



## FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS

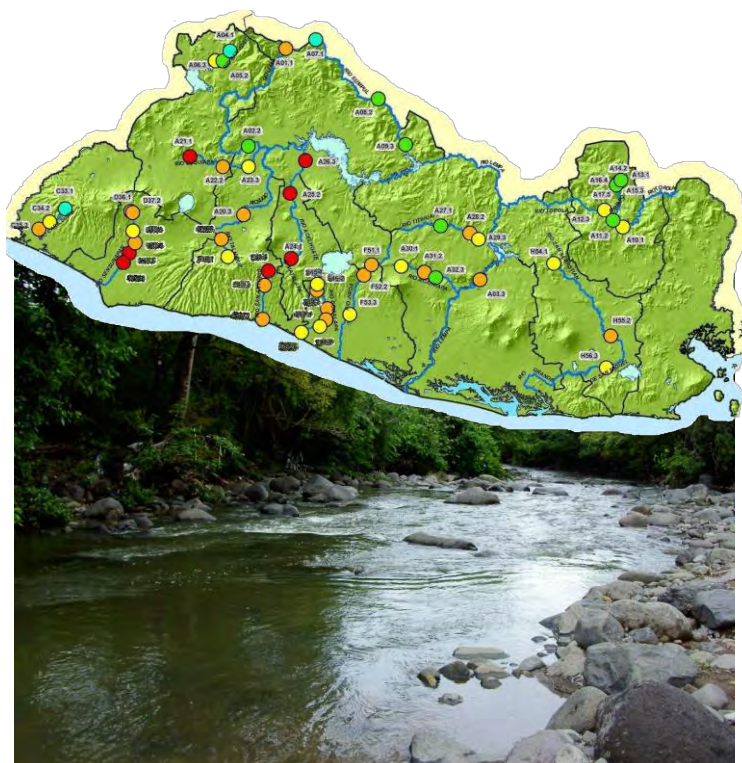


Proyecto financiado por el Fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaria Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD).

### 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)

#### AUTORES:

José Miguel Sermeño Chicas  
Leopoldo Serrano Cervantes  
Monika Springer  
Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos  
Dagoberto Pérez  
Andrés Wilfredo Rivas Flores  
Rafael Antonio Menjívar Rosa  
Blanca Lorena Bonilla de Torres  
Freddy Alexander Carranza Estrada  
Juan Milton Flores Tensos  
Coralía de los Ángeles Gonzáles  
Pablo E. Gutiérrez Fonseca  
Miguel Ángel Hernández Martínez  
Ana Jeannette Monterrosa Urias  
Ada Yanira Arias de Linares



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



### Como citar este documento:

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 pág.

### Contacto:

Si desea obtener más información sobre el proyecto y sus resultados, puede contactar al Ing. José Miguel Sermeño Chicas de la Universidad de El Salvador: [jmsermeno@yahoo.com](mailto:jmsermeno@yahoo.com)

### Nota aclaratoria:

Los mapas presentadas en el presente documento fueron elaboradas con base a la información obtenida a través de un único muestreo en cada sitio, entre el 04 de noviembre al 03 de diciembre de 2009, por lo que presentan una visión puntual sobre la calidad ambiental del agua obtenida a través del índice IBF-SV-2010 y la abundancia de los organismos (familias) encontradas.

### Primera edición, 2010

<http://www.ues.edu.sv/>

595.072	
D479	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) / José Miguel Sermeño Chicas, Leopoldo Serrano Cervantes, Mónica Springer ...
sv	[et al.]. -- 1a. ed. -- San Salvador, El Salv. : Editorial Universitaria (UES), 2010. 43 p. : il. col. ; 22 cm.
	ISBN 978-99923-27-60-9
	1. Agua--Aspectos ambientales--El Salvador--Guías. 2. Invertebrados acuáticos--Investigaciones.
BINA	I.Sermeño Chicas, José Miguel, coaut. II. Título.

**ISBN 978-99923-27-60-9**



---

## **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**Rufino Antonio Quezada Sánchez, Ing. Agr. M.Sc.  
Rector**

**Miguel Angel Pérez, Arq.  
Vice-rector Académico**

**Oscar Noe Navarrete, MAE  
Vice-rector Administrativo**

**Reynaldo Adalberto López Landaverde, Dr. Ing. Agr.  
Decano, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**Mario Antonio Orellana Núñez, Ing. Agr. M. Sc.  
Vice Decano, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**Luis Fernando Castaneda Romero, Ing. Agr. M. Sc.  
Secretario, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**José Miguel Sermeño Chicas, Ing. Agr. M. Sc.  
Coordinador General Proyecto OEA-UES Insectos Acuáticos**



## Índice

I. Introducción .....	1
II. Antecedentes históricos de la bioindicación o biomonitoreo .....	4
III. Historia del biomonitoreo de ríos en América Central .....	5
IV. Importancia de la bioindicación o biomonitoreo .....	6
V. Conceptos básicos de bioindicación o biomonitoreo .....	7
VI. Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores .....	9
VII. Limitantes de los macroinvertebrados en biomonitoreo .....	14
VIII. Necesidades para mejorar el biomonitoreo como evaluación rápida .....	15
IX. Los índices bióticos de Hilsenhoff: orígenes y usos .....	15
X. Fundamento del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).....	17
1. Origen del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).....	17
2. Asignación de puntajes para aplicar el Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).....	18
3. Asociación de puntajes a las características fisicoquímicas en las aguas de los principales ríos de El Salvador. ....	23
4. Características del índice propuesto para El Salvador (IBF-SV-2010) .....	24
4.1. Capacidad de discriminación .....	24
XII. Cálculo del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).....	26
XIII. Referencias Citadas .....	31
XIV. Agradecimientos .....	33
ANEXO 1. DOCUMENTOS TÉCNICAS GENERADOS CON EL PROYECTO Y MATERIAL DE APOYO PARA APLICAR EL ÍNDICE BIOLÓGICO A NIVEL DE FAMILIA EN EL SALVADOR (IBF-SV-2010) .....	37



# 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)

## AUTORES:

José Miguel Sermeño Chicas<sup>1</sup>  
Leopoldo Serrano Cervantes<sup>1</sup>  
Monika Springer<sup>2</sup>  
Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos<sup>3</sup>  
Dagoberto Pérez<sup>4</sup>  
Andrés Wilfredo Rivas Flores<sup>5</sup>  
Rafael Antonio Menjívar Rosa<sup>1</sup>  
Blanca Lorena Bonilla de Torres<sup>6</sup>  
Freddy Alexander Carranza Estrada<sup>7</sup>  
Juan Milton Flores Tensos<sup>7</sup>  
Coralia de los Ángeles Gonzáles<sup>8</sup>  
Pablo Gutiérrez Fonseca<sup>2</sup>  
Miguel Ángel Hernández Martínez<sup>9</sup>  
Ana Jeannette Monterrosa Urias<sup>10</sup>  
Ada Yanira Arias de Linares<sup>6</sup>

## I. Introducción

La medición de la calidad ambiental del agua de los ríos se ha realizado tradicionalmente a través de parámetros físico-químicos y microbiológicos, los cuales son muy precisos, aunque también onerosos. Aquí, los referidos parámetros actúan como una “fotografía” del momento en el que se toma la muestra, entregando características inmediatas sobre las aguas de los ríos; sin embargo, no permiten una visión de las variaciones de las características en el tiempo.

Una alternativa complementaria a este método tradicional, es por medio de indicadores biológicos (también llamados bioindicadores), el cual es relativamente poco costoso. Este método biológico presenta amplias ventajas y nos permite una visión más integral y además retrospectiva de las cualidades del medio en el cual se desarrollan los organismos acuáticos.

<sup>1</sup> Profesor de entomología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

<sup>2</sup> Profesor(a) de entomología acuática, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica

<sup>3</sup> Especialista en entomología, consultor independiente

<sup>4</sup> Profesor del Departamento de Ciencias Agronómicas, Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador

<sup>5</sup> Profesor de Fitopatología y Microbiología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

<sup>6</sup> Profesora de Química, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

<sup>7</sup> Profesor de Química, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

<sup>8</sup> Profesora de Microbiología, CENSALUD, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador

<sup>9</sup> Profesor de Sistemas de Información Geográfica, Unidad de Posgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

<sup>10</sup> Dirección General de Patrimonio Natural, Gerencia de Vida Silvestre, Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente, El Salvador



Entre todos los grupos de organismos acuáticos, los macroinvertebrados constituyen el grupo de bioindicadores más utilizados a nivel mundial. Ellos proporcionan excelentes señales sobre la calidad ambiental del agua de los ríos, porque algunos requieren una muy buena calidad para desarrollarse y sobrevivir, mientras que otros, por el contrario, crecen y abundan en aguas muy contaminadas. Esto se debe a que las diferentes especies tienen diferentes grados de sensibilidad a la contaminación de las aguas de los ríos. También, son considerados excelentes indicadores de la calidad ambiental, debido a que su periodo de vida es lo suficientemente largo para mostrar como son afectados por la presencia de agentes contaminantes, incluyendo aquellos de bajas concentraciones, pero con capacidad de acumularse a través del tiempo. Asimismo, tienen la ventaja de ser relativamente inmóviles y fáciles de recolectar o muestrear y tienden a formar comunidades características que se asocian a condiciones físicas y químicas de las aguas de los ríos, lo que permite conocer los diferentes grados de contaminación. Además, permiten detectar situaciones de toxicidad aguda (envenenamiento) en los cuerpos de agua superficiales, lo cual generalmente no es detectado tan fácilmente por las mediciones físico-químicas tradicionales. Debido a estas ventajas, el uso de bioindicadores para medir la calidad de agua, especialmente de ríos y quebradas, ha cobrado cada vez más importancia a nivel mundial, y recientemente también se está implementado en varios países latinoamericanos.

Entre los objetivos de desarrollo de El Salvador está la Gestión del Medio Ambiente, lo cual se encuentra estipulado en la Ley del Medio Ambiente, publicado en el Diario Oficial, Tomo 339, Número 233, Capítulo I referente a aguas y los ecosistemas acuáticos. Actualmente el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) no cuenta con protocolos de muestreo estandarizados para la evaluación y clasificación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos. Esto es una problemática nacional que requiere investigación y para lo cual en este documento científico innovador se está dando respuesta a través de un estudio formulado y coordinado por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES) y financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Los productos de este proyecto de investigación científica son innovadores con resultados que aportan conocimiento muy necesario para que el país pueda abocarse de una forma apropiada y poco costosa a la evaluación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, para ayudar a los tomadores de decisiones a definir políticas acertadas de descontaminación o mitigación del problema de las aguas a nivel nacional y regional.

El país cuenta con una legislación básica respecto a los recursos hídricos, situación que fue considerada mediante la aplicación del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental (Decreto 40, Ley de Medio Ambiente) y el Índice de Calidad del Agua (ICA). Para el presente estudio se tomó en cuenta la legislación existente y se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y muestreos de organismos acuáticos en todo el país, con el objetivo de desarrollar la consolidación de un proyecto piloto a nivel nacional que permitió obtener un inventario nacional de los invertebrados acuáticos de los principales ríos de El Salvador. El estudio involucro las aguas de ríos en la zona montañosa o Cordillera Norte, Cordillera Sur o Cordillera del Bálsamo, Región Central o Valle Interior, incluyendo ríos que pasan por Áreas Naturales Protegidas o Parques Nacionales y los ríos de influencia directa a



zonas costeras. Se trabajó con un enfoque de ecosistemas en el cual los puntos o sitios de muestreo en los diferentes ríos se analizaron como parte integrante de las cuencas hidrográficas, por tanto, se ha iniciado el proceso de crear (con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfico SIG), la línea base de referencia de ecosistemas acuáticos (ríos y sus cuencas) que permitirá el cruce de información ambiental y respuesta de la biodiversidad acuática a los diferentes impactos ambientales.

