

Ciencias Químicas

Artículo Científico

## Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba

*Determination of water quality indicators and protocols in the Baba Hydroelectric Power Station*

*Determinação de indicadores e protocolos de qualidade de água em Embalse do Baba central de Hidroeléctrica*

Miguel I. Viteri-Garcés <sup>I</sup>  
Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
[miguel\\_viteri@yahoo.com](mailto:miguel_viteri@yahoo.com)

Judith A. Chalen-Medina <sup>II</sup>  
Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
[judith.chalenm@ug.edu.ec](mailto:judith.chalenm@ug.edu.ec)

Zoila L. Cevallos-Revelo <sup>III</sup>  
Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
[zoila.cevallosre@ug.edu.ec](mailto:zoila.cevallosre@ug.edu.ec)

**Recibido:** 30 de enero de 2017 \* **Corregido:** 20 de febrero de 2017 \* **Aceptado:** 20 mayo de 2017

- I. Magister en Ingeniería Ambiental; Biólogo; Universidad de Guayaquil.
- II. Magister en Ingeniería Ambiental; Ingeniera Química; Universidad de Guayaquil.
- III. Magister en Ingeniería Ambiental; Ingeniera Química, Universidad de Guayaquil.

## **Resumen.**

La Central Hidroeléctrica Baba se encuentra en el Cantón Buena Fé, Provincia de Los Ríos, a 10 Km de la confluencia de los ríos Baba y Toachi, pertenecientes a la cuenca del río Guayas. Forma parte del Proyecto Multipropósito Baba, obra que incrementa la oferta de energía hacia el parque generador hidroeléctrico, además de mitigar las inundaciones provocadas por el río Baba y aumentar la red de distribución de agua para el desarrollo agrícola en época de verano. La construcción de embalses destinados a la generación de energía a través de las centrales hidroeléctricas puede ocasionar efectos negativos para los ecosistemas fluviales. Con el fin de proteger la calidad del recurso agua de estos sistemas intervenidos, el estado ecuatoriano ha establecido criterios técnico-ambientales para prevenir y controlar la contaminación del agua, uno de ellos basado en la utilización de comunidades biológicas como bioindicadores, Sin embargo, no estipula métodos específicos para el muestreo de estos parámetros.

El presente estudio es una guía que establece metodologías para el monitoreo de organismos bioindicadores (fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, macrobentos y peces) y de parámetros físico-químicos que permitan obtener el índice de calidad del agua (ICA) y el grado de eutrofización que determinarán el grado de contaminación del embalse Baba, además de la determinación de puntos de muestreo estratégicos, con el fin de mejorar la gestión e implementar programas para la prevención de la contaminación que genera esta actividad.

**Palabras Clave:** Bioindicadores; calidad de agua; embalse; guía técnica; monitoreo.

### **Abstract.**

The Baba Hydroelectric Power Plant is located in the Cantón Buena Fé, Province of Los Ríos, 10 km from the confluence of the Baba and Toachi rivers, belonging to the Guayas river basin. It is part of the Baba Multipurpose Project, a project that increases the supply of energy to the hydroelectric generating park, in addition to mitigating the floods caused by the Baba River and increasing the water distribution network for agricultural development in the summer. The construction of dams for the generation of energy through hydroelectric plants may cause negative effects on river ecosystems. In order to protect the quality of water resources of these systems operated, the Ecuadorian state has established technical and environmental criteria to prevent and control water pollution, one based on the use of biological communities as bioindicators, however, not provides specific protocols for sampling of these parameters.

This study is a guide with establishes methodologies for monitoring bioindicator organisms (phytoplankton, zooplankton, ichthyoplankton, macrobenthos and fishes) and physical-chemical capable of achieving the water quality index (WQI) and the degree of eutrophication that determine the degree of parameters Baba pollution reservoir, besides determining strategic sampling points in order to better manage and implement programs for the prevention of pollution generated by this activity.

