren habitar fondos lodosos, arenosos o pedregosos. No obstante, un alto número de especies exhiben movimientos de un sitio a otro en respuesta a un sin número de factores. De hecho, el flujo de agua en los ambientes **lóticos** provee de un mecanismo eficiente para la



dispersión corriente abajo. Lo anterior, por ejemplo permite la recolonización de áreas que han sido lavadas después de una crecida. Sin embargo, estos animales, también deben presentar diversas adaptaciones estructurales como ventosas y ganchos para poder resistir la corriente, pues de lo contrario la velocidad de la corriente los arrastraría.

Entre los macroinvertebrados acuáticos hay organismos que no cambian de forma a lo largo de su vida, tal es el caso de los hidrozooos, los turbelarios, los anélidos y los moluscos. Otros, al contrario sufren un cambio más o menos importante (**metamorfosis**), es decir, pasan su estado larvario en el agua y su estado adulto como terrestres y voladores, como es el caso de la mayoría de los insectos. El ciclo vital de estos invertebrados dura, en la mayoría de los casos, un año o menos. No obstante, la duración de los ciclos en los insectos acuáticos varía mucho entre los diferentes grupos.

### *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores*

El uso de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad de agua constituye hoy en día una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua. Algunas de las características por las cuales los macroinvertebrados acuáticos son considerados como los mejores indicadores de calidad del agua son:

- Abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar
- Un alto número son sedentarios
- De técnicas sencillas de recolecta y bajos costos
- Relativamente fáciles de identificar
- Poseen ciclos de vida largos
- Son apreciables a simple vista
- Responden rápidamente a los tensores ambientales

La presencia de una comunidad determinada de macroinvertebrados acuáticos es una medida de las condiciones del medio acuático que se está evaluando. Es decir, que las alteraciones en la calidad del agua pueden reflejarse en un cambio de la estructura y funcionamiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que existen en un sitio dado. Esto es, que al cambiar las características físico-químicas del agua se espera que los macroinvertebrados no tolerantes (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) den paso a comunidades de macroinvertebrados tolerantes (Diptera, Oligochaeta). De esa forma, los cambios en la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos pueden ser utilizados para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático.



# PARTE III

---

## METODOLOGÍA DE MUESTREO



Para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos existen varias técnicas que son relativamente sencillas. En el presente documento se recomienda la metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la “red D” que ha sido ampliamente utilizada y evaluada en diferentes países. No obstante, la red D puede ser sustituida por un pascón o colador de uso doméstico (ver abajo). Se resume a continuación dicha metodología en términos sencillos con la pretensión que sea fácilmente entendible.

### Antes de la toma de las muestras

A la hora de definir el sitio de estudio se debe inicialmente hacer una planificación anticipada del muestreo, con el fin de determinar los objetivos del estudio a realizar. Se hace necesario entonces, definir el protocolo a utilizar dependiendo de las condiciones particulares del sitio de estudio. Si es posible se recomienda visitar el sitio previo a la toma de las muestras. La preparación del equipo a llevar y utilizar se debe realizar en esta etapa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Equipo a preparar previo a la salida al campo para muestrear con red “D”.

| Equipo de seguridad   |   |
|---|---|
|   |    |
| Traje de vadeo y guates   | Cuerda de 50m   |
| Equipo para la toma de muestras   |   |
|  |   |
| Pinzas y pinceles   | Bandejas de fondo blanco  |
|  |  |
| Red D   | Alcohol   |
| Equipo de medición  |   |
|  |   |
| GPS, medidor multiparámetros, cámara  | Cinta métrica   |





Adicional al equipo mostrado es necesario, llevar las hojas de los formularios para la recopilación de la información en el campo, tanto de parámetros físico-químicos como de la calidad del hábitat (Anexo 1). Debe tenerse en cuenta el número de sitios a muestrear para determinar el número de formularios a llevar. Se deben preparar etiquetas en papel vegetal o papel blanco con tinta indeleble o lápiz de carbón con la información del sitio de recolecta (Figura 5). Estas etiquetas deben ser de un tamaño máximo de 5 x 25 cm.

|                   |                  |                   |
|-------------------|------------------|-------------------|
| 02 junio 2011     | Río Yeguaré      | Y001              |
| Fecha de muestreo | Nombre río       | Definir un código |
| Red D             | Submuestra N° 1  |                   |
| Tipo de muestreo  | N° de submuestra |                   |

Figura 5. Etiqueta que se debe preparar para catalogar las muestras de macroinvertebrados recolectados en el sitio de estudio.

### Recolecta de las muestras

En el sitio de estudio definido se debe seguir un procedimiento que involucra varios pasos y que son comentados a continuación:

1. Selección del sitio de recolecta de las muestras de macroinvertebrados acuáticos. A la hora de seleccionar el sitio se debe procurar elegir un sector representativo del río tomando en cuenta todos los posibles hábitats existentes en el área. El tramo seleccionado debe tener como máximo una longitud de 50 m.

Es recomendable realizar un mínimo de dos muestreos al año en el sitio seleccionado (época seca y finales de la lluviosa), con el fin de determinar alteraciones y/o comparaciones.

2. Hábitats a muestrear. Se deben identificar todos los hábitats existentes en el tramo del río a evaluar. Los hábitats que deben estar representados en el tramo del río a estudiar son: zonas de corriente suave, corriente fuerte, sustrato duro, sustrato suave, vegetación acuática emergida, tanto dentro del río como en sus orillas, presencia de materia orgánica en descomposición (hojarasca, madera), contenidos de lodos o arenas y evidencia de algas (perifiton), entre otros (Figura 6).

Es importante que cuando se traten de ríos de corrientes fuertes, anchos y profundos, se muestre una orilla de éste. Al igual, en el sitio elegido deben estar representados los hábitats mencionados anteriormente. Se debe tratar de muestrear hasta profundidades de entre 60 a 80 cm, si esto es posible.

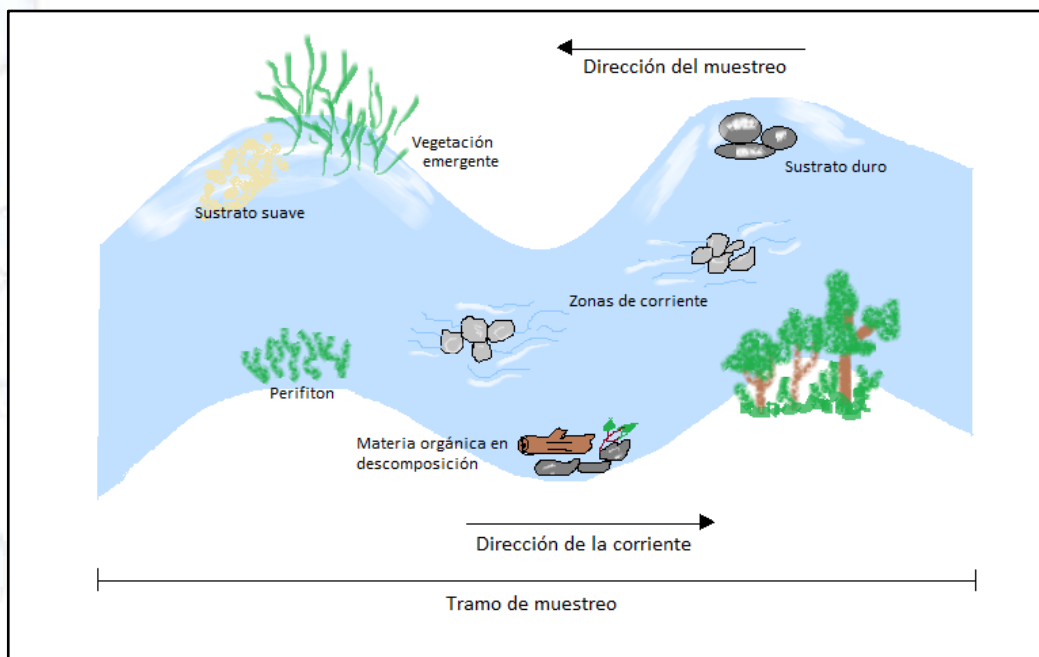


Figura 6. Tipos de hábitats a muestrear macroinvertebrados acuáticos en un área de estudio determinada.