Inicialmente el proyecto contempló la utilización del Índice “Biological Monitoring Working Party”, modificado para Costa Rica (BMWP-CR; Reglamento 33903 MINAE-S 2007), para la evaluación de las poblaciones de invertebrados acuáticos; sin embargo, este índice no manifestó los resultados esperados, por tanto, fue necesaria la aplicación de otros índices, siendo uno de ellos el Índice Biológico o Biótico a Nivel de Familias (FBI, por sus siglas originales del inglés), el cual fue adaptado para ser aplicado en la medición de la calidad de las aguas de los ríos de El Salvador, denominándose localmente: **ÍNDICE BIOLÓGICO A NIVEL DE FAMILIA DE INVERTEBRADOS ACUATICOS EN EL SALVADOR (IBF-SV-2010)**. Este índice reconoce taxonómicamente a los organismos acuáticos a nivel de familia, se contabilizan los individuos de las diferentes familias recolectadas en cada punto de muestreo, ponderando la abundancia de cada una de ellas al multiplicarlas por puntajes que indican el grado de sensibilidad a la contaminación (desde cero a diez, según se asocian a condiciones desde menor hasta mayor grado de contaminación orgánica). De esta manera se obtiene al final un promedio de la sumatoria, cuyos valores se comparan con un cuadro de rangos que se menciona más adelante en este documento.

Como resultado de las recolectas de este proyecto, se cuenta además con organismos acuáticos preservados e identificados adecuadamente a nivel de familia que están depositados en la **Colección Nacional de Referencia de Insectos Acuáticos Indicadores de Calidad Ambiental de los Ríos de El Salvador**, ubicado en la planta baja de la Biblioteca de las Ingenierías de la Universidad de El Salvador. Con la ayuda de los sistemas de información geográfica se crearon mapas de ubicación de los puntos (sitios) de muestreo para las diferentes familias de insectos acuáticos, así como la distribución territorial de los mismos (Anexo 1: Atlas geográfico de los insectos acuáticos indicadores de calidad ambiental de aguas de los ríos de El Salvador).

Para profundizar con los aspectos relacionados con los organismos acuáticos, se sugiere además revisar las diez “Guías ilustradas para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos de los ríos de El Salvador” (Anexo 1). También se recomienda consultar el documento técnico titulado: “Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de insectos acuáticos” para conocer la condición en la que se encuentran los ríos del país (Anexo 1).



## II. Antecedentes históricos de la bioindicación o biomonitoreo

El uso de insectos acuáticos como indicadores de calidad de agua data de mucho tiempo y las primeras citas se encuentran en la literatura desde hace más de 150 años atrás. Así, en Europa, en el año 1848, Kolenati mencionó que la ausencia de larvas de tricópteros en un río fue causada por la influencia de una ciudad aguas arriba (Williams & Feltmate 1992). También Cohen, en 1853, observó que ciertos organismos muestran una relación con la pureza y contaminación del agua (Sladeczek 1973). En 1869, Metz utilizó microorganismos para determinar el daño ecológico a la calidad del agua debido a residuos domésticos e industriales. Poco tiempo después, al inicio del siglo XX, se presentó el primer uso de un índice biótico, cuando Kolkwitz & Marson (1908-1909) desarrollaron en Alemania la idea de sprobidad para referirse al grado de contaminación en ríos debido a las aguas residuales que disminuyen la cantidad de oxígeno disuelto.

En los Estados Unidos, la investigación más temprana en relación a bioindicación o biomonitoreo se originó de los estudios limnológicos y del concepto de comunidad biológica de S. A. Forbes desde 1870 a 1887 (Cairns & Pratt 1993); concepto que años más tarde junto al trabajo de Richardson en 1913 y 1928 sirvió para clasificar zonas de contaminación a lo largo del Río Illinois (Shepard sf.).

A partir de los años 50, varios investigadores de diferentes países propusieron métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de los sistemas de aguas continentales, especialmente de aguas corrientes; p.ej. Patrick en 1949 y 1950, Weimann en 1951, Hynes en 1959 y 1963, Sladeczek en 1962 (Sladeczek 1973, Roldán-Pérez 2003). También en las décadas de los años 50 y 60, se inició la discusión de conceptos relacionados con la biodiversidad, muy aprovechados para la problemática actual del biomonitoreo, con base en índices matemáticos de los cuales se generó una gran diversidad de información debido al trabajo de muchos autores que han aportado sus mejores esfuerzos de interpretación a la complejidad del tema, tales como: Shannon-Weaner (Wiener o Weaver) 1949, Simpson 1949, Brillouin 1951, Margaleff 1951, 1955, 1956, 1958, 1969; Beck 1955; Wilhm & Dorris 1966; Wilhm 1967, 1968, 1970 y Sheldon 1969 (Roldán-Pérez 2003).

Como uno de muchos ejemplos, se puede mencionar el método desarrollado por Cairns y Dickson (1971), por medio del cual la diversidad de especies se calcula con base a la proporción del número de "carreras o corridas de especímenes (definida como una remoción secuencial de especies consideradas "idénticas") en relación al total de animales recolectados en una muestra; razón por la cual se le conoce como índice, el cual requiere poca experticia taxonómica, ya que se basa en diferencias de forma, color y tamaño de los animales. Otro índice, bastante comprensivo, para monitorear la contaminación orgánica de las aguas de los ríos fue diseñado por Hilsenhoff (1977, 1987), basándose en la capacidad de los invertebrados acuáticos (principalmente insectos) para sobrevivir en condiciones de bajos niveles de disponibilidad de oxígeno; los cuales a su vez son reflejo de los desechos orgánicos presentes en el sistema fluvial (Williams & Feltmate 1992).





La gran mayoría de estos índices propuestos se basan en un enfoque cualitativo, quiere decir en la correlación de presencia/ausencia o aproximaciones de abundancia relativa para ciertos grupos de macroinvertebrados con clasificaciones de calidad ambiental, preestablecidas. Sin embargo, en los años 70 en Estados Unidos, los estudios fueron orientados hacia un enfoque más cuantitativo (Ej. Índices de diversidad, prueba de hipótesis utilizando repeticiones y análisis estadísticos). Sin embargo, debido a que estos métodos cuantitativos implican un mayor costo, las tendencias en los años 90 implicaron nuevamente la utilización de técnicas del enfoque cualitativo. Un resumen de la historia del biomonitoreo acuático con estas tendencias y una comparación de los diferentes métodos se puede encontrar en Cairns & Pratt (1993) y Resh & Jackson (1993). También, Metcalfe (1989) presenta un resumen sobre la historia del biomonitoreo acuático en Europa.

Durante las últimas dos décadas una gran cantidad de diferentes métodos han sido desarrollados en todas las regiones del mundo, utilizando, además del uso de bioindicadores, otros enfoques diferentes, a nivel de ecosistema, mediante análisis multimétricos, multivariados, o de grupos funcionales de alimentación, entre otros. Un análisis comparativo de varios de estos métodos se puede encontrar en Bonada *et al.* (2006) y Marchant *et al.* (2006).

### III. Historia del biomonitoreo de ríos en América Central

La utilización de bioindicadores acuáticos empezó relativamente recién en los diversos países latinoamericanos y al momento ha sido muy poco desarrollada en la mayoría de los países centroamericanos. Hasta la fecha, el único país en Centroamérica que establece el uso de bioindicadores acuáticos por ley, es Costa Rica, donde se publicó en el año 2007 el “Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales” (La Gaceta No. 178, Decreto No.33903 MINAE-S). En este reglamento se define el uso del índice biológico BMWP-CR (por sus siglas en inglés “Biological Monitoring Working Party” basado en Alba-Tercedor & Sanchez-Ortega, 1988, y adaptado para Costa Rica), el cual trabaja a nivel de familias de macroinvertebrados y toma en cuenta únicamente la presencia de las mismas, omitiendo la abundancia o riqueza genérica dentro de cada familia, asignando valores de tolerancia entre un rango de 0 a 10 y sumando los mismos para obtener el valor final. Este índice ha sido adaptado también en otros países tropicales, como Colombia (Roldán-Pérez 2003) y Cuba (Muñoz-Riveaux 2003) y se ha estado evaluando su aplicación en otros países, como Panamá. Otros índices que se han implementado en la región, han sido los de Hilsenhoff (1988) y Ghetti (1997) para Nicaragua, y el BMWP (Alba-Tercedor & Sanchez-Ortega 1988) para Nicaragua y Honduras, aunque ninguno de ellos ha sido formalmente adaptado para dichos países.

El uso de bioindicadores acuáticos, especialmente de macroinvertebrados, también se ha implementado en los estudios de impacto ambiental en varios países de Centroamérica, como p.ej. Panamá, Costa Rica y Guatemala. En Costa Rica, el estudio de la fauna acuática y en muchos casos también el biomonitoreo es requerido en todos los proyectos que afectan directa o indirectamente a los recursos hídricos, especialmente represas hidroeléctricas,



mineras, extracción de material pedregoso del cauce de los ríos y también plantaciones agrícolas, sobre todo de piña y banano.

Un ejemplo sobresaliente de la aplicación del biomonitoreo acuático con la participación de voluntarios y comunidades locales, incluyendo escuelas y pueblos indígenas, es el programa de la Asociación ANAI, en la vertiente atlántica de Costa Rica (Mafla Herrera 2005). El programa utiliza tanto macroinvertebrados como peces y ha estado funcionando ya por varios años, arrojando datos importantes sobre la calidad de los cuerpos de agua de la zona y sobre todo ayudando a aumentar la conciencia en las poblaciones locales sobre la problemática de la conservación de las aguas continentales.

En general, el conocimiento sobre la ecología y taxonomía de los macroinvertebrados acuáticos en los diferentes países centroamericanos se encuentra aún muy incompleto. Nuevamente, Costa Rica es probablemente el país mejor estudiado de la región, con respecto a los diferentes grupos, especialmente insectos acuáticos (Springer 2008). Mejorar este conocimiento para los distintos países de la región será un reto importante para poder implementar el método del biomonitoreo acuático en cada país con el fin de mejorar la gestión y el manejo sostenible de los recursos hídricos. Por tanto, los logros obtenidos a través de la experiencia en El Salvador por el presente proyecto, serán de mucha importancia no solo para el país, si no a nivel regional.

#### **IV. Importancia de la bioindicación o biomonitoreo**

Varios autores han enfatizado que el monitoreo de las comunidades biológicas, con especial énfasis en la caracterización de la riqueza taxonómica y la composición de la fauna, es probablemente la herramienta mas sensible para la detección rápida y segura de alteraciones en los ecosistemas acuáticos (Cairns & Pratt 1993).

Han sido planteadas una serie de circunstancias en las cuales resulta valedero y justificado el empleo de la bioindicación o biomonitoreo a pesar de que pueda existir la posibilidad de medición directa de los factores del medio abiótico:

- a) Cuando los efectos son de tipo acumulativo, toda medida directa resulta insuficiente por ser puntual. Por la misma razón, el biomonitoreo también resulta importante para detectar casos de contaminación intermitente o toxicidad aguda, los cuales rara vez son detectadas con las mediciones físico-químicas tradicionales.
- b) Si hay una adecuada concordancia entre el factor a medir y el indicador biológico, éste puede servir como una buena herramienta de interpolación y extrapolación en gradientes, reduciendo la necesidad de mantener una red de mediciones muy densa y costosa.



- c) En ocasiones los niveles de concentración o intensidad a los que actúa un factor abiótico, son tan bajos que desafina la capacidad de resolución y exactitud de los métodos analíticos fisicoquímicos. Tales pequeñas diferencias no detectables se pueden llegar a indicar con los gradientes bióticos.
- d) Con frecuencia ocurren conjuntos de factores que no se pueden medir de manera separada; por tanto, el efecto combinado puede ser sinérgico o inhibitorio, siendo en este caso el organismo bioindicador una ventaja clara.
- e) Existen factores que no se pueden medir con respecto a su relación operacional, si se considera que esta se halla influida por combinaciones de circunstancias que la condicionan. Tal es el caso de la diferencia entre la concentración medida por un método analítico estándar y la verdadera disponibilidad que genera efectos a nivel biológico (Ej. fósforo, materia orgánica u otros contaminantes) (Zonneveld 1983).

Se considera imperativo que sean desarrollados sistemas de biomonitoreo para darle seguimiento a cambios ambientales; pero también es igualmente importante que sean tomadas las acciones correctivas cuando el biomonitoreo señale problemas (Cairns & Pratt 1993).