**Key words:** Bioindicators; water quality; reservoir; technical guide; monitoring.

### **Resumo.**

La Central Hidroeléctrica Baba se encontra no Cantão Buena Fé, Provincia de Los Ríos, a 10 Km da confluência dos ríos Baba y Toachi, pertenecientes à la cuenca do rio Guayas. Forma parte del Proyecto Multipropósito Baba, obra que incrementa a oferta de energia para o parque gerador hidroeléctrico, além de mitigar as inundações provocadas pelo rio Baba e aumentar a distribuição de água para o desenvolvimento agrícola na época de verão. A construção de embalses está disponível para a geração de energia através das centrais hidroeléctricas para efeitos ecológicos fluviales. Conecte-se a proteger a qualidade do recurso de água destes sistemas intervenidos, o estado ecuatoriano ha definido critérios técnico-ambientales para prevenir e controlar a contaminação da água, um de eles baseado na utilização de comunidades biológicas como bioindicadores, Sin embargo, não Estipula métodos específicos para o muestreo de estes parâmetros.

O presente estudo é uma guia para metodologias para o monitoreo de organismos bioindicadores (fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, macrobentos y peces) e de parâmetros físicos-químicos que permitem obter o índice de qualidade da água (ICA) e o grau de eutrofización que Determinante do grau de contaminação da embalagem Baba, além da determinação de pontos de muestreo estratégicos, com o fim de melhorar a gestão e implementar programas para a prevenção da contaminação que agride esta atividade.

**Palabras Clave:** Bioindicadores; qualidade de agua; embalagem; guia técnica; monitoreo.

## **Introducción.**

La práctica de construir embalses nació de la mano con las primeras generadoras hidroeléctricas a finales del siglo XIX, ya que de esta forma se puede almacenar agua y así disponer de la materia prima tan necesaria sin importar la estación climática por la que se esté pasando, el pionero en este tipo de construcciones en el continente fue Estados Unidos de América, Estado de Wisconsin, en el río Appleton, año de 1882. Antes de esto se utilizaba el vapor para mover las maquinarias. Han pasado muchos años desde entonces y actualmente sabemos que los ecosistemas fluviales se ven afectados en su dinámica natural, desde el inicio de los ríos hasta su desembocadura ya que el flujo del agua se interrumpe con la construcción de la represa. La flora y fauna endémica se ve sometida a nuevas presiones las cuales pueden favorecer el afloramiento de especies oportunistas o la adaptación de especies introducidas ya que se altera su hábitat original debido a la disminución de los niveles de oxígeno disuelto, caudal, calidad del agua, así como los procesos de erosión y transporte de sedimentos en el agua del río. Por estos motivos la Fauna se ve afectada en sus ciclos reproductivos, distribución, abundancia y patrones migratorios. (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009) (Aguirre, 2011)

El Estado ecuatoriano a través de la Constitución vigente (Constitución de la República del Ecuador, 2008) garantiza “la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico” y controla y verifica por medio de métodos, cualquier actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas. Para este efecto, se han establecido directrices de tipo técnico ambiental a fin de monitorear procesos contaminantes, la correcta eliminación de desechos y descargas que provienen de la generación de energía eléctrica para así disminuir los impactos en los medios físicos y bióticos del cuerpo hídrico intervenido. (Alba-Tercedor, 1996)

Un lago y un embalse tienen muchas similitudes a nivel físico, químico, biológico, etc., además de las comunidades de fito, zoo e ictioplancton las cuales se desarrollan en sus aguas, las relaciones ecológicas de las especies con el medio, la Avifauna aprovecha estos sitios para su alimentación, nidificación y descanso, también se da la bioacumulación en los organismos que se encuentran en la escala superior de la cadena trófica. Aunque los lagos tienen sus propias características como las corrientes de agua longitudinales lo que les permite tener una mayor

circulación de agua. Este tipo de ecosistemas son complejos ya que tienen mucha diversidad, por lo que cualquier cambio en su hábitat hace que las comunidades se vean afectadas en diversas formas.

Se puede asegurar que por ciertos momentos habría la oportunidad que los organismos ofrezcan información de los cambios producidos en el agua, tanto físicos como químicos, en las que manifiestan variaciones dentro de su estructura en la comunidad.

Entre los métodos para evaluar la calidad del agua tenemos el monitoreo biológico, el cual se basa en la utilización de comunidades biológicas como bioindicadores. Un bioindicador es la “especie o ensamble de especies que poseen requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia-ausencia, número, morfología o conducta de esa especie en particular, indiquen que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentren cerca de sus límites de tolerancia”. (Doughty, 1994)

Las razones para utilizar organismos son la aportación de una percepción integrada y extendida en el tiempo sobre la calidad del agua, la facilidad de usar este tipo de organismos, en comparación con los costosos análisis químicos o de toxicidad y la capacidad que poseen los animales y plantas de acumular información que los análisis físico- químicos no develan.