3. Caracterización del sitio de muestreo. Se debe hacer antes de la toma de la muestra una descripción completa del área de estudio. Para la descripción del área se debe preparar un formulario con anticipación (Anexo 1). En este formulario debe contener información como por ejemplo de geo-posicionamiento del área de estudio, temperatura ambiental, temperatura del agua, ancho del río en el tramo muestreado, profundidad máxima de muestreo, entre otros. Se recomienda tomar fotografías del tramo de muestreo, así como el detalle de los hábitats en el tramo, esto puede ser complementado con un diagrama del sitio de muestreo.

4. Se recomienda la evaluación de algunas características fisicoquímicas del agua en el sitio de muestreo, si es posible. Las diferentes características fisicoquímicas que se evalúan en el sitio de estudio permiten establecer la calidad del agua. Algunas de estas características se pueden evaluar con instrumentos sencillos, sin embargo, para algunas características del curso de agua se necesita un medidor multiparámetros, mediante el cual se obtengan características básicas del agua. Entre las principales características que se evalúan con el medidor multiparámetros están el oxígeno disuelto (OD), la temperatura del agua, la turbidez, el pH y la conductividad eléctrica (CE). Con estos diferentes parámetros se puede tener una noción general del estado del ecosistema acuático. También es necesario tomar algunas medidas de las características físicas del río, entre las que están el ancho promedio, la profundidad promedio, la velocidad promedio y el caudal del río. La velocidad del río ( $V$ ) se calcula utilizando un objeto flotante (por ejemplo un limón), el cual se deja caer sobre la superficie y se deja que flote hasta que recorra una distancia conocida ( $D$ ). Al mismo tiempo se mide el tiempo que transcurre cuando el objeto cae en



el agua y recorre la distancia conocida (t) (Figura 7). Se deben tomar como mínimo tres medidas de velocidad y se realizan en tres tramos del río.

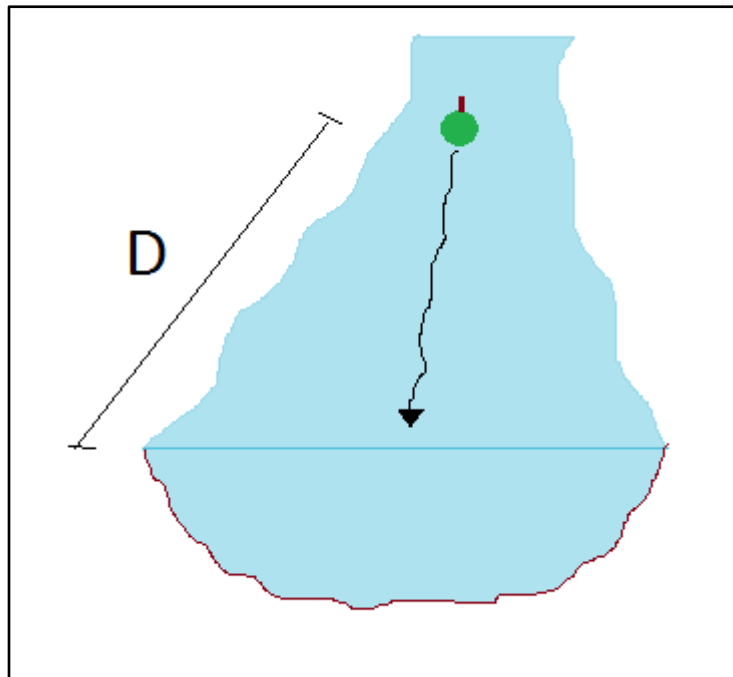


Figura 7. Medición de la velocidad en una corriente utilizando un objeto flotante.

La velocidad se obtiene a través de la siguiente formula:  $v = \frac{D}{t}$

El caudal (Q) aproximado se calcula multiplicando el área transversal media (A) por la velocidad superficial y por un factor de 0,8, a través de las siguientes formulas:

$$Q = 0,8 \cdot A \cdot v$$

Donde  $p$  es la profundidad y  $L$  es el ancho del río en la sección del muestreo.

$$A = p \cdot L$$

Ejemplo:  $D = 10\text{m}$ ,  $t = 6,4 \text{ seg}$ ,  $p = 0,20\text{m}$ ,  $L = 0,40\text{m}$

Velocidad:  $v = 10/6,4 = 1,6 \text{ m/s}$

Area:

$$A = 0,20 \cdot 0,40 = 0,08 \text{ m}^2$$

$$\text{Caudal: } Q = 0,08 \cdot 1,6 = 0,128 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. Toma de las muestras. En el tramo seleccionado se recomienda hacer un mínimo de tres submuestras, identificando cada una por separado. Para cada submuestra se debe muestrear 10 minutos, completando 30 minutos por cada tramo muestreado. En cada submuestra se deben recorrer todos los hábitats reconocidos en el punto 3. Para el caso de los hábitats de sustrato, se deben remover con la mano o pies procurando que todo lo que salga sea atrapado en la red D (Figura 8). En el caso de la vegetación, se



pasa la red para atrapar lo que haya en ella y por último, en el caso de la materia orgánica se debe lavar esta con cuidado procurando que lo que contenga quede atrapado en nuestra red.

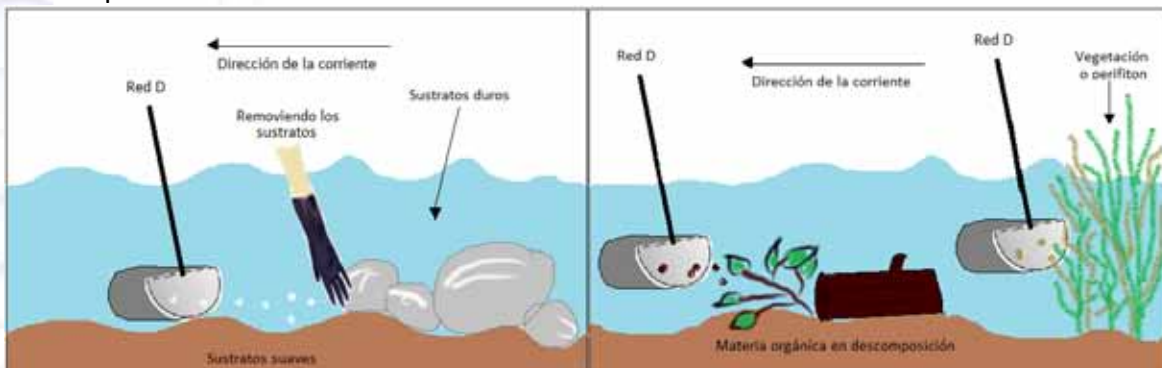


Figura 8. Muestreo con red D en los hábitats existentes en los sistemas de corriente.

6. Separado de las muestras. Cada submuestra debe colocarse en bandejas de fondo blanco para capturar los macroinvertebrados acuáticos. Si la submuestra tiene mucha riqueza de especies, se recomienda hacer este procedimiento por 30 minutos. Los macroinvertebrados capturados deben ser colocados en frascos rotulados y con alcohol al 70%. Las muestras deben ser trasladadas al laboratorio para su posterior análisis.

7.

El procedimiento anterior se puede llevar a cabo también con el uso de un colador (Figura 9). El colador debe tener un diámetro mínimo de 20 cm. En el caso de que solo se utilice el colador en lugar de la red D, se debe muestrear 30 minutos por submuestra, en períodos de 10 minutos. Así, todos los macroinvertebrados acuáticos que van apareciendo son capturados con la ayuda de pinzas y colocados en frascos rotulados y con alcohol al 70%.

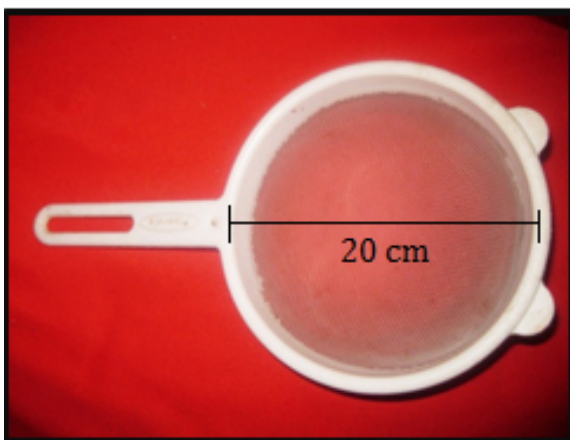


Figura 9. Colador utilizado para la recolecta de macroinvertebrados acuáticos.