Algunos científicos trabajando en esta temática, han propuesto además, que ciertos organismos no solo son indicadores de la pureza o contaminación del agua, sino que también juegan un rol en el proceso de auto purificación de la misma (Sladeczek 1973). De igual manera son muy útiles para comprobar la efectividad de las medidas correctivas tomadas (p.ej. la implementación de plantas de tratamiento, lagunas de oxidación, etc.) y demostrar el efecto que tienen los agentes contaminantes sobre el ecosistema.

## V. Conceptos básicos de bioindicación o biomonitoreo

La “bioindicación” hace referencia a la posibilidad de detectar de manera indirecta, aquello que no es susceptible de ser percibido de forma directa o al menos no tan fácilmente (Zonneveld 1983). Guillot Monroy (1997) presenta algunas consideraciones generales sobre el concepto de bioindicación y afirma que la bioindicación es un fenómeno íntimamente ligado al proceso de adaptación a lo largo de toda la evolución de la vida. Por otro lado, el concepto de “biomonitoreo” se refiere a un programa de evaluación periódica del ambiente, utilizando variables biológicas, usualmente para detectar cambios causados por acciones de origen antropogénico.

Otros estudiosos de la temática del biomonitoreo lo mencionan como “el uso de variables biológicas para inventariar el ambiente”, considerando el reto primario del biomonitoreo, la búsqueda del indicador (o bioindicador) ideal; cuya presencia, abundancia y / o conducta, refleje un efecto de estrés sobre la biota. Así un indicador puede ser usado para el biomonitoreo a diferentes niveles de organización, desde el nivel suborganísmico (Ej. genes,



células, tejidos) y organísmico, hasta poblacional, comunitario y ecosistémico (Bonada *et al.* 2006).

Se conocen tres tipos básicos de índices que han sido utilizados para evaluar efectos de la contaminación sobre comunidades acuáticas: 1) Índices de Diversidad; 2) Índices de Comparación (similaridad/disimilaridad); 3) Índices Bióticos; siendo este último tipo, diferente de los dos primeros, por ser con frecuencia específico al tipo de contaminación o al área geográfica involucrada; así son usados para clasificar el grado de contaminación en un sistema acuático a través de la determinación de la tolerancia o la sensibilidad de un organismo a un contaminante dado (Johnson *et al.* 1993). En las últimas dos décadas han cobrado además cada vez más importancia los índices de integridad biológica (IBI) y los índices multimétricos a nivel ecosistémico (Bonada *et al.* 2006).

Con relación al aprovechamiento de los índices de diversidad, se ha demostrado que estos resultan ser prácticos, debido a que no requieren necesariamente identificaciones taxonómicas muy precisas y así pueden ser aplicados incluso por personal sin mucho entrenamiento (Cairns & Pratt 1993). Sin embargo, hay muchos otros factores que pueden influir en la diversidad de un sitio en particular a parte del grado de contaminación, como la disponibilidad o diversidad de microhábitats presentes.

Los índices bióticos derivados empíricamente asumen que los sistemas o sitios contaminados generalmente contienen menos especies que los sitios no impactados y que las especies tienden a ser removidas selectivamente a lo largo de un gradiente de contaminación, según sea su relativa susceptibilidad al contaminante. Tal premisa por lo general se cumple, pero se requiere más investigación a fin de integrar información tanto de laboratorio como de campo, relacionada con el tema de tolerancia dentro de los índices bióticos (Johnson *et al.* 1993).

Para utilizar el concepto de especies indicadoras, hay que tomar en cuenta que la presencia de una especie en un ambiente asegura la existencia de ciertas condiciones ambientales mínimas. Sin embargo, la ausencia de la especie no lo hace, ya que esta puede derivarse de factores especiales como barreras geográficas, ocupación de su nicho funcional, eventos de su ciclo biológico normal o a presiones ejercidas por intensos niveles de control biológico, como la depredación y/o el parasitismo (Johnson *et al.* 1993). Los organismos indicadores ideales son aquellos que tienen tolerancias ambientales específicas y estrechas. Por el contrario, aquellos organismos que tienen tolerancias amplias para diferentes condiciones ambientales en las cuales los patrones de distribución o abundancia son afectados sólo ligeramente por variaciones ambientales sustanciales, se consideran indicadores pobres (Johnson *et al.* 1993). Además los organismos indicadores "ideales" deben presentar una baja variabilidad genética y ecológica, amplia distribución (cosmopolita), abundancia numérica, movilidad limitada y un ciclo vital relativamente largo, además de poseer características ecológicas bien conocidas y presentar facilidad de reconocimiento (solidez taxonómica) (Johnson *et al.* 1993):



Se da por entendido que los sistemas de bioindicación deben ser desarrollados y ajustados con un enfoque local y siempre teniendo en cuenta que la estructura espacio temporal del ecosistema y las actividades generadoras de vertidos contaminantes (que, donde, cuando y cuanto), podría considerarse que en ciertas circunstancias el mejor indicador de tipo de organismo que pueden ocurrir en un cuerpo de agua, es el conocimiento del tipo de actividades de tipo agropecuario y / o urbano o industrial que se realizan en una cuenca. Además debe también tenerse presente que la bioindicación mediante organismos acuáticos no es la única, ni siempre la mejor alternativa; sino un instrumento más de interpretación de las relaciones y procesos complejos que conducen hacia evaluaciones y decisiones de control y manejo de un recurso en circunstancias específicas de modo, tiempo y lugar (Guillot-Monroy 1997).

Muchos autores han considerado a los macroinvertebrados acuáticos como los mejores bioindicadores de la calidad del agua. Seguidos en su orden las algas, los protozoos, las bacterias y en menor grado, los peces, las macrófitas, los hongos y los virus (Roldán-Pérez 2003). Los insectos acuáticos y otros invertebrados bénticos son los organismos más ampliamente usados en biomonitoreo del impacto humano en aguas dulces (Bonada *et al.* 2006).

## VI. Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores

La expresión macroinvertebrados bénticos hace alusión a organismos que habitan los sustratos del fondo (sedimentos, detritus, palos sumergidos, macrófitas, algas filamentosas y otros) de hábitats dulceacuícolas, al menos durante parte de su ciclo vital; considerándose específicamente como macroinvertebrados, aquellos organismos que por su tamaño pueden ser retenidos en mallas con aberturas desde 200 a 500  $\mu\text{m}$ , tal como lo mencionan diversos autores (Rosenberg & Resh 1993).

Las razones por las cuales se consideran a los macroinvertebrados como los mejores indicadores de la calidad del agua son muchas, entre las que se citan las siguientes (Roldán-Pérez 2003, Bonada *et al.* 2006):

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Poseen una gran diversidad de especies, con un amplio espectro de respuestas ambientales (grados de tolerancia)
- Son sedentarios en su mayoría, reflejando así las condiciones locales (extensión espacial de la contaminación).
- Son relativamente fáciles de identificar en comparación con otros grupos de organismos como los virus, bacterias, entre otros (por lo menos a nivel de familia o género).
- Presentan los efectos de variaciones ambientales de corto tiempo.
- Facilitan información para integrar efectos acumulativos.
- Sus ciclos vitales son relativamente largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se encuentran en una amplia variedad de ambientes acuáticos
- Se pueden criar en el laboratorio.



El nivel de la resolución taxonómica requerida para la utilización de bioindicadores ha sido discutido por varios autores, con diferentes resultados, ya que algunos autores consideran necesario la utilización a nivel de especie, mientras que otros defienden el uso del nivel de familias. Según De Pauw & Hawkes en 1993, se conocían once países europeos que habían adoptado a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua, llegando la mayoría de ellos hasta el nivel de precisión taxonómica de familia; siendo solo Alemania el país que exige el nivel de especie, dentro de su método saprobio. En América tropical, un factor limitante es el hecho que el conocimiento de la fauna de macroinvertebrados acuáticos está aún muy incompleto, por lo que es prácticamente imposible trabajar a nivel de especie y aún difícil a nivel de género.

En Colombia, como uno de los resultados generales de principal importancia para estudios sobre organismos bioindicadores de contaminación por vertidos de la industria petrolera, se establece y se prescribe que el nivel de diagnóstico taxonómico por lo menos hasta familia (si no se tiene capacidad hasta nivel de géneros), resultó muy recomendable y no así el nivel de órdenes, para efectos de lograr buenas interpretaciones acerca del impacto ambiental de los vertidos. De acuerdo al autor, tales hallazgos son aplicables a otro tipo de actividades humanas que produzcan perturbaciones en aguas de ríos. En tal estudio el autor tipifica como excelentes bioindicadores aquellos que se encuentran con una distribución entre alta y muy alta; una abundancia entre media, alta o muy alta; y un grado de asociación con un factor abiótico (Ej. Demanda Bioquímica de Oxígeno) entre medio, alto o muy alto (Díaz-Martínez 1997).

Metcalf (1989) resumió una opinión acerca de la aplicación del biomonitoreo de comunidades de macroinvertebrados, tal como se transcribe a continuación: “Ha sido sugerido que la estructura de la comunidad no es suficientemente sensitiva para distinguir entre varios tipos y grados de contaminación. Es posible, sin embargo que nuestro método de detección de la respuesta, más bien que la respuesta en sí, sea insensitivo. Teóricamente, pequeños cambios en la calidad del agua, deberían guiar hacia alteraciones en la estructura de la comunidad, lo cual es ya, un balance delicado” (Cairns & Pratt 1993). En una escala general, se conoce la asociación de grupos de macroinvertebrados acuáticos con algunas condiciones de entorno donde habitan (Cuadro 1).



**Cuadro1.** Asociación entre grupos taxonómicos generales de macroinvertebrados acuáticos y determinados hábitats donde pueden abundar (modificado de Roldan-Pérez 1997).

<b>Grandes grupos de macroinvertebrados</b>	<b>Características ambientales del hábitat y respuesta poblacional</b>
<b>Insecta - Ephemeroptera</b>	Son excelentes indicadores de aguas claras y limpias, aunque hay especies que toleran ciertos niveles de contaminación orgánica. Por lo regular sus poblaciones son más abundantes en aguas frías que en aguas cálidas y la mayor diversidad se encuentra en aguas con corriente. Los adultos son de vida terrestre y viven pocas horas, suficiente solo para reproducirse.
<b>Insecta – Odonata</b>	Sus adultos terrestres comúnmente se les conocen como “caballitos del diablo” o “libélulas”. Sus larvas se encuentran en charcos o lagos, con abundante vegetación en las orillas. Se les considera indicadores de aguas entre limpias y medianamente contaminadas con materia orgánica. Algunas especies pueden soportar altos niveles de contaminación.
<b>Insecta – Hemiptera</b>	En este grupo están las “chinchas de agua”, los cuales se encuentran tanto en aguas estancadas como aguas de corriente. Su hábitat es similar al de los odonatos; por lo que se les considera como indicadores en general del mismo tipo de agua.
<b>Insecta – Coleoptera</b>	Este es un grupo muy diverso y abundante. En su mayoría son indicadores de aguas limpias, aunque hay especies que pueden soportar ciertos niveles de contaminación orgánica. Se les encuentra en una gran diversidad de hábitats, tanto en la corriente como en zonas de remansos con vegetación y en aguas estancadas.
<b>Insecta – Trichoptera</b>	Este grupo se caracteriza porque las larvas construyen refugios o casitas, a partir de piedritas, arena y hojas de árboles. Las larvas viven largos periodos de tiempo en tales refugios, y por ello, con frecuencia pasan inadvertidas por las personas inexpertos en este grupo. Se les considera excelentes indicadores de aguas limpias y frías, aunque hay algunas especies que toleran ciertos niveles de contaminación orgánica y altas temperaturas. Junto a los efemerópteros y plecópteros son los mejores indicadores de aguas claras y limpias. Los adultos son terrestres.
<b>Insecta - Megaloptera</b>	Son poco diversos y sus larvas viven asociadas a piedras en la zona de corriente de ríos y quebradas. Depredan las larvas de otros insectos acuáticos y pueden tolerar niveles intermedios de contaminación orgánica. Su desarrollo puede durar hasta varios años y los adultos terrestres son de vida relativamente corta.
<b>Insecta – Diptera</b>	Es un grupo extremadamente diverso. Sus larvas se caracterizan por no poseer patas. Una gran mayoría son indicadores de aguas contaminadas, siendo las más conocidas las especies pertenecientes a la familia Chironomidae. En algunas familias (Psychodidae, Syrphidae, Ephydriidae) hay especies que soportan los más altos niveles de contaminación. Otras, como la familia Blephariceridae son indicadores de aguas claras y limpias. Este orden también tiene importancia médica, ya que muchas especies transmiten enfermedades venéreas (en especial la familia Culicidae).