Los organismos que son utilizados con mayor frecuencia como bioindicadores en ecosistemas acuáticos son las algas y plantas acuáticas, zooplancton, bacterias, peces y los macroinvertebrados, siendo éste grupo, el más empleado en análisis y monitoreos. (Velázquez & Vega, 2004)

Uno de los principales problemas al momento de realizar un Monitoreo del recurso agua es la falta de protocolos específicos a seguir durante los muestreos biológicos a fin de cumplir con los parámetros requeridos y de cumplimiento obligatorio en la “Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en centrales hidroeléctricas” dado mediante Acuerdo Ministerial N° 55.

El presente estudio propone la estructuración de una guía metodológica con el fin de determinar la calidad de agua del embalse Baba a través de organismos bioindicadores,

planctónicos, bentónicos y peces, a fin de generar información sobre los cambios que puedan perjudicar los ecosistemas acuáticos.

La presente investigación tiene como objetivo gestionar información que facilite el monitoreo de la calidad del agua superficial y de fondo a través de la implantación de una metodología utilizando indicadores biológicos como herramienta para el manejo del Embalse de la Central Hidroeléctrica Baba.

## **Materiales y métodos.**

### *El monitoreo biológico*

El monitoreo de la diversidad biológica consiste en la toma de muestras y medición cualitativa y cuantitativa de algunas especies de flora y fauna que son sensibles a cambios en su ambiente, llamadas indicadores biológicos, a lo largo del tiempo y en un lugar determinado; y comparar los resultados obtenidos con un estándar predeterminado, o bien evaluar su variación con respecto a un patrón previo definido. El monitoreo provee información acerca del estado de una especie o comunidad, de manera que facilite la detección de cambios y permitan a los investigadores, monitores y administradores, diseñar e implementar acciones correctivas. Si los resultados demuestran que la biodiversidad se inclina hacia los valores esperados, el monitoreo puede continuar sin cambios. (Urgilés, Townsend, Borman , & Mimi, 2009)

Los análisis biológicos para determinar la calidad de agua poseen las ventajas de poder integrar los resultados obtenidos a través del tiempo entre diferentes lugares, hacer estudios de bioacumulación, dar respuesta a contaminaciones crónicas y puntuales y medir el estado de degradación del hábitat. (Prat, 1998)

### *Indicador biológico*

Los indicadores biológicos o también llamados bioindicadores, son organismos cuya presencia permite evaluar la contaminación de un sistema a través del tiempo, pues tienen la capacidad de responder ante un cambio en su hábitat. Estos cambios se reflejan en modificaciones en las poblaciones, al encontrarse y proliferar especies relacionadas con determinados contaminantes y al desaparecer parcial o totalmente otras especies. (Montejano, Cantoral, Carmona, Gavino, & Rivas, 1999)

La utilización de bioindicadores en la detección de procesos y estados en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas:

Los organismos almacenan información que los parámetros físico-químicos no revelan, y que en un determinado momento, pueden obviarse.

- El monitoreo biológico evita el análisis de un número innecesario de parámetros químicos y físicos, ya que en los organismos se manifiestan muchas de estas variables.
- La acumulación de sustancias en los tejidos de ciertos organismos, puede reflejar el nivel de contaminación ambiental, al determinar la concentración de estas sustancias en los bioindicadores.
- La selección de pocas especies indicadoras, va a simplificar y reducir los costos de monitoreo de calidad de un ecosistema, obteniéndose solo información concreta, desechando muchos datos complicados de manejar e interpretar.

Un bioindicador ideal debería representar a los parámetros ambientales que están íntimamente relacionados con él, pero esto raramente se presenta. Los buenos indicadores ambientales deben tener las siguientes características:

- *Fáciles de identificar*, ya que dudas taxonómicas pueden confundir la interpretación de los datos.
- *Fáciles de muestrear y cuantificar*, sin necesidad de la utilización de equipos caros y de personal especializado.
- *De distribución amplia*, ya que existen especies que poseen hábitats restringidos y de limitada distribución, cuya ausencia puede confundirse con la presencia de polución y no estar asociada con ella.
- *Abundantes*, a fin de poder repetir el muestreo si es necesario.
- *Asociados a numerosos datos biológicos y ecológicos*, para poder facilitar el análisis y comparación de resultados de estudios y legados de polución o índices bióticos obtenidos en otros sitios.