### Procesamiento de las muestras

El procesamiento de las muestras comprende la identificación de los macroinvertebrados acuáticos y el recuento de estos. Cada submuestra debe ser colocada en placas de Petri y



se identificara cada individuo hasta el nivel de familia y si es posible a género. Cada taxón debe ser colocado en viales con su correspondiente identificación y el nombre de la persona quién identifica. La identificación de los macroinvertebrados acuáticos se realiza a través de la ayuda de un estereoscopio (Figura 9) y claves taxonómicas disponibles para la región. Todos los viales de una submuestra se colocaran en un frasco rotulado con la información del sitio de muestreo y conteniendo alcohol al 70% (Figura 10). Es importante que estas muestras pasen a formar parte de alguna colección ya existente, o bien para iniciar una colección que pueda servir de referencia para estudios futuros. Adicionalmente, las fotografías de los especímenes colectados pueden servir para iniciar una base de referencia para su clasificación y comparación.



Figura 10. Estereoscopio para la identificación de las muestras y frascos para muestras.

Posterior a la identificación, se deben calcular los índices bióticos elegidos para el estudio (Ver Parte IV). De acuerdo a los valores obtenidos de los índices y su resultado de la calidad de agua, se debe proceder a dar las recomendaciones necesarias para la protección del área de estudio.





# PARTE IV

INDICES BIOTICOS



### Definición

Los índices bióticos son herramientas de valoración de la calidad del agua basados en las diferentes respuestas de los organismos a las alteraciones del medio. Estos índices bióticos son expresiones numéricas basadas en la presencia y en muchos casos, en la diversidad de taxones con tolerancias a la contaminación ya conocidas.

Los índices bióticos presentan la gran ventaja de que dan información de la situación tanto en el momento de la toma de la muestra como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma, esto es, información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas. Uno de los problemas asociados a los índices bióticos es que han sido elaborados para utilizarlos en un área geográfica determinada. Por lo tanto, cada índice debe ser adaptado y validado a una zona específica. Aunado a ello, se requiere adecuar las listas de las familias a la región en estudio.

Los índices bióticos se han vuelto tan populares en ciertos países, que actualmente existe un gran número de alternativas. Entre los más utilizados están el Sistema Saprobio, el BMWP (Biological Monitoring Working Party) desarrollado en Gran Bretaña y el BMWP' adaptado a la Península Ibérica y el IBF (Índice Biótico de Familias) desarrollado por Hilsenhoff (1988) y utilizado en Estados Unidos. Estos índices pueden ser utilizados al nivel taxonómico de familia, género o especie. De hecho, no es necesario cuantificar la abundancia de los grupos y sólo se registra su ausencia o presencia. A cada taxón se le asigna un puntaje de acuerdo a su tolerancia a la contaminación orgánica y la suma del puntaje de cada familia da como resultado el valor del índice que tiene un significado de calidad del agua. A continuación se describen varios índices bióticos que pueden ser calculados en la región.

### BMWP (Biological Monitoring Working Party)

El índice BMWP ha sido adaptado para diferentes países latinoamericanos en base a la fauna local. De acuerdo al índice BMWP adaptado para Colombia, Costa Rica y Cuba y a los estudios en campo y revisiones de literatura López (2008) propuso este mismo índice con algunas variantes para su utilización en Honduras. Los puntajes y valores de tolerancia ya asignados a familias neotropicales se mantienen, lo único que se sugiere es la incorporación de algunas familias que están representadas en el país. Se propone utilizar esta variación del BMWP como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos en Honduras.

El índice BMWP asigna valores altos de puntajes para las familias conocidas como intolerantes (10) a la contaminación y valores bajos (1) para las familias tolerantes a la contaminación (Cuadro 2). La suma de los puntajes de todas las familias viene a ser el valor del BMWP (Anexo 4). Este valor se compra con las clases de calidad de agua que





resultan de sumar la puntuación obtenida de las familias recolectadas en un área determinada (Cuadro 3).

Cuadro 2. Familias de macroinvertebrados acuáticos y valores de tolerancia que se recomiendan se utilicen en el cálculo del BMWP-Hon.

| Familias   | Puntuación |
|--|------------|
| <b>O</b> Polythoridae<br><b>D</b> Blephariceridae, Athericidae<br><b>E</b> Heptageniidae<br><b>P</b> Perlidae<br><b>T</b> Anomalopsychidae, Lepidostomatidae, Odontoceridae, Hydrobiosidae, Ecnomidae  | 10         |
| <b>E</b> Leptophlebiidae<br><b>O</b> Cordulegastridae, Corduliidae, Aeshnidae, Perilestidae<br><b>T</b> Limnephilidae, Calamoceratidae, Leptoceridae, Glossosomatidae<br><b>B</b> Blaberidae   | 8          |
| <b>C</b> Ptilodactylidae, Psephenidae, Lutrochidae<br><b>O</b> Gomphidae, Lestidae, Megapodagrionidae, Protoneuridae, Platystictidae<br><b>T</b> Philopotamidae  | 7          |
| <b>O</b> Libellulidae<br><b>M</b> Corydalidae<br><b>T</b> Hydroptilidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae<br><b>E</b> Euthyplociidae, Isonychidae<br><b>Mo</b> Neritidae  | 6          |
| <b>L</b> Crambidae<br><b>T</b> Hydropsychidae, Helicopsychidae<br><b>C</b> Dryopidae, Hydraenidae, Elmidae<br><b>E</b> Leptohiphidae, Oligoneuriidae, Polymitarciidae, Baetidae<br><b>Cr</b> Crustacea<br><b>Tr</b> Turbellaria<br><b>Mo</b> Thiaridae, Ampullaridae   | 5          |
| <b>C</b> Chrysomelidae, Curculionidae, Haliplidae, Staphylinidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Scirtidae, Noteridae<br><b>D</b> Dixidae, Simuliidae, Tipulidae, Dolichopodidae, Empididae, Muscidae, Sciomyzidae, Ceratopogonidae, Stratiomyidae, Tabanidae<br><b>H</b> Belostomatidae, Corixidae, Naucoridae, Pleidae, Nepidae, Notonectidae<br><b>O</b> Calopterygidae, Coenagrionidae<br><b>E</b> Caenidae<br><b>Hi</b> Hidracarina | 4          |
| <b>C</b> Hydrophilidae<br><b>D</b> Psychodidae<br><b>Mo</b> Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeridae<br><b>A</b> Hirudinea: Glossiphonidae, Hirudidae, Erpobdellidae<br><b>Cr</b> Asellidae  | 3          |
| <b>D</b> Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae  | 2          |
| <b>D</b> Syrphidae<br><b>A</b> Oligochatea (todas las clases)  | 1          |







D, Diptera; E, Ephemeroptera; P, Plecoptera; T, Trichoptera; O, Odonata; C, Coleoptera; M, Megaloptera; H, Hemiptera; L, Lepidoptera; B, Blattodea; Tr, Tricladida; Cr, Crustacea; A, Annelida; Mo, Molusco.

Cuadro 3. Clases de calidad de las aguas según el índice BMWP.





| Clase | Calidad     | Valor           | Significado  | Color           |
|-------|-------------|-----------------|--|-----------------|
| I     | Buena       | >150<br>101-120 | Aguas muy limpias<br>Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible | <b>Azul</b>     |
| II    | Aceptable   | 61-100          | Son evidentes algunos efectos de contaminación                             | <b>Verde</b>    |
| III   | Dudosa      | 36-60           | Aguas contaminadas   | <b>Amarillo</b> |
| IV    | Crítica     | 16-35           | Aguas muy contaminadas   | <b>Naranja</b>  |
| V     | Muy Crítica | <15             | Aguas fuertemente contaminadas   | <b>Rojo</b>     |

Tomado de Alba-Tercedor (1996).