<b>Insecta - Plecoptera</b>	Es un grupo de poca diversidad en Centroamérica, que vive en aguas muy limpias y claras; preferiblemente frías y bien oxigenadas. En general, son excelentes indicadores de buena calidad del agua.
<b>Turbellaria - Tricladida</b>	A este grupo pertenecen las planarias que pueden llegar a ser abundantes. Viven en aguas estancadas o de poca corriente; con la contaminación orgánica aumenta su número considerablemente. Fundamentalmente viven adheridos a troncos y piedras.
<b>Annelida - Oligochaeta</b>	Son lombrices de agua y a este grupo pertenece el género <i>Tubifex</i> ; el cual es un indicador de máxima contaminación acuática.
<b>Annelida - Hirudinea</b>	Son las “sanguijuelas”, y su presencia se interpreta como indicadores de aguas contaminadas con materia orgánica, sus poblaciones son típicas de aguas con reciente contaminación o en vías de recuperación.
<b>Mollusca - Gastropoda</b>	A este grupo pertenecen los caracoles de agua que en general son indicadores de aguas contaminadas con abundante materia orgánica. Es frecuentemente un grupo poco conocido.

Dentro de la temática de biomonitoreo, incluyendo el uso de macroinvertebrados, se pueden considerar propiedades y respuestas en diferentes escalas o niveles: 1) Nivel de organismos individuales; 2) Nivel de Poblaciones; y 3) Nivel de conjuntos de especies; incluyéndose dentro de este último nivel el tema especial de biomonitoreo al valorar poblaciones y conjuntos de especies como organismos indicadores (Johnson *et al.* 1993).

La selección tanto de la población como de las mediciones de la comunidad más apropiada para utilizar en un biomonitoreo con enfoque de “evaluación rápida”, son decisiones de importancia crítica y controversial. Con respecto a las mediciones que se utilizan en el biomonitoreo con macroinvertebrados acuáticos, estas se han considerado que pueden agruparse en cinco categorías: 1) Riqueza biológica, 2) Enumeraciones (listados con cantidades), 3) Diversidad de la comunidad e índices de similaridad, 4) Índices bióticos y 5) Grupos funcionales según tipo de alimentación (Resh & Jackson 1993).

Metcalf en 1989, presenta la distinción de tres grupos de enfoques principales para la evaluación de la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos a la contaminación; los cuales se resumen a continuación, sin dejar de tener siempre presente que cualquier índice tiene su utilidad y valor de acuerdo con el criterio utilizado y el nivel de conocimiento disponible acerca de la fauna local:





- a) Enfoque Saprobio: El término saprobio (vocablo originado del griego para indicar descompuesto o rancio) fue acuñado por Kolkwitz & Marsson entre 1908 y 1909 en Alemania, al hacer referencia a la capacidad de ciertos organismos para vivir en determinados niveles de contaminación.
- b) Enfoque de Diversidad: Este enfoque incluye tres componentes principales de las comunidades naturales: **riqueza, uniformidad y abundancia**; interpretándose que una comunidad bajo la presión de la contaminación, se caracteriza por presentar bajo número de especies con gran número de individuos por especie. En este enfoque, se considera a la Diversidad de la Comunidad como una medida de la calidad del agua. Sin embargo, la aplicación de este enfoque puede dar resultados variables de acuerdo a los métodos de muestreo, naturaleza del sustrato y la época del año (Roldán-Pérez 2003).
- c) Enfoque Biótico: En este enfoque se incluyen los aspectos esenciales de la saprobiedad, combinando una **medida cuantitativa de diversidad** de especies con la **información cualitativa relacionada con la sensibilidad ecológica** de los grupos taxonómicos de los individuos, a través de una expresión matemática simple. Dentro del pensamiento de este enfoque, Beck en 1955, fue quien propuso el Índice Biológico o Biótico para los EE.UU., con base en la relación de especies intolerantes y tolerantes a la contaminación del agua, utilizando valores de 0 a 10. En 1970, se estableció oficialmente para Inglaterra el índice BMWP, considerándolo como un método sencillo y rápido que significaría ahorros en costo y en tiempo; requiriéndose una capacidad de diagnóstico taxonómico hasta familia de invertebrados acuáticos y utilizando una escala de sensibilidad que va desde 0 (para familias de máxima tolerancia a la contaminación), hasta 10 (para familias de máxima sensibilidad a la contaminación), para calcular un valor final como un puntaje promedio por grupo taxonómico (Roldán-Pérez 2003).

Con relación al fenómeno de enriquecimiento orgánico de las aguas, muchas veces referido como eutrofización, se sabe que aunque algunos niveles intermedios de esta alteración al agua, pueden favorecer a algunos grupos de invertebrados que se alimentan de los sedimentos o la suspensión (como es el caso de las larvas de las familias Simuliidae y Chironomidae, ambas del Orden Diptera); algunos cambios en el sustrato (causados por incremento en sedimentación de materia orgánica) junto con baja concentración de oxígeno disuelto que frecuentemente ocurren con altos niveles de enriquecimiento orgánico, usualmente dan como resultado final la desaparición de grupos taxonómicos intolerantes (Johnson *et al.* 1993).

Sin embargo, no hay que perder de vista que existen muchos factores aparte de la contaminación que afectan o limitan la distribución de ciertas especies; tales como la localización geográfica, erosión, inundaciones, tamaño del río, profundidad del cuerpo de agua, velocidad y turbulencia del agua, entre otros. En muchos casos el rol de la velocidad de la corriente puede llegar a ser más importante que el contenido de materia orgánica contaminante. También hay que tomar en cuenta que el sistema funciona bien básicamente



para aguas corrientes, no tanto aguas estancadas, para las cuales es necesario aplicar otros métodos y establecer índices diferentes.

Recientemente, Bonada *et. al.* (2006) realizaron una comparación del desempeño de los diversos sistemas o enfoques del biomonitoreo, utilizando insectos acuáticos y otros invertebrados que se conocen actualmente, a la luz de 12 criterios y que constituyen las características de un sistema ideal, llegando a la conclusión que ninguno de ellos cumple con todos los criterios. En este análisis, el sistema de saprobia fue el que menos se acercó al sistema ideal, mientras que el enfoque multimétrico cumplió con 10 de los 12 criterios, junto con algunos otros métodos desarrollado en tiempos más recientes.

## VII. Limitantes de los macroinvertebrados en biomonitoreo

Así como se han reconocido ciertas ventajas del uso de macroinvertebrados como herramientas para biomonitoreo, también les han sido señaladas algunas limitaciones principales (Rosenberg & Resh 1993), de los cuales algunas se resumen a continuación:

- a) Los macroinvertebrados bénticos aparentemente no responde por igual a todos los impactos, como por ejemplo a herbicidas.
- b) Su distribución y abundancia pueden ser afectados por otros factores además de la calidad del agua, como por ejemplo la velocidad de la corriente de agua o la naturaleza del sustrato.
- c) Algunas especies poseen variaciones poblacionales de origen estacional, o sea presentan cambios en sus abundancias en diferentes épocas del año (invierno – verano; época seca – época lluviosa).
- d) La conducta de deriva en aguas en movimiento, puede acarrear algunas especies dentro de áreas (río-abajo) en las que ellos normalmente no ocurren.
- e) Ciertos grupos son taxonómicamente difíciles de trabajar y errores en la identificación pueden arrojar resultados erróneos con respecto a la calidad del agua, debido a los diferentes valores de tolerancia asignadas a los distintos grupos taxonómicos (generalmente familias).

Por lo tanto es importante que el biomonitoreo acuático y el uso de bioindicadores sean aplicados por profesionales capacitados en la aplicación de este método y entrenados en la identificación taxonómica de estos organismos, aunque sí puede ser utilizado por comunidades, sobre todo rurales, como herramienta útil y de fácil aplicación como sistema de alarma temprana y vigilancia de la salud de los ambientes acuáticos.

Finalmente, hay que destacar que el uso de bioindicadores no pretende sustituir el método físico-químico, ya que ambos son herramientas complementarias, y en especial no debe ser utilizado en el análisis de agua potable como único criterio.



## VIII. Necesidades para mejorar el biomonitoreo como evaluación rápida

El interés por mejorar las versiones de los sistemas de biomonitoreo con aproximaciones que tienden a realizarse como sistemas de “evaluación rápida”, ha destacado varios aspectos necesarios de superar o mejorar que han sido enumerados por varios autores y se resumen en el siguiente listado con argumentaciones:

- 1- Es necesario desarrollar protocolos adaptados especialmente a ríos grandes, ya que en general los protocolos disponibles actualmente, fueron propuestos básicamente para ríos pequeños y poco profundos.
- 2- Se necesita establecer valoraciones para tipos de contaminación diferentes a la contaminación orgánica clásicamente considerada, ya que frecuentemente ocurre multiplicidad de tipos de contaminación.
- 3- Tanto las mediciones y los protocolos deben ser calibrados, especialmente si se intentan utilizar en eco-regiones y tipos de contaminación no similares a las de su diseño original.
- 4- Para la formulación de regulaciones legales que involucren a protocolos que de sistemas de evaluación rápida y evaluación de impactos que los utilicen es importante disponer de suficiente conocimiento sobre la influencia de factores como la variabilidad natural o las medidas y los protocolos estén calibrados.
- 5- La incorporación de advertencias en los protocolos puede ser útil; ya que por ejemplo densidades de población de organismos, extremadamente bajas (las cuales pueden no ser aparentes cuando el análisis es basado en conteos de un número preestablecido de especímenes); deberían ser fácilmente identificables como una señal de impacto.
- 6- Deben ser desarrollados directrices, para ayudar en la decisión de que tipo de aproximación o enfoque conviene realizar en los sistemas de evaluación rápida: un enfoque cualitativo o cuantitativo; decisión que sin duda también dependerá del propósito del estudio y la sensibilidad requerida en éste (Resh & Jackson 1993).

## IX. Los índices bióticos de Hilsenhoff: orígenes y usos

El Índice Biológico o Biótico de Hilsenhoff (“IB” en español o “BI” por sus siglas en inglés) fue originalmente desarrollado en 1977 por el Dr. William Hilsenhoff de la Universidad de Wisconsin, con el propósito de evaluar la reducción de oxígeno disuelto debido a la carga orgánica en ríos. El índice se derivó del Índice Saprobico de Pantle y Buck en 1955 en Alemania y del índice biótico de Chutter en 1972 en Sud África. Los procedimientos para toma de muestras y su procesamiento en laboratorio, para fines del cálculo del Índice de Hilsenhoff, fueron normados desde 1983, por el Departamento de Recursos Naturales del estado de Wisconsin, Estados Unidos.










Para calcular este índice, solo son utilizados organismos que requieren oxígeno disuelto como recurso vital. En este índice, a los organismos que son más sensibles a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se les asignan bajos valores de tolerancia; por el contrario, los organismos que tienen un amplio rango de tolerancia, se les asignan valores altos (Shepard sf.). Con relación al Índice Biológico de Chutter para Sudáfrica en 1972; del cual deriva en parte el Índice Biológico a nivel de Familia (IBF); éste último involucró cambios en los valores de tolerancia para la fauna local de EE.UU., además de la exclusión de algunos grupos taxonómicos (Resh & Jackson 1993). También para El Salvador, la propuesta que se explica en este trabajo científico innovador, se adaptó a las condiciones propias de las aguas de los ríos del país.