*Acumuladores de contaminantes*, para reflejar niveles de contaminación que faciliten la comprensión de su distribución en relación al nivel de polución.



### *Parámetros de monitoreo de diversidad biológica en el sector hidrográfico*

#### *Plancton*

Es el grupo de organismos de menos de tres centímetros que habitan en cuerpos de agua dulceacuícolas y marinas y que no pueden contrarrestar las corrientes por lo que van a la deriva. En el plancton se observan dos grupos de organismos: el fitoplancton y el zooplancton.

#### *Fitoplancton y su importancia como indicador de la calidad del agua*

Son organismos microscópicos que obtienen su energía de la luz y los nutrientes en el proceso de la fotosíntesis y que están suspendidos en las masas de agua, principalmente son las microalgas y cianobacterias.

#### *Zooplancton y su importancia como indicador de la calidad del agua*

Lo conforman organismos en su mayoría microscópicos, que se alimentan de otros organismos. Habitan a lo largo de la columna de agua en medios dulceacuícolas y marinos. En los embalses el zooplancton se compone de cuatro grupos: Protozoos, Rotíferos, Cladóceros y Copépodos. (Armengol, 1982)

#### *Ictioplancton*

El ictioplancton lo forman los huevos y larvas de peces, que se incluyen en este grupo, hasta alcanzar el tamaño suficiente para dejar de ser desplazados pasivamente en las aguas y comenzar a moverse de manera independiente de las corrientes.

#### *Macroinvertebrados*

Los macroinvertebrados comprenden a los organismos que en su última etapa como larva alcanzan un tamaño mayor a 1 mm y que pertenecen principalmente a los grupos: Mollusca, Oligochaeta, Hirudinae, constituyendo alrededor del 80% los pertenecientes al grupo Artrópodos y dentro de éstos, a los Insectos y Crustáceos.

#### *Peces*

Los peces se utilizan en el monitoreo de cuerpos hídricos debido a que su largo tiempo de vida permite tener datos sobre contaminación sucedida tiempo atrás. Su tamaño y movilidad les permite influir en el transporte de sustancias y elementos en los ecosistemas ya que sirven como bioacumuladores de contaminantes pues se encuentran en el nivel superior de la cadena alimenticia.

### *Índices de diversidad*

Los índices de diversidad son cuantitativos, de tipo adimensionales y permiten realizar análisis estadísticos. No se relacionan con el tamaño de la muestra. Este índice también se aplica a conteos de biomasa, la cual facilita la investigación ante los contajes individuales de especies en los muestreos. (Herbas, Rivero, & Gonzáles, 2006)

Para la determinación del ICA intervienen nueve parámetros:

- Coliformes fecales ( en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO en mg/L)
- Nitratos ( $\text{NO}^{-3}$  en mg/L)
- Fosfatos ( $\text{PO}_4$  en mg/L)
- Cambio de temperatura (en °C)
- Turbidez
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % de saturación)

### *Cálculo del índice de calidad de agua (ICA)*

La estructura de cálculo de la mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia. (UNEP, 2007)

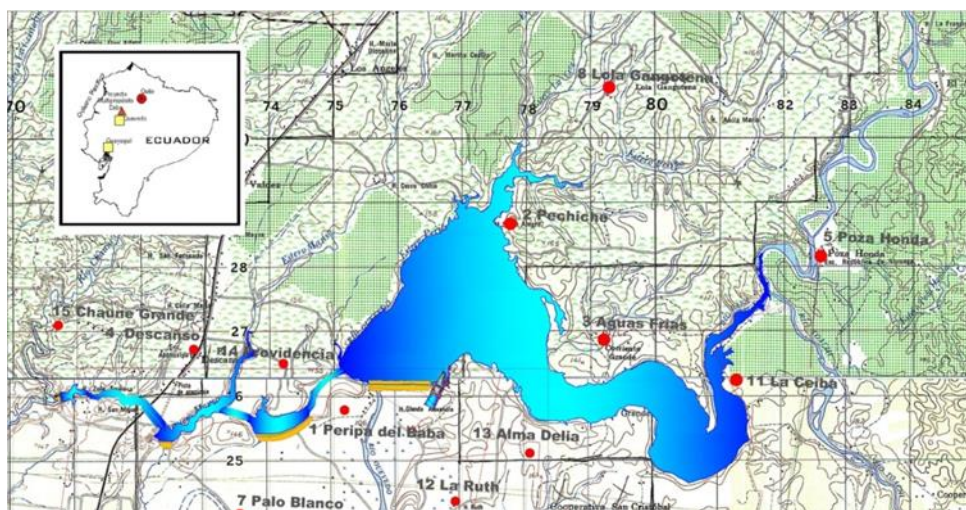
La asignación de pesos o ponderación de cada parámetro tiene relación con la importancia del uso que se le da al agua y la incidencia de cada variable en el índice, siendo los de mayor importancia, el oxígeno disuelto y los coliformes fecales.