Ejemplos de macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua

| Indicadores de excelente a muy buena calidad de agua                                |  |
|---|--|
|   |   |
| Leptophlebiidae   | Leptoceridae   |
| Indicadores de aguas de calidad buena a regular                                     |  |
|  |  |
| Philopotamidae  | Leptohypidae   |
| Indicadores de aguas de calidad regular a mala                                      |  |



|   |  |
|---|--|
|  |  |
| Hydrophilidae   | Coenagrionidae   |
| Indicadores de aguas de calidad mala a muy mala                                   |  |
|  |  |
| Chironomidae  | Culicidae  |

### Índice Biótico de Familias (IBF)

El Índice Biótico de Familias es un índice también basado en el grado de sensibilidad de los macroinvertebrados acuáticos a la contaminación del agua. Al igual que el BMWP el IBF asigna valores predeterminados de tolerancia a las condiciones de perturbación de la calidad del agua (Cuadro 4). En el IBF los valores cercanos a “0” indican baja tolerancia, mientras que, los valores cercanos a “10” indican alta tolerancia a la contaminación orgánica del agua. Adicional, el IBF considera la abundancia y diversidad de las familias, por lo que se necesita de una aproximación cuantitativa del número de individuos por familia representados en el medio acuático en estudio. En el presente protocolo se recomienda la utilización del Índice Biótico de Familias modificado de El Salvador (IBF-SV), debido a la cercanía geográfica con dicho país. El IBF se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$IBF = 1/N \sum n_i t_i$$

Donde  $n_i$  es el número de individuos en una familia / género,  $t_i$  es el puntaje de tolerancia de cada familia / género y N es el número total de individuos en cada estación (Anexo 4). Los valores obtenidos del IBF se expresan en siete clases de calidad ambiental (Cuadro 5), correspondiente a una escala de condición biológica que fue desarrollada para determinar el grado de contaminación orgánica.

Cuadro 4. Valores de tolerancia de los macroinvertebrados acuáticos utilizados en la determinación de Índice Biótico de Familias (FBI).

| Orden y familias     | Valor de tolerancia | Orden y familias   | Valor de tolerancia |
|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| <b>Acarina</b>       | 5                   | Physidae           | 9                   |
| <b>Amphipoda</b>     | 5                   | <b>Hemiptera</b>   |                     |
| <b>Bivalvia</b>      | 4                   | Pleidae            | 4                   |
| <b>Blatodea</b>      | 3                   | Gerridae           | 6                   |
| <b>Coleoptera</b>    |                     | Belostomatidae     | 7                   |
| Curculionidae        | 6                   | Corixidae          | 5                   |
| Dryopidae            | 4                   | Gelastocoridae     | 5                   |
| Dytiscidae           | 7                   | Mesoveliidae       | 5                   |
| Elmidae              | 4                   | Nepidae            | 5                   |
| Gyrinidae            | 3                   | Ochteridae         | 7                   |
| Hydraenidae          | 5                   | Notonectidae       | 5                   |
| Hydrophilidae        | 7                   | Saldidae           | 5                   |
| Hydrosaphidae        | 4                   | Veliidae           | 5                   |
| Lampyridae           | 3                   | Hebridae           | 6                   |
| Limnichidae          | 5                   | Naucoridae         | 6                   |
| Lutrochidae          | 5                   | <b>Hirudinea</b>   | 7                   |
| Noteridae            | 4                   | <b>Lepidoptera</b> |                     |
| Psephenidae          | 4                   | Crambidae          | 5                   |
| Ptilodactylidae      | 3                   | <b>Megaloptera</b> |                     |
| Scirtidae            | 6                   | Corydalidae        | 7                   |
| Staphylinidae        | 6                   | <b>Nematoda</b>    | 5                   |
| <b>Collembola</b>    | 5                   | <b>Planaria</b>    | 5                   |
| <b>Decapoda</b>      | 6                   | <b>Plecoptera</b>  |                     |
| <b>Diptera</b>       |                     | Perlidae           | 2                   |
| Blepharoceridae      | 0                   | <b>Odonata</b>     |                     |
| Ceratopogonidae      | 8                   | Aeshnidae          | 4                   |
| Chironomidae         | 8                   | Calopterygidae     | 7                   |
| Culicidae            | 10                  | Coenagrionidae     | 9                   |
| Dixidae              | 5                   | Cordulegastridae   | 2                   |
| Dolichopodidae       | 6                   | Corduliidae        | 1                   |
| Empididae            | 6                   | Gomphidae          | 7                   |
| Ephydriidae          | 9                   | Lestidae           | 6                   |
| Muscidae             | 9                   | Libellulidae       | 7                   |
| Psychodidae          | 7                   | Platysticidae      | 1                   |
| Simuliidae           | 6                   | <b>Oligochaeta</b> | 10                  |
| Stratiomyidae        | 6                   | <b>Trichoptera</b> |                     |
| Syrphidae            | 10                  | Calamoceratidae    | 2                   |
| Tabanidae            | 6                   | Glossosomatidae    | 1                   |
| Tipulidae            | 5                   | Helicopsychidae    | 5                   |
| <b>Ephemeroptera</b> |                     | Hydrobiosidae      | 4                   |
| Baetidae             | 6                   | Hydropsychidae     | 5                   |
| Caenidae             | 7                   | Hydroptilidae      | 4                   |
| Heptageniidae        | 3                   | Lepidostomatidae   | 2                   |



|                   |   |                   |   |
|-------------------|---|-------------------|---|
| Leptophlebiidae   | 5 | Leptoceridae      | 4 |
| Leptohyphidae     | 6 | Odontoceridae     | 2 |
| <b>Gastropoda</b> |   | Philopotamidae    | 5 |
| Hydrobiidae       | 4 | Polycentropodidae | 3 |
| Planorbiidae      | 7 | Xiphocentronidae  | 2 |

Modificada de Sermeño *et al.* (2010).

Cuadro 5. Calidad de agua basada en los valores del FBI de Hilsenhoff (1988)

| Clase | FBI          | Calidad del agua   |
|-------|--------------|--------------------|
| I     | 0,00 – 3,75  | Excelente          |
| II    | 3,76 – 4,25  | Muy buena          |
| III   | 4,26 – 5,00  | Buena              |
| IV    | 5,01 – 5,75  | Regular            |
| V     | 5,76 – 6,50  | Relativamente malo |
| VI    | 6,51 – 7,25  | Malo               |
| VII   | 7,26 – 10,00 | Muy malo           |

Modificada de Resh *et al.* (1996).

### EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera)

Existen varios índices bióticos que son los que más se han relacionado con la contaminación orgánica del agua, entre los que se encuentran el EPT, tanto su abundancia como su porcentaje. El EPT se refiere a la presencia de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en el sitio de estudio. Se obtiene sumando la abundancia de individuos presentes en estos órdenes, que se divide por el número total de individuos y se multiplica por cien (Anexo 4). El valor obtenido se compara con los porcentajes de calidad de agua (Cuadro 6).

Cuadro 6. Calidad de agua según el índice EPT

| Porcentaje EPT | Calidad del agua |
|----------------|------------------|
| 75 – 100 %     | Muy buena        |
| 50 – 74 %      | Buena            |
| 25 – 49 %      | Regular          |
| 0 – 24 %       | Mala             |

Tomado de Carrera y Fierro (2001).





# PARTE V

---

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT



### Definición del hábitat

En ecología, el hábitat se define como el lugar donde vive un organismo. Este concepto incluye todos los elementos físicos, químicos y biológicos presentes en el sitio donde habita el organismo. No obstante, para los estudios de calidad de agua se puede restringir a todas las características fisicoquímicas del curso de agua que se esté estudiando y al hábitat ribereño situado alrededor del sitio de muestreo y que pueden afectar la estructura y función de la comunidad acuática.

### Evaluación Visual del Hábitat

La valoración ambiental de los bosques de ribera es de gran importancia debido a que ello permite conocer su estado ecológico y a su vez posibilita la proposición de medidas de restauración y su conservación. Existen numerosas metodologías para la valoración rápida y sencilla del bosque de ribera, principalmente basadas en técnicas de visualización. Actualmente, hay varios índices desarrollados para la evaluación ecológica del bosque de ribera. En el presente protocolo se propone el protocolo SVAP (Stream Visual Assessment Protocol) o Protocolo para la Evaluación Visual de Quebradas. Este protocolo es una tecnología para evaluar la condición ecológica de las quebradas y ríos pequeños, tiende a ser eficiente y no requiere ser implementado por expertos en ciencias acuáticas, ha sido utilizado en países como Colombia, Costa Rica, Estados Unidos y Perú entre otros. El protocolo SVAP combina bien con las metas de programas de biomonitoreo de calidad del agua porque facilita la participación de gente local.