A manera de una definición original de este índice, el mismo autor lo describe textualmente así: Este índice es una medida de la contaminación orgánica y debida a nutrientes, la cual causa menores niveles de oxígeno disuelto, especialmente por la noche durante el verano y después de una fuerte lluvia. Los niveles reducidos de oxígeno disuelto, afectan a su vez, la capacidad de cada especie de artrópodo para sobrevivir en un río en particular. Para el propósito de calcular el índice biótico, a cada especie o género les es asignado un valor de tolerancia desde 0 hasta 10; con el cero asignado a las especies más intolerantes a la contaminación orgánica y 10 a las especies más tolerantes; se asignan valores intermedios a las especies intermedias en su tolerancia a la contaminación orgánica. El "IB" es un promedio de valores de tolerancia para todos los individuos recolectados de un punto o sitio de muestreo (Hilsenhoff 1987).

El "IB" de Hilsenhoff originalmente fue desarrollado para utilizarse con un nivel de diagnóstico taxonómico hasta especies o hasta género, según el grado de conocimiento de la fauna acuática local. Sus primeras utilidades dieron base al autor para que este sugiriese que en un futuro, pronto sería necesario desarrollar factores de corrección adecuados para ajustar el índice a diferencias de velocidad de la corriente, temperatura y época del año (Hilsenhoff 1987). En el caso del funcionamiento del "IB", a pesar de que originalmente fue desarrollado para evaluar la pérdida de oxígeno disuelto debido a contaminación orgánica (propósitos para el cual trabaja bien), también es cierto que el índice puede ser sensible a los efectos de embalsamiento, contaminación termal y contaminación por algunos tipos de contaminación química (Hilsenhoff 1998).

Con relación a la aplicación del "IB", éste experimentó una modificación que dio origen al Índice Biótico a nivel de Familia (IBF, en español o FBI, por sus siglas en inglés), que fue publicado en 1988 por Hilsenhoff, a fin que del índice original pudiese hacerse una versión que permitiese ahorrar tiempo y facilitar una evaluación más rápida en campo, sacrificando un poco la precisión original, al desarrollarse un nuevo índice a nivel de familias de invertebrados acuáticos con sus respectivos valores de tolerancia. En este nuevo índice los valores de tolerancia para diferentes familias, fueron propuestos por el autor dentro de un rango de 0 a 10, asignando los valores más bajos para las especies más intolerantes y los más altos para las que son más tolerantes. Los valores de "IBF" se calculan como un promedio de valores de tolerancia de todas las familias dentro de la muestra y permite calificar la calidad del agua de acuerdo al Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Índice Biológico o Biótico a nivel de Familias (IBF) (Hilsenhoff 1988)

VALOR IBF-SV-2010	CATEGORIA	CALIDAD DEL AGUA	INTERPRETACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA
0.00 – 3.75	 1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76 – 4.25	 2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26 – 5.00	 3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01 – 5.75	 4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76 – 6.50	 5	Regular pobre	Contaminación sustancial probable
6.51 – 7.25	 6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26 – 10.00	 7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

Entre la diversidad de mediciones que pueden llevarse a cabo en un sistema de biomonitorio del tipo “evaluación rápida”, se conoce que con base en un estudio llevado a cabo en muchos ríos costeros de California, EE.UU., se comprobó que todas las mediciones de riqueza biológica, incluyendo al “IBF”, fueron efectivos (Resh & Jackson 1993).

## X. Fundamento del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)

### 1. Origen del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)

El Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos adaptado para El Salvador (IBF-SV-2010), tiene como base el método de cálculo, asignación de puntajes y escala de medición, propuestos por Hilsenhoff (1987). Esencialmente, consiste en el promedio de los puntajes de los grupos taxonómicos encontrados en cada punto o sitio de muestreo, ponderado por su abundancia relativa. De esta manera, el índice presenta dos componentes principales: a) El puntaje asignado a cada grupo de invertebrado acuático; b) La abundancia relativa de los grupos de invertebrados acuáticos encontrados.

El puntaje de los grupos de invertebrados acuáticos es un valor predeterminado que indica su tolerancia a las condiciones de perturbación (grado de sensibilidad a la contaminación del agua), siguiendo el modelo propuesto por Hilsenhoff (1987), según el cual los valores cercanos a “0” indican baja tolerancia y los cercanos a “10” alta tolerancia a la contaminación del agua. Por otro lado, la abundancia relativa se considera como una característica propia de cada punto o sitio muestreado en los principales ríos de El Salvador y es un indicativo del



nivel de perturbación. También, toda esta información se obtiene a través de una “Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red “D” en ríos de El Salvador” (Anexo 1). Para la identificación de los diferentes insectos acuáticos de los ríos de El Salvador se hace necesaria la utilización de Guías ilustradas de insectos acuáticos con sus respectivas claves taxonómicas (Anexo 1).

## **2. Asignación de puntajes para aplicar el Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)**

Los puntajes de los grupos taxonómicos de invertebrados acuáticos encontrados durante los muestreos en los diferentes ríos del país, fueron determinados utilizando los parámetros fisicoquímicos de cada punto o sitio de muestreo en conjunto con la experiencia acumulada en la evaluación de la calidad ambiental de los ríos en Costa Rica. En la Figura 1, se muestran los diferentes puntos o sitios de muestreo de invertebrados acuáticos y análisis fisicoquímicos de las aguas de los principales ríos de El Salvador.

Los parámetros fisicoquímicos que están más relacionados con la composición de las comunidades de invertebrados acuáticos encontrados en los principales ríos de El Salvador son<sup>11</sup>: Altitud (MSNM), Temperatura del agua (TW), Oxígeno disuelto (OD) y su equivalente en Saturación de oxígeno (SOD), el contenido de Fosfatos (FOS) y el Total de Sólidos Disueltos (TDS), lo cual se muestra en la figura 2.

---

<sup>11</sup> El análisis de Correspondencia Canónica fue realizado utilizando el paquete Vegan 1.17-2, en el programa R.

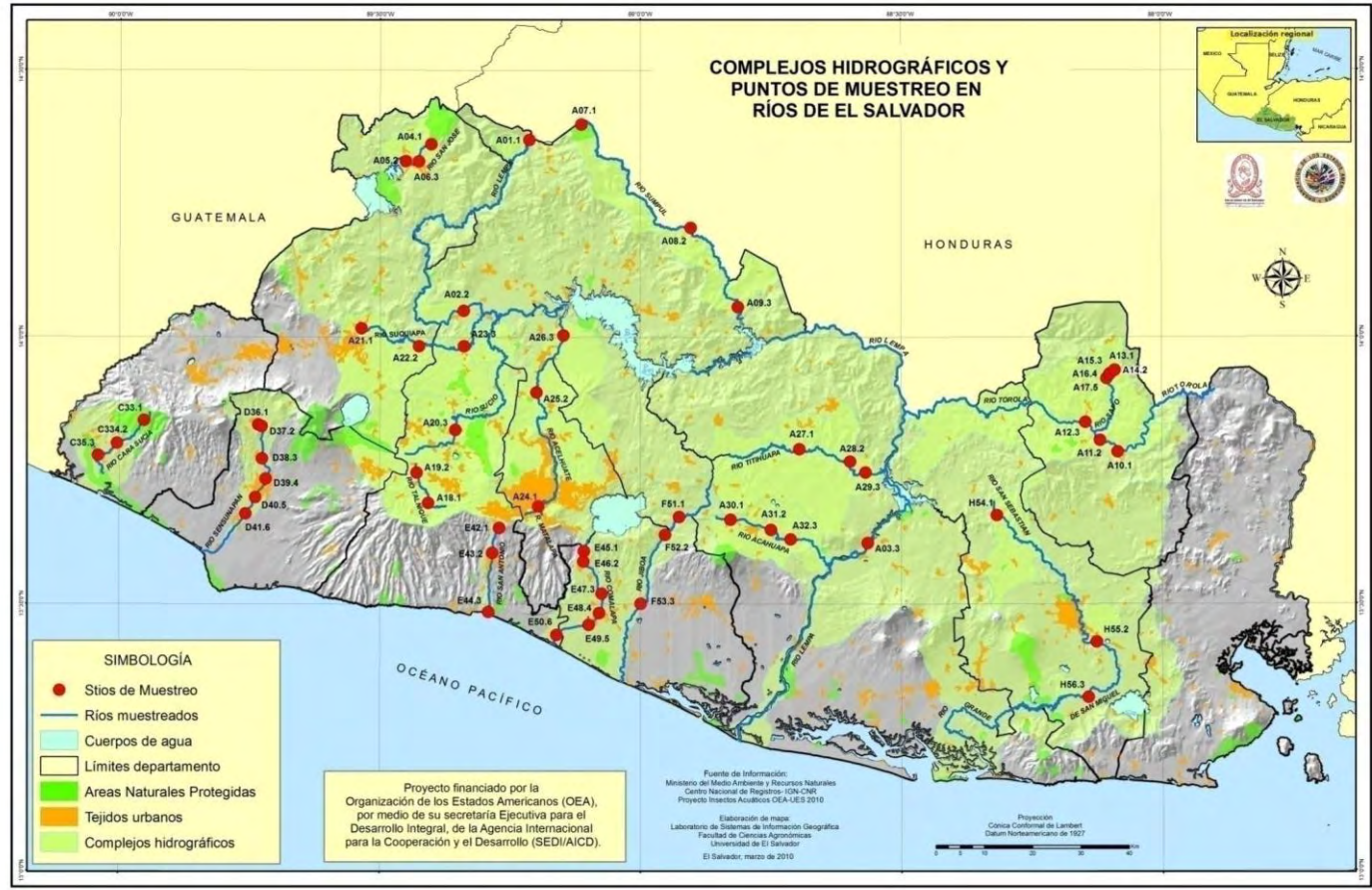
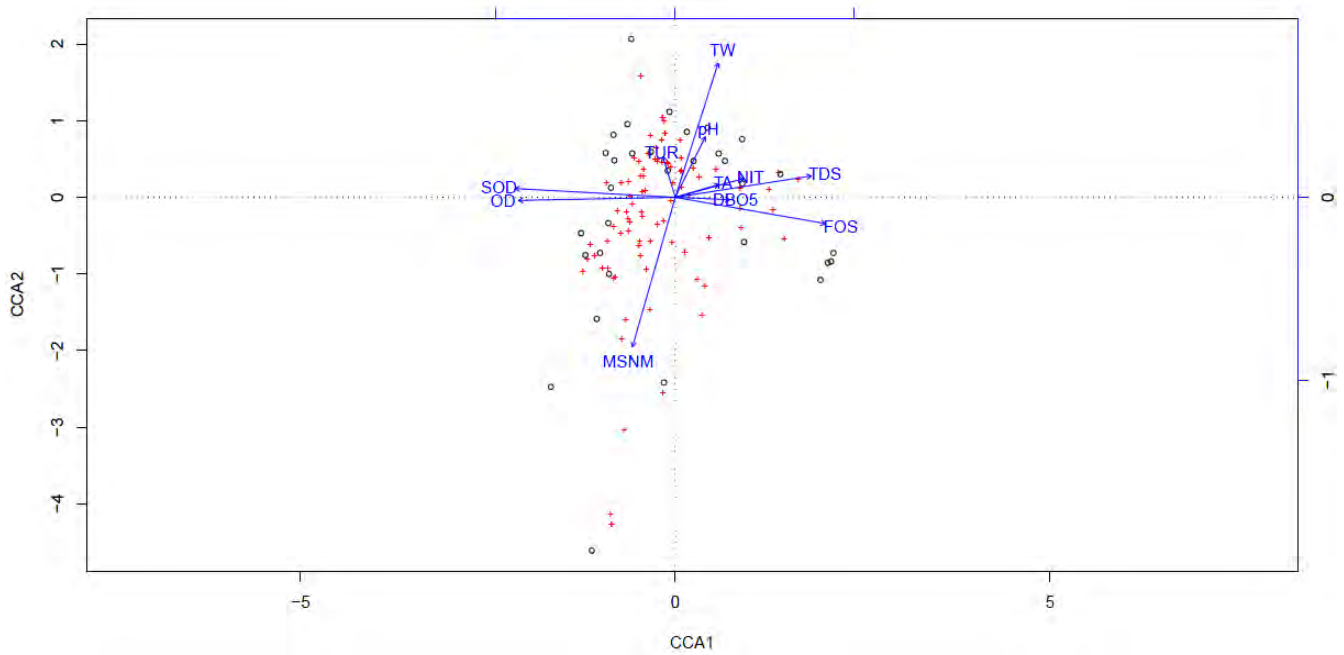


Figura 1. Distribución de los puntos o sitios de muestreo de las aguas de los principales ríos de El Salvador



**Figura 2.** Análisis de Correspondencia Canónica, relacionando la composición de las comunidades de invertebrados acuáticos en los puntos o sitios muestreados y las variables fisicoquímicas evaluadas en los principales ríos de El Salvador. (MSNM; altura sobre el nivel del mar, OD; Oxígeno disuelto, SOD; porcentaje de saturación de oxígeno, TW; Temperatura del agua, TDS; Total de sólidos disueltos, FOS; Fosfatos).