Entre las ventajas del índice ICA como herramienta para medir la calidad del agua tenemos las siguientes. (Torres, Cruz, & Patiño, 2009)

- Revelan cambios de la calidad del agua a través del tiempo.
- Es un método simple y eficaz para representar la información obtenida en el laboratorio.
- Evalúan la calidad del agua que tendrá diversos usos.
- Permiten una sencilla interpretación de los datos.
- Pueden identificar áreas problemáticas y con tendencia a contaminación ayudando en la definición de prioridades y toma de decisiones con fines de gestión.

### Área de estudio

La Central Hidroeléctrica Baba está ubicada en el Cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos, a 10 Km de la confluencia de los ríos Baba y Toachi en la microcuenca del río Baba que está en la subcuenca del río Vinces, perteneciente a la cuenca del Guayas. Las poblaciones cercanas incluyen El Descanso, Cooperativa San Cristóbal, Fátima, Poza Honda, entre otros.



**Figura 1.** Área de influencia de la Central Hidroeléctrica y Embalse Baba

**Fuente:** Hidrolitoral

Comprende un área de embalse de 1 099 Ha, un dique en el cauce del río Baba en conjunto con un sistema de derivación de las aguas, que trasvasarán los excedentes de agua desde el río Baba por el río Chaune, después de ser turbinada en una central hidroeléctrica con capacidad de 42 megavatios de potencia eléctrica hasta el embalse Daule-Peripa para un segundo aprovechamiento hidroeléctrico en la Central Marcel Laniado de Wind, además de las obras asociadas para la transmisión de energía eléctrica (Fig. 1).

Es una obra que incrementa la oferta de energía hacia el parque generador hidroeléctrico además de la mitigación de las inundaciones provocadas por el río Baba y facilidad de conseguir agua para desarrollo agrícola.

### METODOLOGÍA DE MUESTREO

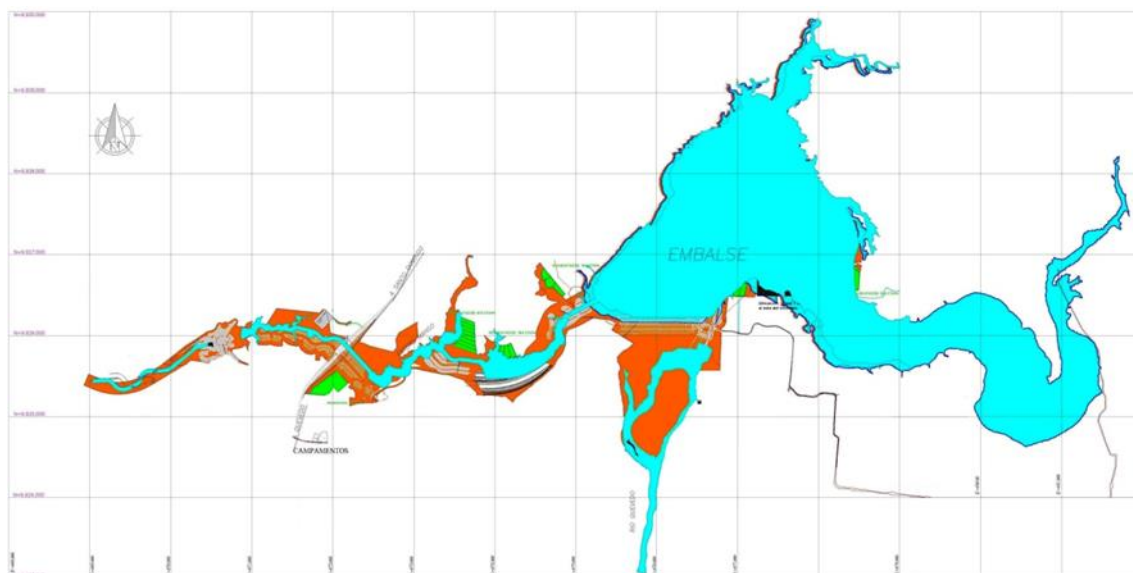
Se ejecutará el monitoreo de diez estaciones ubicadas dentro del embalse Baba, en el río Chaune, río Quevedo y la confluencia de los ríos Toachi y Baba (Tabla 1, Fig. 2). El número de estaciones se eligió siguiendo la metodología de (Vicente, De Hoyos, Sánchez, & Cambra, 2005), el cual recomienda que el número de puntos de muestreo dentro de un embalse mayor a 5 Ha. sea de mínimo cinco puntos.

Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el Embalse de la Central Hidroeléctrica Baba

ID	UBICACIÓN/DESCRIPCIÓN DEL PUNTO
E-1	Confluencia ríos Toachi y Baba
E-2	Embalse 1
E-3	Embalse 2
E-4	Embalse 3
E-5	Embalse 4
E-6	Embalse 5
E-7	Embalse 6
E-8	Embalse 7
E-9	Río Quevedo
E-10	Río Chaune

**Tabla 1.** Ubicación de las estaciones de muestreo

Se deben realizar dos campañas de monitoreo por cada época estacional, de acuerdo a los artículos 4.5.6.2 y 4.5.7.2 del Anexo 1B: Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas del Acuerdo Ministerial 155, con el propósito de constatar las variaciones que sufre el área en función de los cambios estacionales. Durante la época seca se realizarán en los meses de Julio y Octubre y en la época lluviosa en los meses de Diciembre y Abril.



**Figura 2.** Distribución de las estaciones de muestreo en la Central Hidroeléctrica Baba

## Resultados.

En las estaciones ubicadas en el embalse se realizarán arrastres superficiales y verticales a tres niveles de profundidad, en las estaciones ubicadas en los ríos se harán sólo arrastres superficiales (Tabla 2). El muestreo a diferentes niveles dependerá de la altura de la columna de agua.

Estación	Arrastre Superficial	Arrastre vertical
E-1	X	
E-2	X	X
E-3	X	X
E-4	X	X
E-5	X	X
E-6	X	X
E-7	X	X
E-8	X	X
E-9	X	
E-10	X	

**Tabla 2.** Tipo de arrastres a realizarse en las estaciones de muestreo

### *Metodología de monitoreo de organismos planctónicos*

Los parámetros que deben monitorearse con el fin de determinar la abundancia y diversidad de las comunidades planctónicas, bentónicas e ictiológicas a través de investigaciones cualitativas y cuantitativas, según la Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua de Centrales Hidroeléctricas dado mediante Acuerdo Ministerial 155, se muestran en la tabla 3.

Se realizará la identificación de organismos tolerantes y sensibles en la comunidad macrobentónica y de cianobacterias en el plancton los cuales sirven para determinar el grado de contaminación y eutrofización, índice de calidad de agua del embalse, sus ríos aportantes y de descarga.

Parámetros	Unidades
Fitoplancton	Células/m <sup>3</sup>
Zooplancton	Individuos /10m <sup>2</sup>
Ictioplancton	No. Individuos/10 m <sup>2</sup>
Bentos	No. Organismos/m <sup>2</sup>
Peces y familias	Unidades por lance

**Tabla 3.** Parámetros de monitoreo de diversidad biológica en el sector hidrográfico (rio y/o embalse)

*Directrices para la toma de muestras.* En cada punto de muestreo se tomará la ubicación geográfica con ayuda de un GPS, además del pH, la salinidad y temperatura del agua del sitio muestreado con un equipo de campo, se anotará en cada frasco la fecha, hora de muestreo, nombre de la localidad y personal responsable.