### SVAP

El protocolo SVAP evalúa el hábitat físico de un río mediante la asignación de puntajes entre 1 (muy pobre) a 10 (excelente). Para esta evaluación se usan 15 parámetros, pero en ciertos casos se puede excluir uno o más de éstos, esto cuando alguno no se aplica a un sitio. La evaluación consiste en calificar estos 15 parámetros asignando puntajes altos para cuerpos de agua que tienen condiciones sanas, mientras que se asignan bajos puntajes para agua en mal estado (Anexo 2). Los valores asignados a cada parámetro se promedian y el valor se compara con los criterios establecidos por el SVAP (Cuadro 7). Para el trabajo en el campo se deben llevar las hojas del formulario para la evaluación del hábitat (Anexo 3). Además para completar la información se puede hablar con personas locales para determinar el comportamiento del sistema de corriente en estudio. La toma de fotografías también constituye un gran aliado para la evaluación del hábitat. Los 15 criterios o parámetros que se evalúan son:

1. Apariencia del agua
2. Sedimentos
3. Zona ribereña (ancho y calidad)
4. Sombra
5. Pozas
6. Condición del cauce





7. Alteración hidrológica (desbordes)
8. Refugio (hábitat) para peces
9. Refugio (hábitat) para macroinvertebrados
10. Estabilidad de las orillas
11. Barrera al movimiento de peces
12. Presión de pesca
13. Presencia de desechos sólidos
14. Presencia de estiércol
15. Aumento de nutrientes de origen orgánico

Cuadro 7. Criterios para la valoración de la calidad del hábitat mediante el SVAP

| Ámbito de puntajes | Clase     |
|--------------------|-----------|
| 9,6 a 10           | Excelente |
| 7,7 a 8,5          | Bueno     |
| 6,1 a 7,0          | Regular   |
| 3,1 a 5,3          | Pobre     |
| 1,0 a 2,2          | Muy pobre |

Tomado de Mafla *et al.* 2005.

### Criterios para la valoración del hábitat

A continuación se hace una breve descripción de los parámetros utilizados para la valoración de la calidad del hábitat mediante el SVAP:

#### 1. Apariencia del agua

La apariencia del agua se refiere al color del agua en el momento del estudio. El agua dependiendo de su estado puede presentar diversas coloraciones que van desde verdes, azules y hasta rojos. No obstante, en un curso de agua en buen estado el agua debe ser transparente, donde se pueda ver el fondo del río o quebrada. Cuando el agua presenta un color turbio se debe al transporte de sedimentos. La turbidez puede aumentar en periodos de fuerte lluvia, sin embargo, si la turbidez persiste por varios días puede ser indicativo del deterioro de la zona ribereña en las partes altas por deforestación o malas prácticas de agricultura, o por alguna fuente puntual de contaminación.

#### 2. Sedimentos

Los sedimentos en el agua se refiere a la cantidad de material sólido que es transportado por la corriente y que tienden a ser depositados en el fondo del río o quebrada. El aumento de los sedimentos en el agua se debe a la erosión del suelo debido a la deforestación, tala inmoderada, cambios en el uso del suelo y sobrepastoreo, entre otros. La sedimentación conlleva a la pérdida en la profundidad de dichos sistemas acuáticos originando la pérdida de pozas y por lo tanto hábitats para organismos acuáticos. Un incremento en la sedimentación también conlleva a un cambio en la apariencia del agua.

#### 3. Zona ribereña (ancho y calidad)

La zona ribereña es el segmento de vegetación alrededor del río en ambas orillas en el punto de muestreo (Figura 9). Esta zona puede estar compuesta por árboles, arbustos,

hierbas y zacate. La destrucción de las plantas en los márgenes de los ríos aumenta la posibilidad de desbordes e inundaciones. Las raíces de las plantas brindan cierta estabilidad al cauce del río y proporciona hábitat para peces y macroinvertebrados.

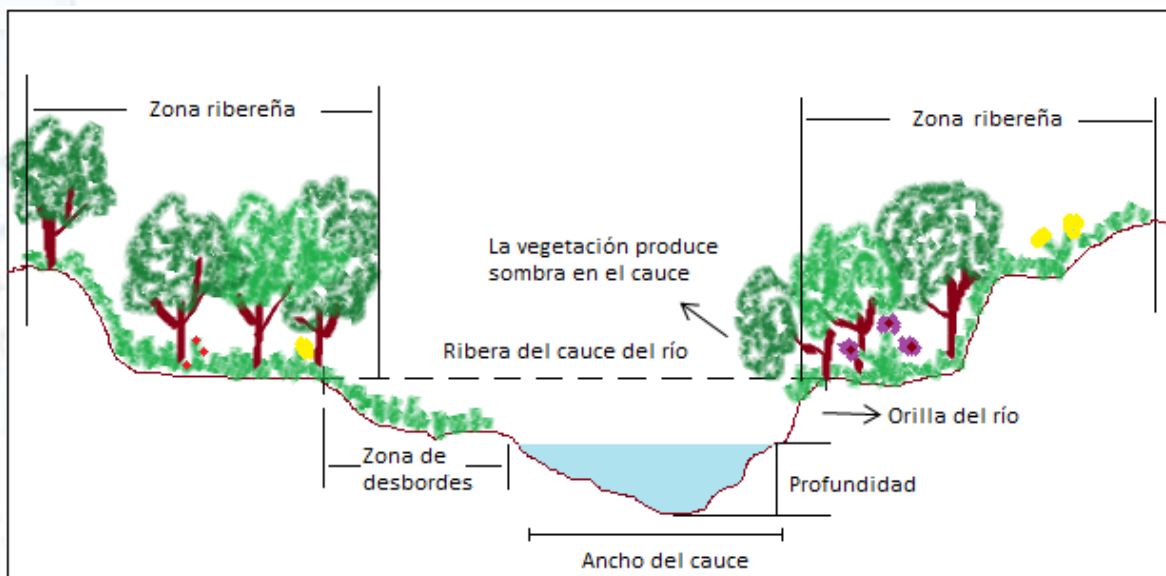


Figura 9. Zona ribereña de un río

#### 4. Sombra

La sombra se refiere a la falta de luz que llega a la corriente, producida por la vegetación natural que se encuentra en las orillas de los ecosistemas acuáticos inalterados (Figura 9). La falta de sombra sobre el agua lleva a una elevación de la temperatura en el agua que ocasiona una reducción del oxígeno. La vegetación además es fuente directa de alimento para los organismos que viven en las corrientes.

#### 5. Pozas

Las pozas son las partes donde el río es más hondo y la circulación del agua es más lenta. Este es un buen lugar para que muchos peces puedan descansar, esconderse y alimentarse. Se reconocen varios tipos de pozas: lenta y profunda, lenta y poca profunda, rápida y profunda y rápida y de poca profundidad.

#### 6. Condición del cauce

La condición del cauce se refiere al estado natural de curvas y meandros que tiene los ríos y quebradas y que se forman con el paso del agua. Esta característica distribuye la energía en el ambiente acuático y crea hábitats propicios para los organismos acuáticos.

#### 7. Alteración hidrológica (desbordes)

La alteración hidrológica se relaciona con las inundaciones y crecidas de los ríos (Figura 9). Estos efectos son importantes para el ecosistema acuático ya que distribuyen los nutrientes y los sedimentos en las corrientes.

#### 8. Refugio (hábitat) para peces

El refugio para peces mide la disponibilidad del hábitat físico para los peces. Entre los diferentes tipos de refugio para peces se pueden citar troncos, ramas, vegetación inclinada sobre la quebrada, piedras muy grandes o medianas, rápidos pequeños, orillas socavadas, alfombras gruesas de raíces, alfombras densas de macrófitas, pozas aisladas



que presentan retorno de agua, entre otros. La capacidad del ecosistema acuático para mantener una comunidad de peces sanos y su aptitud para recuperarse de perturbaciones depende de la variedad y abundancia de hábitats adecuados y la cubierta vegetal disponible.

#### **9. Refugio (hábitat) para macroinvertebrados**

El refugio para macroinvertebrados es una característica importante de la capacidad de los ecosistemas acuáticos de albergar animales invertebrados acuáticos. Una alta variedad de hábitats en las corrientes puede ser indicativo de una alta variedad de macroinvertebrados acuáticos. Entre los principales refugios de macroinvertebrados están ramas, macrófitas sumergidas, troncos sumergidos, hojarasca, orillas socavadas, piedras pequeñas, piedras grandes, piedra grava, etc.

#### **10. Estabilidad de las orillas**

La estabilidad de las orillas se refiere a la posibilidad de que los bordes de las corrientes se erosionen o caigan. Lo anterior, se produce cuando se degradan las zonas ribereñas o donde la corriente es inestable debido a cambios en la hidrología.

#### **11. Barrera al movimiento de peces**

Las barreras para el movimiento de peces y otros organismos acuáticos se refiere a las obstrucciones en las corrientes que no permiten la libre circulación de estos organismos. Es por eso que la construcción de represas y alcantarillados, entre otros, pueden tener un efecto negativo en la composición de los organismos acuáticos.