Los puntajes o grados de sensibilidad a la contaminación presentada por los invertebrados acuáticos fueron determinados observando la distribución de abundancia en cada grupo taxonómico, las variables ambientales de mayor impacto en la composición de la comunidad con base a los análisis fisicoquímicos del agua de los principales ríos de El Salvador (Cuadro 3).





**Cuadro 3.** Asignación de puntajes o grados de sensibilidad a la contaminación de los diferentes invertebrados acuáticos presentes en las aguas de los principales ríos de El Salvador

Puntajes o Grados de sensibilidad a la contaminación de las aguas	Invertebrado acuático en los ríos de El Salvador	
	Orden	Familia
0	Diptera	Blephariceridae
1	Odonata	Corduliidae
		Platystictidae
2	Trichoptera	Glossosomatidae
	Odonata	Cordulegasteridae
		Plecoptera
	Calamoceratidae	
	Lepidostomatidae	
	Odontoceridae	
Xiphocentronidae		
3	Blattodea	
	Coleoptera	Gyrinidae
		Lampyridae
		Ptilodactylidae
	Ephemeroptera	Heptageniidae
Trichoptera	Polycentropodidae	
4	Bivalvia	
	Gastropoda	Hydrobiidae
	Coleoptera	Dryopidae
		Elmidae
		Hydroscaphidae
		Noteridae
		Psephenidae
	Hemiptera	Pleidae
	Odonata	Aeshinidae
	Trichoptera	Hydrobiosidae
Hydroptilidae		
Leptoceridae		
5	Acarina	
	Nematoda	
	Planaria	
	Amphipoda	
	Coleoptera	Hydraenidae
		Limnichidae
		Lutrochidae
	Collembola	
	Diptera	Dixidae
		Tipulidae
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	

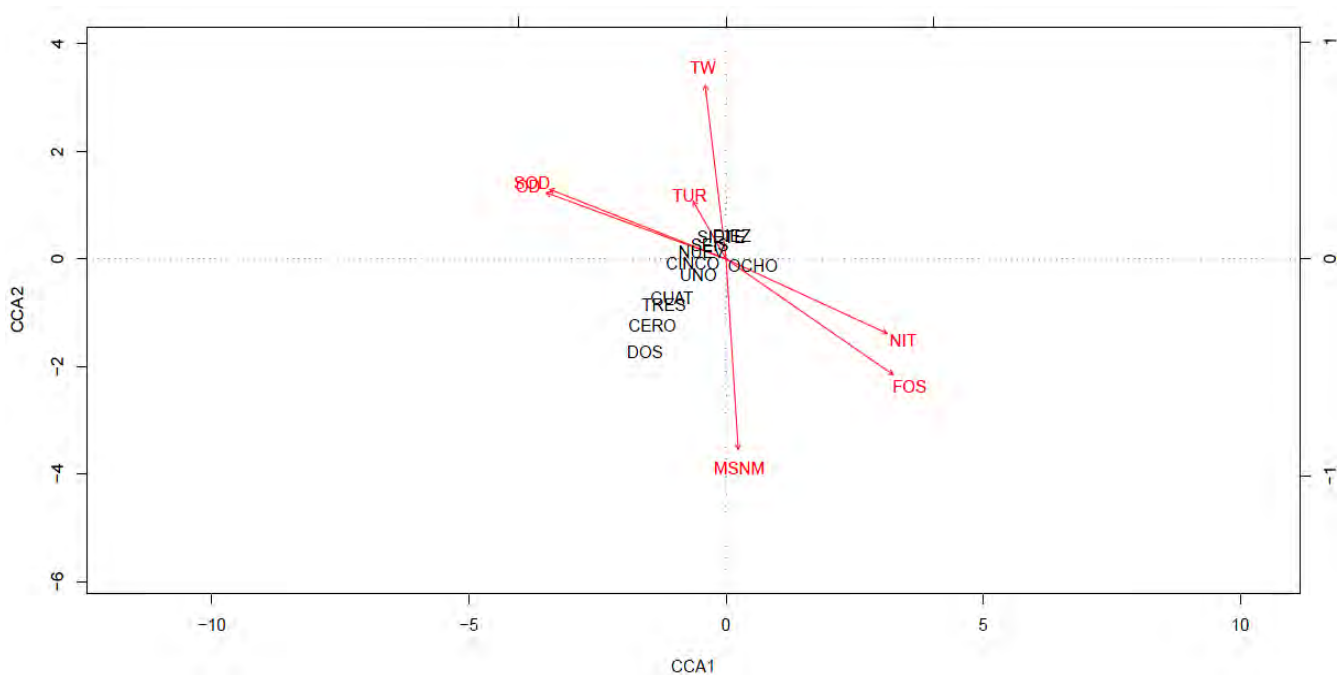


	Hemiptera	Corixidae
		Gelastocoridae
		Mesoveliidae
		Nepidae
		Notonectidae
		Saldidae
		Veliidae
Lepidoptera	Crambidae	
Trichoptera	Helicopsychidae	
	Hydropsychidae	
	Philopotamidae	
6	Decapoda	
	Coleoptera	Curculionidae
		Scirtidae
		Staphylinidae
	Diptera	Dolichopodidae
		Empididae
		Simuliidae
		Stratiomyidae
		Tabanidae
	Ephemeroptera	Baetidae
		Leptohyphidae
	Hemiptera	Gerridae
		Hebridae
Naucoridae		
Odonata	Lestidae	
7	Hirudinea	
	Gastropoda	Planorbiidae
	Coleoptera	Dytiscidae
		Hydrophilidae
	Diptera	Psychodidae
	Ephemeroptera	Caenidae
	Hemiptera	Belostomatidae
		Ochteridae
	Megaloptera	Corydalidae
	Odonata	Calopterygidae
Gomphidae		
Libellulidae		
8	Diptera	Ceratopogonidae
		Chironomidae
9	Gastropoda	Physidae
	Diptera	Ephydriidae
		Muscidae
Odonata	Coenagrionidae	
10	Oligochaeta	
	Diptera	Culicidae
		Syrphidae



### 3. Asociación de puntajes a las características fisicoquímicas en las aguas de los principales ríos de El Salvador.

Los puntajes o grados de sensibilidad a la contaminación del agua asignados a cada grupo taxonómico de invertebrados acuáticos, fueron evaluados contra la variación de las características fisicoquímicas<sup>12</sup> (Fig. 3). En el gráfico del análisis de correspondencia canónica, se observa que los puntajes se ordenan en un eje intermedio entre los vectores de las variables fisicoquímicas más importantes. Esto indica que los valores asignados a los taxones son afectados de manera relativamente homogénea por las condiciones de los puntos o sitios de muestreo de las aguas de los principales ríos evaluados en El Salvador. Para los pocos casos en los cuales se presentó discrepancia en el orden de los valores de los puntajes asignados a los diferentes invertebrados acuáticos, esta es explicada por la poca representación de los grupos taxonómicos en los puntos o sitios muestreados (p. ej. la familia Blephariceridae del orden Diptera).



**Figura 3.** Análisis de Correspondencia Canónica entre las variables fisicoquímicas y los puntajes asignados a los grupos taxonómicos de invertebrados acuáticos encontrados en los principales ríos de El Salvador. (MSNM; altura sobre el nivel del mar, OD; Oxígeno disuelto, SOD; porcentaje de saturación de oxígeno, TW; Temperatura del agua, TDS; Total de sólidos disueltos, FOS; Fosfatos).

<sup>12</sup> El análisis de Correspondencia Canónica fue realizado utilizando el paquete Vegan 1.17-2, en el programa estadístico R.



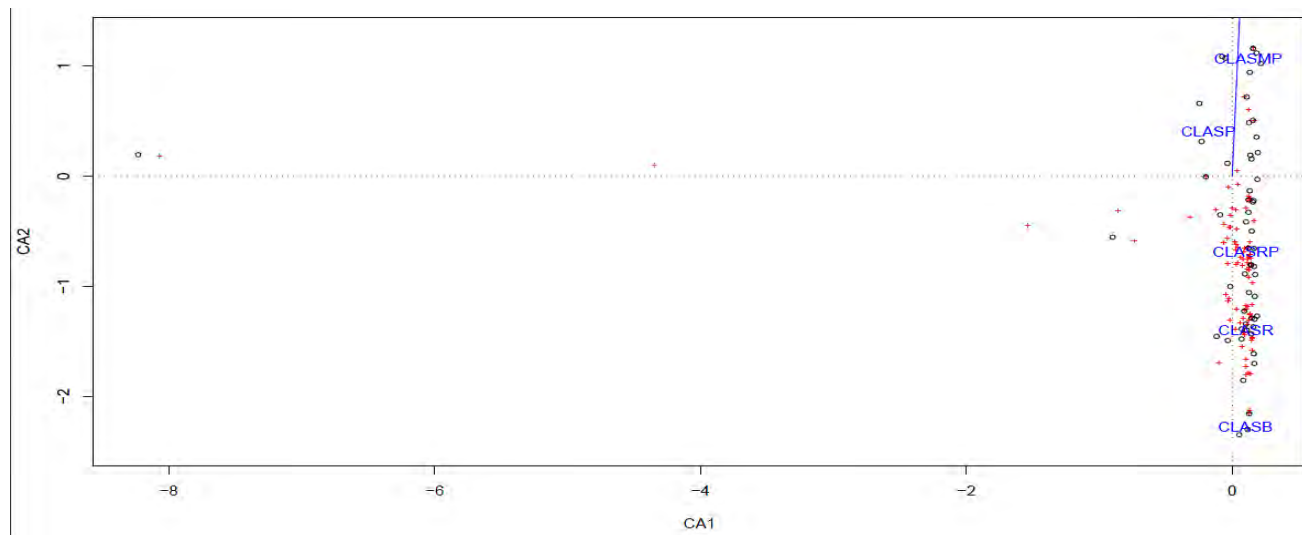
## 4. Características del índice propuesto para El Salvador (IBF-SV-2010)

### 4.1. Capacidad de discriminación

El índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos adaptado para las condiciones de El Salvador (IBF-SV-2010), presenta una buena capacidad para separar a las comunidades de invertebrados acuáticos, provenientes de puntos o sitios de muestreo con diferentes niveles o grados de perturbación (Fig. 4). Esta capacidad se observa principalmente en las categorías intermedias (Pobre, Regular Pobre y Regular).