Se efectuarán arrastres superficiales y verticales de fondo a superficie en los puntos de muestreo establecidos destinados al análisis cualitativo y cuantitativo del fitoplancton,

Se utilizará una red cónica simple con un área de boca de la red de 0,3 m de diámetro y malla con apertura de luz de 60  $\mu$ m. Los arrastres de tipo superficial se realizan a una velocidad de 2 nudos (1 nudo náutico= 1,852 Km/h) con una duración de 5 minutos.

Para el arrastre vertical se añade un lastre a la malla, se sumerge la misma para realizar la colecta en la columna de agua. En el sitio del muestreo se lava la malla para que todo el material filtrado se concentre en el cubilete, ubicado al fondo de la malla. Se vierte el contenido del cubilete en un frasco previamente rotulado con el código del lugar de muestreo, el frasco no debe llenarse más de  $\frac{3}{4}$  de su capacidad, permitiendo así el intercambio gaseoso. El filtrado se introduce en un recipiente de vidrio o plástico y se estandariza a un volumen de 100 mL.

#### *Conservación y etiquetado de las muestras*

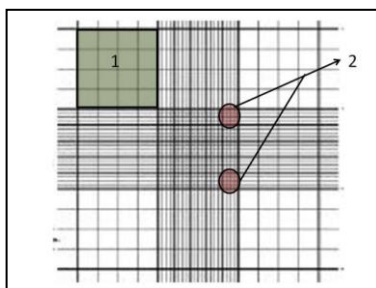
Todas las muestras deben estar convenientemente etiquetadas de forma que se identifique un código de la muestra, código de estación, un código de su procedencia (localización), fecha de recolección, fijador utilizado, tipo de arrastre, profundidad de muestreo y persona o entidad a cargo



de la recolección e identificación. Es importante indicar el tipo de muestra y el método de recolección. Se utilizará un rotulador resistente al agua.

#### *Fase de laboratorio. Contaje*

Para el conteo celular se utilizará la cámara de Neubauer. Usando una pipeta, depositar 20  $\mu\text{L}$  de la muestra entre la cámara de Neubauer y el cubre objeto, en ángulo de 45 grados. Se recomienda seguir un orden al momento de contar las células dentro de los recuadros, para evitar errores. Los recuadros a contar dependerán del tamaño de las células, si son mayores a 6  $\mu$  se cuentan los cuatro recuadros esquineros (1) si son menores a 6  $\mu$  se cuentan cinco de los recuadros centrales (2), como se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Cámara de Neubauer.

#### *Identificación*

Durante el reconocimiento de las muestras se cuenta con la ayuda de un microscopio compuesto, un estéreo microscopio, un microscopio de cámara invertida, pipetas Pasteur, porta y cubre objetos, cámara fotográfica y hojas de registros. Las muestras se analizan y se identifican los organismos en división, familia, género y en lo posible especie, con el apoyo de claves dicotómicas y guías especializadas en el tema.

Es importante comprobar las descripciones escritas de las especies, no solo comparar con dibujos o fotos, y tener en cuenta la información ecológica (distribución, hábitat, requerimientos).

### **Zooplankton e ictioplancton**

#### *Directrices para la toma de muestras*

Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el Embalse de la Central Hidroeléctrica Baba

Para el análisis cualitativo y cuantitativo del zooplancton, se efectuarán arrastres superficiales y verticales en los puntos de muestreo. Se utilizará una red cónica simple con un área de boca de la red de 0,3 m de diámetro y malla con apertura de luz de 300  $\mu\text{m}$ .

Los arrastres de tipo superficial se realizan a una velocidad de 2 nudos (1 nudo náutico= 1,852 Km/h) con una duración de 5 minutos. El filtrado se introduce en un recipiente de vidrio o plástico, estandarizadas a un volumen de 100 mL.