#### **12. Presión de pesca**

La presión de pesca hace referencia a la frecuencia de pesca en un río o arroyo. Si la pesca es frecuente puede haber una alteración en la composición de las comunidades acuáticas.

#### **13. Presencia de desechos sólidos**

Este criterio se refiere básicamente a la cantidad de basura que podemos encontrar en los ecosistemas acuáticos. Esta basura afecta los ecosistemas acuáticos tanto visualmente como químicamente.

#### **14. Presencia de estiércol**

La presencia de estiércol es la materia fecal que depositan los animales domésticos en el agua. El estiércol afecta los ecosistemas acuáticos ya que contamina el agua afectando las comunidades de organismos acuáticos que allí habitan.

#### **15. Aumento de nutrientes de origen orgánico**

El enriquecimiento de nutrientes en los ecosistemas acuáticos se refleja en el tipo y cantidad de vegetación en estos. Un incremento en los nutrientes origina un exceso de algas y macrófitas flotantes y sobre las piedras, formando una capa verde sobre éstas.



## GLOSARIO

**Atarraya:** Tipo de red grande para pesca, que se lanza en movimiento circular, desde pequeñas embarcaciones o las playas para coger peces de tamaño pequeño y mediano.

**Autodepuración:** Acción parcial de "autolimpieza" de un ambiente acuático en el tiempo, a partir de la descarga de un contaminante.

**Biodiversidad:** La variabilidad de organismos vivos.

**Coliformes:** Microorganismos indicadores de contaminación fecal.

**Contaminación orgánica:** Contaminantes de origen doméstico, industrial, agrícola y ganadero.

**Cosmopolita:** Se refiere a organismos con una distribución amplia alrededor del mundo.

**Deforestación:** Reducción o desaparición de los bosques.

**Dulceacuícola:** Ambientes de agua dulce.

**Ecosistema:** Comunidad integrada por un conjunto de seres vivos interrelacionados y por el medio que habitan.

**Erosión:** Proceso en que el agua va quitando partículas de tierra del suelo. Cuando hay mucha erosión, la tierra es arrastrada activamente por el agua.

**Escorrentía:** Agua de lluvia que fluye por el terreno.

**Evapotranspiración:** Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

**Eutrofización:** Proceso natural en ecosistemas acuáticos, especialmente en lagos, caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos.

**Hábitat:** Las condiciones físicas y biológicas que un organismo necesita (para protección, reproducción, comida y descanso) para desarrollarse activamente.

**Hojarasca:** Conjunto de las hojas que han caído de los árboles.

**Larva:** Animal en estado de desarrollo, cuando ha abandonado las cubiertas del huevo y es capaz de nutrirse por sí mismo, pero aún no ha adquirido la forma y la organización propia de los adultos de su especie.

**Límites de tolerancia:** Condiciones extremas que es capaz de soportar un organismo.

**Lótico:** Hábitat de agua con corriente, incluye todas las partes del curso de los ríos: los arroyos y manantiales de su cabecera, la zona central del valle, con sus remansos y sus rápidos, la zona de la llanura aluvial y los estuarios que vierten sus aguas al mar.

**Mesotrófico:** Cuerpos de agua que contienen moderada cantidad de nutrientes.

**Ninfa:** Insecto que ha pasado ya del estado de larva y prepara su última metamorfosis.

**Oligotrófico:** Cuerpo de agua con pocos nutrientes.

**Perturbación antropogénica:** Alteración del medio ambiente causada por la acción del ser humano.

**Ribera:** Área que está directamente a los lados de la quebrada y se extiende por 50 metros.

**Sedentarios:** Organismos que permanecen en el mismo lugar donde nacieron.

**Sedimentos:** Partículas pequeñas de tierra o piedra que se suspenden en el agua o cubren el fondo de la quebrada.



**Socavar:** Excavar por debajo de las orillas del río o quebrada, dejándolas en falso o sin apoyo, es decir, forman “cuevas” en las orillas bajo el agua.

**Sustrato:** Material que se deposita en el fondo o lecho del río y que puede ser de arcilla, piedras, rocas, arena y partículas orgánicas entre otros materiales.

**Trasmallo:** Arte de pesca formado por tres redes, más tupida la central que las exteriores superpuestas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguasclaras. 2008. Macroinvertebrados bentónicos registrados en río Caren: cuerpo receptor asociado a Proyecto “Piscicultura Alto Caren”. Región de la Araucanía, Chile. Temuco. 16 p.
- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Memorias IV Simposio del Agua en Andalucía. Almería 2: 203-213.
- Alba-Tercedor, J. y A. Sánchez-Ortega. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Limnética 4: 51-56.
- Albariño, R. 1999. Informe sobre la Obtención de Indicadores de Calidad de Sistemas Acuáticos de Montaña en relación a la Actividad Forestal. Universidad Nacional del Comahue. 10 p.
- Arce, M.F. y M.A. Leiva. 2009. Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo. Tesis para optar por el grado de Ingeniero en Gestión Ambiental. Universidad Técnica Particular de Loja. 93 p.
- Audesirk, T. y G. Audesirk. 1996. Biología: La vida en la Tierra. 4° edición. Prentice Hall Hispanoamérica, México. 947 p.
- Baron, J.S., N. L. Poff, P.L. Angermeier, C.N. Dahm, P.H. Gleick, N.G. Hairston, Jr., R.B. Jackson, C.A. Johnston, B.D. Richter y A.D. Steinman. 2003. Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables. Tópicos en Ecología 10: 1-18.
- Carrera, C. y K. Fierro. 2001. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: Manual de monitoreo. EcoCiencia. Quito, Ecuador. 67 p.
- Chen, E. y E. Morales. 2010. Evaluación de la calidad del agua y el efecto de la técnica de recolecta de macro-invertebrados acuáticos, en el “Corredor Biológico de Uso Múltiple Texiguat”, El Paraíso, Honduras. Tesis para optar por el grado de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente con el grado académico de Licenciatura. 79 p.
- Confederación Hidrográfica del Ebro. 2005. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva MACRO del agua: Protocolos de muestreos y análisis para invertebrados bentónicos. URS. 59 p.
- Congreso Nacional. 2007. Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto No. 156-2007). Poder Legislativo. 86 p.
- Echarri, L. 1998. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Libro electrónico. Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián, Universidad de Navarra. Navarra, España. 200 p. Internet Webpage: <http://www.esi.unav.es/Asignaturas/Ecologia/Hiper texto/00General/IndiceGral.html>. (Consultada: junio 2011)
- Echarri, L. 2007. Contaminación del agua. Población, Ecología y Ambiente. Universidad de Navarra. 26 p.
- Florencio, K.Z. 2007. Mediciones de calidad de agua en las microcuencas de la zona de amortiguamiento del Santuario Nacional Tabaconas Namballe: Informe. Programa de Apoyo al Desarrollo Sostenible de la Zona de Influencia del Santuario Nacional



- Tabaconas Namballe, en la Provincia de San Ignacio, Departamento de Cajamarca. Perú. 107 p.
- Gallardo-Mayenco, A. y E. Shaw. 2008. Calidad del agua en el arroyo Guadalquitón y otros cauces de San Roque: Aplicaciones de los índices IBMWP e IASPT. *Almoraima* 37: 85-95.
- Georgia Adopt-A-Stream. 1994. Manual de Monitoreo Biológico y Químico en Arroyos. Department of Natural Resources. Environmental Protection Division. Georgia. 64 p.
- Georgia Adopt-A-Stream. 2004. Muestreo Visual de Arroyos. Department of Natural Resources. Environmental Protection Division. Georgia. 71 p.
- González, M., D. García, F. Lara y R. Garilleti. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Ingeniería Civil*: 97-108.
- Granados, D., M.A. Hernández y G.F. López. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12: 55-59.
- Guerrero, L. y F. Sandoval. 2006. Colombia: los recursos hídricos y el marco legal. *Revista Virtual Vía Inveniendi Et Iudicandi "Camino Del Hallazgo Y Del Juicio"*. Disponible en: [http://www.usta.edu.co/programas/derecho/revista\\_inveniendi/revista/imgs/HTML/revistavirtual/](http://www.usta.edu.co/programas/derecho/revista_inveniendi/revista/imgs/HTML/revistavirtual/).
- Giacometti, J.C. y F. Bersosa. 2006. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Serie Zoológica* 2: 17-32.
- Gutiérrez Fonseca, P.E. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. *En: Springer, M. & J.M. Sermeño Chicas (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador.* 64 p.
- Hellawell, J. 1986 *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier applied science London and New York 546 p.
- Hauer, F.R. y G.A. Lamberti (eds.). 1996. *Stream Ecology*. Academic Press, Inc. San Diego, California. 674 p.
- Hauer, F.R. y V.H. Resh. 1996. Benthic Macroinvertebrates. Pp. 339-369. *In: F.R. Hauer y G.A. Lamberti (eds.) Stream Ecology*. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Herbas, R.C., F. Rivero y A. Gonzales. 2006. Indicadores biológicos de calidad de agua. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia. 21 p.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assesment of organic pollution with a familily level biotic index. *J. North Amer. Benthol. Soc.* 7: 65-68.
- Jáimez-Cuéllar, P., S. Vivas, N. Bonada, S. Robles, A. Mellado, M. Álvarez, J. Avilés, J. Casas, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, C.E Sáinz-Cantero, A. Sánchez-Ortega, M.L. Suárez, M. Toro, M.R. Vidal-Abarca, C. Zamora-Muñoz y J. Alba-Tercedor. 2002. Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnética* 21: 187-204.
- López, L.I. 2008. Análisis y valoración de cuatro índices bióticos mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Tesis de