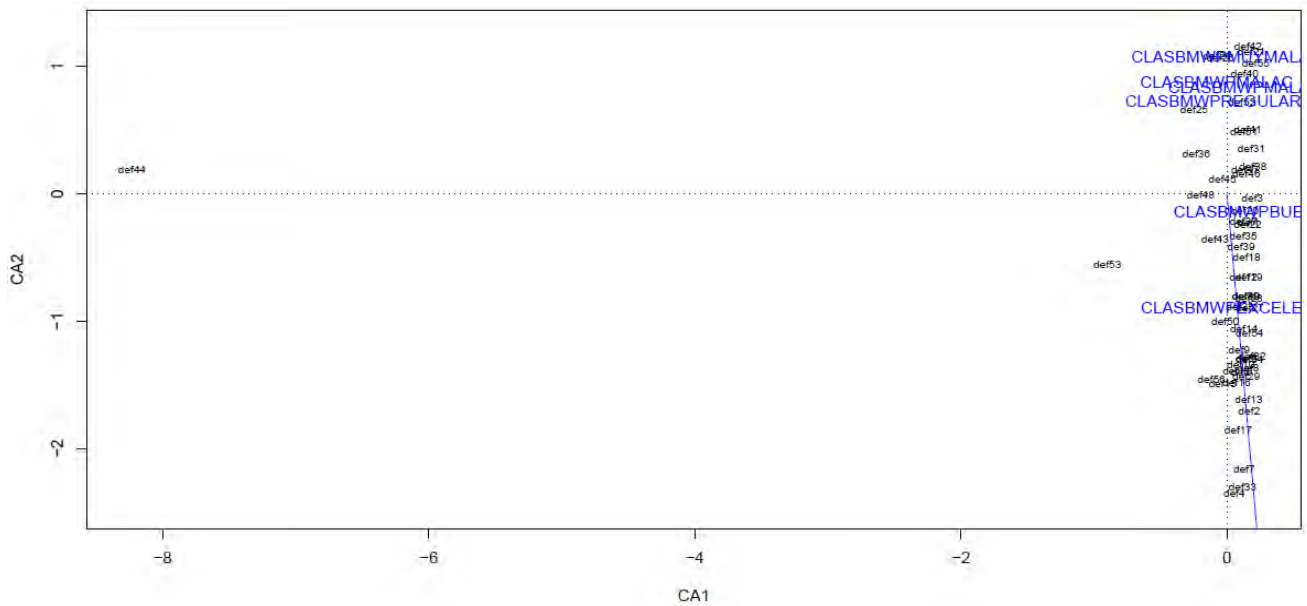
Por el contrario, el uso del BMWP-CR (Fig. 5)<sup>13</sup>, muestra una reducida capacidad de discriminación y tiende a sobreestimar la calidad ambiental del agua en los puntos o sitios muestreados en los principales ríos de El Salvador. La diferencia en la capacidad de separar puntos o sitios de muestreo con diferente calidad ambiental de las aguas, se debe principalmente al hecho que el Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010) toma en cuenta la abundancia relativa de cada grupo taxonómico encontrado, con lo que se obtiene un puntaje más balanceado y representativo de la comunidad de invertebrados acuáticos en estudio y no se ve afectado por la riqueza de grupos taxonómicos encontrados.

En la Figura 6 se muestran en forma general las cantidades de familias de invertebrados acuáticos encontrados en los diferentes puntos o sitios de muestreo de las aguas de los principales ríos de El Salvador.

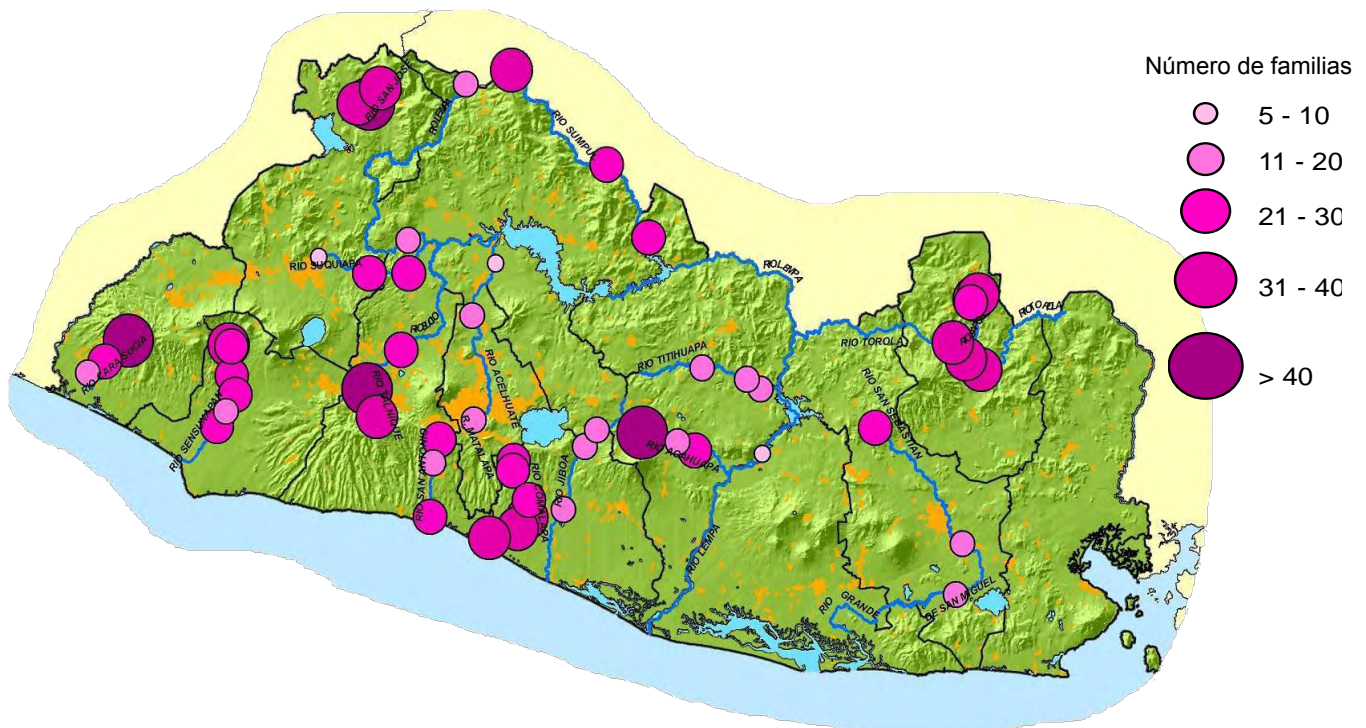


**Figura 4.** Ajuste de las categorías del Índice Biológico a nivel de Familias adaptado para El Salvador (IBF-SV-2010) al Análisis de Correspondencia de las comunidades de invertebrados acuáticos en los puntos o sitios de muestreo evaluados en los principales ríos de El Salvador. (CLASMP; Muy Pobre, CLASF; Pobre, CLASRP; Regular Pobre, CLASR; Regular, CLASB; Buena).

<sup>13</sup> El Análisis de Correspondencia fue realizado utilizando el paquete Vegan 1.17-2, en el programa R. El ordenamiento de los vectores y categorías del BMWP-CR y IBF-SV-2010 fue mediante el uso de la función de ajuste de variables (“envfit”).



**Figura 5.** Ajuste de las categorías del índice BMWP-CR al Análisis de Correspondencia de las comunidades de invertebrados acuáticos en los puntos o sitios de muestreo evaluados en los principales ríos de El Salvador.



**Figura 6.** Riqueza de familias de invertebrados acuáticos en las aguas de los principales ríos de El Salvador.



## XII. Cálculo del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)

En el Cuadro 4, se presenta en forma ilustrada el cálculo del IBF-SV-2010. En la primera columna se ubican los grupos taxonómicos encontrados en el punto o sitio de muestreo, en la segunda columna se representa la abundancia (número de individuos) y en la tercera columna, el puntaje asignado. En primer lugar se multiplica la abundancia de cada grupo taxonómico por el puntaje asignado ( $Abd * Ptj$ ) para posteriormente dividirse entre el número total de individuos recolectados en el punto o sitio de muestreo (Abundancia total). El valor del Índice Biológico a nivel de Familia en El Salvador (IBF-SV-2010) se obtiene sumando estos valores y posteriormente ubicarlo dentro de los rangos de las categorías del índice (Cuadro 5).

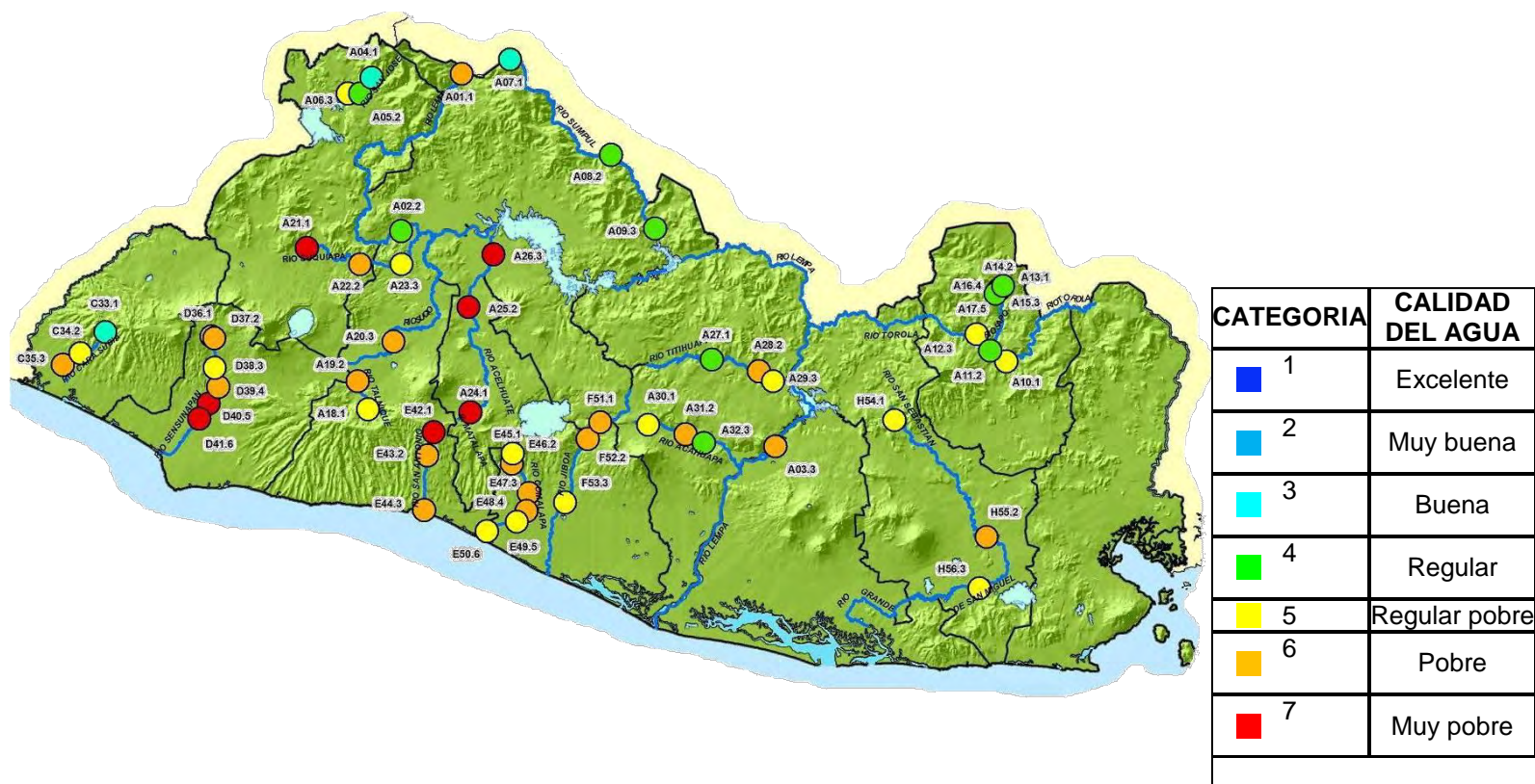
**Cuadro 4.** Ejemplo de cálculo del IBF-SV-2010, con datos hipotéticos.

Grupos taxonómicos	Abundancia	Puntaje	Abd * Ptj	(Abd * Ptj)/Total
Diptera: Chironomidae	136	8	1088	4.217054264
Trichoptera: Hydroptilidae	3	4	12	0.046511628
Odonata: Coenagrionidae	2	9	18	0.069767442
Ephemeroptera: Leptohyphidae	60	6	360	1.395348837
Ephemeroptera: Leptophlebiidae	38	5	190	0.736434109
Gastropoda: Planorbiidae	14	7	98	0.379844961
Decapoda	5	6	30	0.11627907
<b>Abundancia total</b>	<b>258</b>	<b>IBF-SV-2010</b>	<b>6.96</b>	

**Cuadro 5:** Categorías de calida del agua, según resultado obtenido a través del cálculo del IBF-SV-2010.

VALOR IBF-SV-2010	CATEGORIA	CALIDAD DEL AGUA	INTERPRETACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA
0.00 – 3.75	1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76 – 4.25	2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26 – 5.00	3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01 – 5.75	4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76 – 6.50	5	Regular pobre	Contaminación sustancial probable
6.51 – 7.25	6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26 – 10.00	7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

En la Figura 7 y Cuadro 6, se muestran los resultados obtenidos en la presente investigación científica innovadora, para los principales ríos de El Salvador.