Familias	Puntuación BMWP
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Calamoceratidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Oligoneuridae, Odontoceridae, Perlidae, Ptilodactylidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Philopotamidae, Saldidae, Simuliidae, Vellidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Dryopidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Dugesidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae, Notonectidae.	5
Curculionidae, Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Lymnaeidae, Hhydraenidae, Hydrometridae, Pschycodidae, Scarabidae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Oligochaeta, Tubicidae.	1

**Tabla 4.** Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP



Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el Embalse de la Central Hidroeléctrica Baba

CLASE	CALIDAD	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
I	<b>BUENA</b>	>150 101 – 120	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Azul
II	<b>ACEPTABLE</b>	61 – 100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	<b>DUDOSA</b>	36 – 60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	<b>CRÍTICA</b>	16 – 35	Aguas muy contaminadas.	Naranja
V	<b>MUY CRÍTICA</b>	<15	Aguas fuertemente contaminadas.	Rojo

**Tabla 5:** Clases de calidad de agua, valores BMWP, Criterios de Calidad y colores para las representaciones cartográficas

### Conclusiones.

Se generó una guía metodológica que indica la forma de monitorear el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba y de esta forma dar cumplimiento a la Legislación ambiental, sintetizando la información necesaria para realizar los análisis cualitativos y cuantitativos de plancton, bentos y peces ya que estos grupos taxonómicos, son sensibles a los cambios de su entorno.

Se incorporó en el análisis, al Índice de calidad de agua y el grado de eutrofización, utilizados para predecir la contaminación en cuerpos de agua, así como el análisis de Organofosforados y Organoclorados en sedimentos.

Se estableció una cantidad idónea de puntos de muestreo para este nuevo ecosistema lacustre artificial con el fin de disminuir costos de análisis, al disminuir los datos generados en los muestreos y el impacto ambiental derivado del uso de químicos tituladores en las estaciones, las cuales contaminan el recurso agua.

El presente trabajo será de gran ayuda para los tomadores de decisiones a nivel privado y gubernamental, así como para los centros de investigación universitaria y comunidad científica, de

esta manera se tendrá un análisis concreto con una herramienta de gestión fácil y ágil con la cual se podrá decidir los programas necesarios para la prevención y control de la contaminación.

### **Recomendaciones.**

Utilizar el presente trabajo como guía cuando un tomador de decisiones se tope con este caso. Para cumplir con la legislación ambiental vigente del sector eléctrico y su posterior análisis es necesario tomar en cuenta el piso altitudinal con sus respectivas variables físicas (altura, luminosidad, temperatura) y químicas (pH, oxígeno disuelto) estableciéndose metodologías propias para cada zona de estudio.

Realizar este estudio mínimo por los próximos veinte años, para poder observar si existe una variación de los indicadores biológicos en el tiempo, analizando los indicadores utilizados y los puntos de muestreo definidos, para ratificar o rectificarlos

### **Bibliografía.**

- Acosta, R., Ríos, M., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35-64.
- Aguirre, H. (2011). *Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la Cuenca del Río Yanuncay*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Alba-Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y la calidad de las aguas de los ríos*. Almería: IV simposio del agua en Andalucía (SIAGA).
- Armengol, J. (1982). Ecología del zooplancton de los embalses. *Mundo científico*, 2(11), 168-178.
- Doughty, R. (1994). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, edited by Rosenberg and Resh. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 4(1), 92-96.
- Herbas, R., Rivero, A., & Gonzáles, A. (2006). *Indicadores biológicos de calidad del agua*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Montejano, G., Cantoral, J., Carmona, R., Gavino, G., & Rivas, A. (1999). *Comunidades acuáticas (algas, insectos, y ácaros) indicadoras de la calidad del agua en los ríos permanentes de la región poniente de la ciudad de México (Magdalena Contreras, Alvaro Obregón y Cuajimalpa)*. México: consejo de estudios para la restauración y valoración ambiental (CONSERVA). Secretaría del medio ambiente del Distrito Federal.
- Prat, N. (1998). *Bioindicadores de calidad de aguas*. En: *Manuscritos Curso Bioindicadores de calidad de agua*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- UNEP. (2007). *Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report*. Ontario.

Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el Embalse de la Central Hidroeléctrica Baba

---

- Urgilés, C., Townsend, R., Borman, R., & Mimi, C. (2009). *Manual práctico para el monitoreo biológico participativo. Experiencias adquiridas y generadas por los A'I Cofán de Zábalo, Reserva de producción Faunística Cuyabeno, Sucumbíos – Ecuador*. Quito: Instituto para la Conservación y Capacitación Ambiental y Comunidad Cofán de Zábalo.
- Velázquez, E., & Vega, M. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *CONABIO. Biodiversitas*, 57(1), 12-15.
- Vicente, E., De Hoyos, P., Sánchez, J., & Cambra, J. (2005). *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton*. México: Confederación Hidrográfica del Ebro.