- Maestría para optar por el grado de Magister Scientiae en Biología. Universidad de Costa Rica. 150 p.
- Mafla, M. 2005. Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca. Turrialba, Costa Rica. 87 p. Disponible en: [http://www.catie.ac.cr/CatieSE4/BancoMedios/Documentos%20PDF/guia\\_evaluaciones.pdf](http://www.catie.ac.cr/CatieSE4/BancoMedios/Documentos%20PDF/guia_evaluaciones.pdf)
- Márquez, M.J., E. Martínez y J.V. Rovira. 2001. Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. *Ecotoxicology and Environmental Restoration* 4: 25-31.
- McLarney, W. y M. Mafla. 2007. Biomonitorio de Ríos en las Cuencas Estrella, Sixaola y Cuencas Costeras en el Caribe sur de Costa Rica / Panamá. Informe. Asociación ANAI. Talamanca, Costa Rica. 39 p.
- Méndez, J. 2002. Agua, aire y tierra: elementos vulnerables frente al fuego. *ContactoS* 47: 20-27.
- Merritt, R.W. y K.W. Cummins (eds.). 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3ª Ed. Kendall/Hunt Publishing Company, E.E. U.U. 862 p.
- Naranjo, C., D.D. González, G. Garcés, A.L. Brandimarte, S. Muñoz y Y. Musle. 2005. Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cub para ríos cubanos. *Ternura* 17: 65-76.
- Orive, E. y A. Rallo. 2002. Ríos de Bizkaia. Instituto de Estudios Territoriales de Biskaia. Estudios Gráficos ZURE, S.A. 258 p.
- Pacheco-Chaves, B. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador. *En: Springer, M. & J.M. Sermeño Chicas (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 49 p.*
- Prat, N., A. Munné, M. Rieradevall, C. Solá, y N. Bonada. 1999. Protocolo para determinar el ESTADO ECOLÓGICO de los ríos Mediterráneos. *EcoBill*. 36 p.
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta y M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Pp. 631-634. *In: E. Domínguez y H.F. Fernández (eds): Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Tucumán, Argentina.*
- Presidencia de la República. 2011. Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales. 57 p.
- Resh, V.H., M.J. Myer y M.J. Hannaford. 1996. Macroinvertebrates as biotic Indicators of Environmental Quality. Pp. 647-667. *In: F.R. Hauer y G.A. Lamberti (eds.) Stream Ecology. Academic Press, Inc. San Diego, California.*
- Resh, V., R. Norris y M. Barbour. 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian J. Ecology* 20: 108-121.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. FEN Colombia. Bogotá, Colombia. 217 p.





- Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 529 p.
- Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 23: 375-387.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia. Colombia. 169 p.
- Rosemberg, D. y V. Resh. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate*. Chapman Hall Publ N° 420: 330-354.
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. 2003. La Situación de los Recursos Hídricos en Honduras. Dirección General de Recursos Hídricos Comité Regional de los Recursos Hidráulicos del Istmo Centro Americano. 49 p.
- Secretaría de Salud. 1995. Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable. *Diario Oficial La Gaceta*. 17 p.
- Secretaría de Salud. 2010. Norma Técnica Nacional para Regular los Usos de los Cuerpos Naturales de Agua. CESCO y Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua. 27 p. Borrador.
- Segretin, M.E. s.a. Biomonitoring ambiental y tratamiento de efluentes. CONICET – FECyN/UBA. *ArgenBio*. 8 p. Disponible en: <http://www.argenbio.org/adu/uploads/pdf/Biomonitoring%20y%20tratamiento%20de%20efluentes.pdf>.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos* 16: 45-63.
- Segnini, S. y M.M. Chacón. 2005. Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la Cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotrópicos* 18: 38-61.
- Sermeño Chicas, J. M. *et. al.* 2010. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). *En: Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos*. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 43 p.
- Sermeño Chicas, J.M., D. Pérez, S.M. Muños Aguillón, L. Serrano Cervantes, A. W. Rivas Flores y A.J. Monterrosa Urias. 2010. Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red “D” en ríos de El Salvador. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 26 p.
- Smock, L.A. 1996. Macroinvertebrates Movements: Drift, Colonization, and Emergence. Pp. 371-390. *In: F.R. Hauer y G.A. Lamberti (eds.). Stream Ecology*. Academic Press, INc. San Diego, California.
- Springer, M. 2006. Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54: 273-286.
- Springer, M. y P. Hanson (eds.). 2011. Artrópodos de agua dulce de Costa Rica; Volumen II: Tardigrada, Hidracarina, Crustácea, Mollusca. *Rev. Biol. Trop. Supplement.* (en revisión).



- Springer, M. y P. Hanson (eds.). 2011. Artrópodos de agua dulce de Costa Rica. Volumen I: Insecta. Rev. Biol. Trop. Supplement. (en revisión)
- UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida: Resumen. Mundi-Prensa Libros. París, Francia. 36 p.
- USDA. 1998. Stream Visual Assessment Protocol. National Water and Climate Center Technical Note 99-1: 1-42.



# ANEXOS

---



### Anexo 1. Hoja de toma de datos

#### INFORMACIÓN GENERAL

Recolectores: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_

Técnica de muestreo: \_\_\_\_\_ Colador \_\_\_\_\_ Red D \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_

#### INFORMACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Nombre del río: \_\_\_\_\_ Estación: \_\_\_\_\_ N° submuestra \_\_\_\_\_

Ubicación (Departamento, Municipio, Cantón, Caserío, Lugar): \_\_\_\_\_

Uso del Curso de Agua: \_\_\_\_\_

Coordenadas GPS: \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_ Altitud: \_\_\_\_\_

Descripción del área adyacente: \_\_\_\_\_

(Bosque, potreros, viviendas, humedales, etc.)

Condiciones Ambientales: \_\_\_ Soleado \_\_\_ Lluvioso \_\_\_ Nublado \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

Condición del río: \_\_\_\_\_

(Parece estar contaminado, hay peces o plantas en el agua, se ven algas creciendo en el agua)

#### INFORMACIÓN CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Temperatura del Ambiente: \_\_\_\_\_ ° C. Temperatura del Agua: \_\_\_\_\_ ° C.

pH: \_\_\_\_\_ Conductividad: \_\_\_\_\_ S/cm, Turbidez del agua \_\_\_\_\_

Oxígeno Disuelto: \_\_\_\_\_ mg/l. \_\_\_\_\_ % de saturación O<sub>2</sub>

Ancho aproximado: \_\_\_\_\_ m. Profundidad aproximada \_\_\_\_\_ m, (parte más profunda del río)

Velocidad del agua: \_\_\_ rápido \_\_\_ moderado \_\_\_ lento \_\_\_ estancado. Si es medida  $\bar{X}$  \_\_\_\_\_ m/s

(Velocidad: D<sub>1</sub>=\_\_\_\_\_ t<sub>1</sub>=\_\_\_\_\_ V<sub>1</sub>=\_\_\_\_\_, D<sub>2</sub>=\_\_\_\_\_ t<sub>2</sub>=\_\_\_\_\_ V<sub>2</sub>=\_\_\_\_\_, D<sub>3</sub>=\_\_\_\_\_ t<sub>3</sub>=\_\_\_\_\_ V<sub>3</sub>=\_\_\_\_\_)

Tipo de sustrato: \_\_\_\_\_ concreto \_\_\_\_\_ piedras-arena gruesa \_\_\_\_\_ arena \_\_\_\_\_ arcillo-lodoso

Rocas: \_\_\_\_\_ muy grandes \_\_\_\_\_ grandes \_\_\_\_\_ medianas \_\_\_\_\_ pequeñas

Superficie de las Rocas: \_\_\_\_\_ limpia \_\_\_\_\_ con crecimiento de Periphyton (algas) \_\_\_\_\_ musgo

En el Sitio hay: \_\_\_\_\_ Hojarasca \_\_\_\_\_ troncos y ramas sumergidas \_\_\_\_\_ raíces sumergidas

Otra fauna: \_\_\_\_\_ renacuajos \_\_\_\_\_ peces \_\_\_\_\_ otros

Color del agua: \_\_\_\_\_ Olor: \_\_\_\_\_ Claridad del agua: \_\_\_\_\_

(Turbia, clara, lodosa, se pueden ver partículas suspendidas en el agua)



Presencia de: \_\_\_\_ desechos orgánicos \_\_\_\_ espumas \_\_\_\_ aceites \_\_\_\_ organismos muertos  
\_\_\_\_ desechos sólidos. Otra observación \_\_\_\_\_

Tipo de vegetación de la orilla: \_\_\_\_\_

Vegetación dentro del agua: \_\_\_\_\_

Exposición: \_\_\_\_ 100% Sombra, \_\_\_\_ Sombra con ventanas, \_\_\_\_ Grandes Claros, \_\_\_\_ 100% abierto

#### DIAGRAMA DEL PUNTO DE MUESTREO

(Indique rápidos, pozas, cascadas, sustratos, vegetación de ribera, etc.)

**Anexo 2. Criterios de puntuación para la evaluación visual del hábitat**

| Criterio                                 | Valores                              |   |   |   |   |
|--|--------------------------------------|---|---|---|---|
|  | 10                                   | 7   | 5   | 3   | 1   |
| Apariencia del agua                      | Muy clara                            | Algo turbia   |   | Bastante turbia   | Muy turbia  |
| Sedimentos (Remover el fondo)            | El agua se mantiene clara            | 2 seg mientras se aclara el agua                      | 5 seg mientras se aclara el agua            | 8 seg mientras se aclara el agua                        | No se aclara el agua                                  |
| Zona ribereña (ancho y calidad)          | Bosque primario en toda la orilla    | Parches de algún tipo de árboles                      | Franjas de pocos árboles                    | Plantaciones en las orillas                             | Potreros en las orillas                               |
| Sombra                                   | 100% de sombra sobre el cauce        | 75% de sombra sobre el cauce                          | 50% de sombra sobre el cauce                | 25% de sombra sobre el cauce                            | No hay sombra   |
| Pozas                                    | Abundancia todo tipo de pozas        | Poca presencia de pozas (3 a 4)                       |   | Presencia de pozas no profundas (2 a 4)                 | No hay pozas  |
| Condición del cauce                      | Cauce natural no hay sedimentación   | Evidencia de alteración en el cauce                   |   | El cauce ha sido modificado                             | El cauce está completamente modificado                |
| Alteración hidrológica (desbordes)       | Ocurren una o varias veces al año    | Ocurren cada uno o dos años                           |   | Ocurren cada tres o cinco años                          | No hay desbordes                                      |
| Refugio para peces                       | Más de siete tipos de refugio        | Seis o siete tipos de refugio                         | Cuatro o cinco tipos de refugio             | Dos o tres tipos de refugio                             | Cero o un tipo de refugio                             |
| Refugio para macroinvertebrados          | Cinco o más tipos                    | Tres o cuatro tipos                                   |   | Uno o dos tipos   | Cero o un tipo de hábitats presentes                  |
| Estabilidad de las orillas               | Estables, raíces de árboles protegen | Moderadamente, las orillas se erosionan en las curvas |   | Inestables, algunas raíces expuestas y árboles cayendo  | Inestables, muchos árboles cayendo                    |
| Barrera al movimiento de peces           | No hay barreras                      | Obstrucciones hechas por el ser humano                |   | Alcantarillas o puentes                                 | Represas o desviaciones del agua                      |
| Presión de pesca                         | Nadie pesca ahí                      | La pesca es poco frecuente, no se usan redes          |   | Se pesca con anzuelo o atarraya, pocas veces con veneno | Pesca indiscriminada con veneno y trasmallo           |
| Presencia de desechos sólidos            | No hay evidencia de basura           | Presencia de desechos sólidos                         | Presencia de desechos sólidos (1 o 2 tipos) | Presencia moderada de basura (más de 3 tipos)           | Abundancia de basura                                  |
| Presencia de estiércol                   | No hay evidencia cerca del río       | Ganado en las riberas sin acceso al río               |   | Estiércol o ganado en el río                            | Mucho estiércol o tuberías que descargan aguas negras |
| Aumento de nutrientes de origen orgánico | No hay algas filamentosas            | Crecimiento moderado de algas                         |   | Abundancia de algas filamentosas, aguas verdes          | Exceso de algas, aguas verdes celestes o gris o cafés |

Tomado de Arce y Leiva (2009)



**Anexo 3.** Puntuación de la evaluación visual de ríos o quebradas

Nombre de investigador: \_\_\_\_\_

Código del sitio: \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

- Apariencia del agua
- Sedimentos
- Zona ribereña (ancho y calidad)
- Sombra
- Pozas
- Condición del cauce
- Alteración hidrológica (desbordes)
- Refugio (hábitat) para peces
- Refugio (hábitat) para macroinvertebrados
- Estabilidad de las orillas
- Barrera al movimiento de peces
- Presión de pesca
- Presencia de desechos sólidos
- Presencia de estiércol
- Aumento de nutrientes de origen orgánico

\_\_\_\_\_ Puntuación total / N° de criterios evaluados = \_\_\_\_\_ Puntuación del punto de muestreo

| Ámbito de puntajes | Clase     |
|--------------------|-----------|
| 9,6 a 10           | Excelente |
| 7,7 a 8,5          | Bueno     |
| 6,1 a 7,0          | Regular   |
| 3,1 a 5,3          | Pobre     |
| 1,0 a 2,2          | Muy pobre |



**Anexo 4.** Ejemplos de los cálculos de los índices bióticos: BMWP-Hon, IBF-SV y EPT

| Grupos taxonómicos           | Abundancia | Valor de tolerancia |
|------------------------------|------------|---------------------|
| Diptera-Chironomidae         | 136        | 1                   |
| Trichoptera- Hydroptilidae   | 3          | 6                   |
| Odonata-Coenagrionidae       | 2          | 4                   |
| Ephemeroptera- Leptohiphidae | 60         | 5                   |
| <b>Abundancia total</b>      | <b>201</b> | <b>BMWP-Hon=16</b>  |

Resultado calidad del agua según BMWP-Hon: CRITICA, aguas muy contaminadas

| Grupos taxonómicos              | Abundancia | Valor de tolerancia | Abun*Toler | <u>(Abun*Toler)</u><br>Total |
|---------------------------------|------------|---------------------|------------|------------------------------|
| Diptera-Chironomidae            | 136        | 8                   | 1088       | 5,41                         |
| Trichoptera- Hydroptilidae      | 3          | 4                   | 12         | 0,06                         |
| Odonata-Coenagrionidae          | 2          | 9                   | 18         | 0,09                         |
| Ephemeroptera-<br>Leptohiphidae | 60         | 6                   | 360        | 1,79                         |
| <b>Abundancia total</b>         | <b>201</b> |                     |            | <b>IBF-SV= 7,35</b>          |

Resultado calidad del agua según IBF-SV: MUY MALA

| Grupos taxonómicos           | Abundancia | EPT presentes                        |
|------------------------------|------------|--------------------------------------|
| Diptera-Chironomidae         | 136        |                                      |
| Trichoptera- Hydroptilidae   | 3          | 3                                    |
| Odonata-Coenagrionidae       | 2          |                                      |
| Ephemeroptera- Leptohiphidae | 60         | 60                                   |
| <b>Abundancia total</b>      | <b>201</b> | <b>63</b>                            |
| <b>EPT</b>                   |            | $63/201 = 0.31$<br>$0.31*100 = 31\%$ |

Resultado calidad del agua según EPT: REGULAR