**Figura 7.** Clasificación de la calidad de las aguas de los principales ríos del país a través del uso del Índice Biológico o Biótico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Calidad según coloración: azul: bueno; verde: regular; amarillo: regular-pobre; naranja: pobre; rojo: muy pobre.



**Cuadro 6.** Calificación de la calidad del agua de los ríos con base al Índice Biológico o Biótico a Nivel de Familia de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).

Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010
LEMPA	A01.1	Río Lempa, Citalá	712	6.781	POBRE
	A02.2	Río Lempa	300	5.309	REGULAR
	A03.3	Río Lempa	23	6.921	POBRE
	A04.1	Río San José (Área Natural Protegida Montecristo)	830	4.715	BUENO
	A05.2	Río San José	542	5.717	REGULAR
	A06.3	Río San José	478	6.212	REGULAR POBRE
	A07.1	Río Sumpul	2152	4.597	BUENO
	A08.2	Río Sumpul	401	5.166	REGULAR
	A09.3	Río Sumpul	227	5.678	REGULAR
	A10.1	Río Torola	337	5.856	REGULAR POBRE
	A11.2	Río Torola	306	5.655	REGULAR
	A12.3	Río Torola	298	6.335	REGULAR POBRE
	A13.1	Río Talchiga (tributario río Sapo)	730	5.111	REGULAR
	A14.2	Quebrada Las Pilas (tributario río Sapo)	720	5.526	REGULAR
	A15.3	Río Guaco (tributario río Sapo)	660	5.564	REGULAR
	A16.4	Río Sapo	650	5.706	REGULAR
	A17.5	Río Sapo	640	5.346	REGULAR
	A18.1	Río Talnique	596	6.409	REGULAR POBRE
	A19.2	Río Talnique	467	6.516	POBRE
	A20.3	Río Sucio	429	7.034	POBRE
	A21.1	Río Suquiapa	565	8.004	MUY POBRE
	A22.2	Río Suquiapa	381	7.008	POBRE
	A23.3	Río suquiapa	299	6.478	REGULAR POBRE





Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010
	A24.1	Río Matalapa (tributario río Acelhuate)	651	7.897	MUY POBRE
	A25.2	Río Acelhuate	315	7.743	MUY POBRE
	A26.3	Río Acelhuate	255	7.964	MUY POBRE
	A27.1	Río Titihuapa	192	5.994	REGULAR POBRE
	A28.2	Río Titihuapa	60	7.014	POBRE
	A29.3	Río titihuapa	54	5.292	REGULAR
	A30.1	Río Acahuapa	530	6.048	REGULAR POBRE
	A31.2	Río Acahuapa	274	7.016	POBRE
	A32.3	Río Acahuapa	108	5.484	REGULAR
CARA SUCIA SAN PEDRO	C33.1	Río Maishtapula (Afluente del río Cara Sucia, Área Natural Protegida El Imposible)	765	4.478	BUENO
	C34.2	Río Cara Sucia	97	5.762	REGULAR POBRE
	C35.3	Río Cara Sucia	37	6.538	POBRE
GRANDE DE SONSONATE Y BANDERAS	D36.1	Río Sensunapán	1002	6.989	POBRE
	D37.2	Río Sensunapán	834	6.857	POBRE
GRANDE DE SONSONATE Y BANDERAS	D38.3	Río Sensunapán	463	6.321	REGULAR POBRE
	D39.4	Río Sensunapán	261	6.696	POBRE
	D40.5	Río Sensunapán	186	7.805	MUY POBRE
	D41.6	Río Sensunapán	130	7.440	MUY POBRE
MANDINGA COMALAPA	E42.1	Río San Antonio	860	7.985	MUY POBRE
	E43.2	Río San Antonio	559	7.110	POBRE
	E44.3	Río San Antonio	10	6.572	POBRE
	E45.1	Río Comalapa	471	6.294	REGULAR POBRE
	E46.2	Río Comalapa	379	6.969	POBRE
	E47.3	Río Comalapa	99	7.043	POBRE
E48.4	Río Comalapa	84	7.058	POBRE	
MANDINGA COMALAPA	E49.5	Río Comalapa	23	6.413	REGULAR POBRE
	E50.6	Río Comalapa	10	6.069	REGULAR POBRE



Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010
<b>JIBOA</b>	F51.1	Río Jiboa	416	6.788	<b>POBRE</b>
	F52.2	Río Jiboa	337	6.920	<b>POBRE</b>
	F53.3	Río Jiboa	64	6.139	<b>REGULAR POBRE</b>
<b>GRANDE DE SAN MIGUEL</b>	H54.1	Río San Sebastián (tributario R. Grande de San Miguel)	252	5.806	<b>REGULAR POBRE</b>
	H55.2	Río Grande de San Miguel	91	7.052	<b>POBRE</b>
	H56.3	Río Grande de San Miguel	61	6.321	<b>REGULAR POBRE</b>

En forma general, se puede concluir que el índice biológico desarrollado en el marco de la presente investigación ha dado muy buenos resultados, reflejando de manera alarmante el mal estado en el cual se encuentran la mayoría de los ríos del país. Estos resultados también coinciden con un estudio a través de análisis fisicoquímico recién publicado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, MARN (La Prensa Gráfica, El Salvador, C.A., martes 23 de marzo 2010).

Por tanto, la presente investigación innovadora utilizando invertebrados acuáticos, constituye una alternativa de monitoreo de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, luego de respectivas validaciones ya que esta metodología permite reducir significativamente los costos económicos en relación al análisis fisicoquímico y microbiológico convencional. También, permite tener actualizados los inventarios biológicos de los diferentes invertebrados acuáticos de las aguas superficiales del país.

En general se estudiaron 56 puntos o sitios de muestreo distribuidos en 23 ríos (Cuadro 6). Los puntos muestreados se encuentran ubicados en diferentes zonas estratégicas: la zona de altura, zona intermedia y baja. El 5.4% de los sitios de muestreo tienen aguas de calidad buena; mientras que el 21.4% se clasifican como "regular". Más de la mitad de los puntos o sitios estudiados se ubican en las categorías de "regular-pobre" (26.8 %) y "pobre" (33.9%). Finalmente, un 12.5% se clasificaron como "muy pobre" o sea los lugares más contaminados, los cuales corresponden a los ríos: Acelhuate, Suquiapa, San Antonio y Sensunapán (Fig.1). Los pocos puntos (5.4%) considerados en la categoría "buena", corresponden a lugares no sujetos a mucha perturbación antropogénica y ubicados en áreas naturales o parques nacionales protegidas lo cual indica que haciendo un buen uso de los recursos naturales, es factible generar menor deterioro. Ningún río se encuentra en la categoría de Muy Bueno y Excelente.

Debido a que esta investigación se puede considerar a penas como el inicio del desarrollo de la herramienta del biomonitoreo acuático en El Salvador, es sumamente importante que se sigan realizando estudios más a fondo para obtener una mayor cantidad de información sobre la ecología, distribución y taxonomía de los macroinvertebrados acuáticos del país. De



esta forma será posible seguir afinando el índice, en especial los puntajes asignados según el nivel de tolerancia e incluir en algunos casos niveles taxonómicos más finos, como el nivel de subfamilias (p.ej. en Chironomidae). De igual manera, será necesario probar el funcionamiento del índice en diferentes épocas del año (época lluviosa versus época seca) y realizar los ajustes necesarios, si existen.

Finalmente, se espera que esta nueva herramienta contribuya a un mejor manejo de los recursos hídricos del país y logre por ende mejorar la calidad de vida de los pobladores aledaños.

### XIII. Referencias Citadas

- Alba-Tercedor J. & A. Sanchez-Ortega. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1987). *Limnetica* 4: 51-56.
- Asamblea Legislativa de la Republica de El Salvador. 1998. Ley del Medio Ambiente. Decreto No. 233. Diario Oficial No. 79, Tomo No. 339, del 4 de mayo de 1998. El Salvador, C.A. p.5-50.
- Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh & B. Statzner. 2006. Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495–523.
- Cairns, J., Jr. & K.L. Dickson. 1971. A Simple Method for the Biological Assessment of the Effects of Waste Discharges on Aquatic Bottom-Dwelling Organisms. *Water Pollution Control Federation* 43 (5): 755-772.
- Cairns, J. & J.R Pratt. 1993. A history of Biological Monitoring using Benthic macroinvertebrates. *En: Rosenberg D.M. & V.H. Resh. (eds.) 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate. Chapman & Hall Inc. New York, U.S.A. 10-24 p.*
- De Pauw, N. & H.A. Hawkes 1993. Biological monitoring of river water quality. *En: W.J. Walley & S. Judd (eds.), Proceedings of the 'Freshwater Europe Symposium on River Water Quality Monitoring and Control'. Published by Aston University, Aston, U.K. pp. 87–111.*
- Díaz-Martínez, J.A. 1997. Efecto del nivel de resolución taxonómico sobre la determinación de bioindicadores en estudios de impacto ambiental. *En: Rincón et al. (eds.) Seminario Invertebrados Acuáticos y su utilización en estudios ambientales. Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), y Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Santafé de Bogotá, D. C. pp.183–201.*
- Ghetti, P.F. 1997. *Manuale di applicazione dell'Indice Biotico Esteso*. Trento, Italy: Provincia Autonoma di Trento Press
- Guillot-Monroy, G. 1997. Bioindicación: Algunas consideraciones y reflexiones generales. *En: Rincón et al. (eds.) Seminario Invertebrados Acuáticos y su utilización en estudios ambientales. Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), y Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Santafé de Bogotá, D. C. pp. 167-182.*
- Hilsenhoff, W.L. 1987. An improved Biotic Index of Organic stream pollution. *Great Lakes Entomologist Journal* 20: 31-39.



- Hilsenhoff, W.L. 1988a. Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journ. North American Benthological Society* 7(1): 65-68.
- Hilsenhoff, W.L. 1988b. Seasonal correction factors for the biotic index. *Great Lakes Entomologist Journal*. 21:9-13.
- Johnson, R.K., T. Wiederholm & D.M. Rosenberg. 1993. Freshwater Biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. *En: Rosenberg D.M. & V.H. Resh. (eds.). Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate*. Chapman & Hall Inc. New York, U.S.A. pp 488.
- La Prensa Gráfica. 2010. Ríos Principales sin agua de buena calidad. Martes 23 de marzo de 2010, El Salvador, C.A. Sección social, p. 12.
- Mafla Herrera, M. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicas en ríos de tamaño mediano. Turrialba, Costa Rica, CATIE Publ.
- Marchant, R., R.H. Norris & A. Milligan. 2006. Evaluation and application of methods for biological assessment of streams: summary of papers. *Hydrobiologia*: 572: 1-7.
- Metcalfe, J.L. 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present states in Europe. *Environmental Pollution* 60: 101-139.
- MINAE-S. 2007 Decreto No. 33903. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales. La Gaceta No.178. San José, Costa Rica, pp. 7.
- Muñoz-Riveaux, S., C. Naranjo-López, G. Garcés-González, D. D. González Lazo, Y. Musle-Cordero & L. Rodríguez-Montoya. 2003. Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2): 147-153.
- Presidencia de la Republica de El Salvador. 2000. Reglamento especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental. Decreto No. 40. Diario Oficial No. 101, Tomo No. 347, del 1 de junio de 2000. El Salvador, C.A. p.129-137.
- Resh, V.H. & J.K. Jackson. 1993. Rapid Assessment Approaches to Biomonitoring using Benthic macroinvertebrates. *En: Rosenberg D.M. & V.H. Resh. (eds.) 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate*. Chapman & Hall Inc. New York, U.S.A. pp 488.
- Roldan-Pérez, G. 1997. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. *En: Rincón et al. (eds.) Seminario Invertebrados Acuáticos y su utilización en estudios ambientales*. Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), y Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Santafé de Bogotá, D. C. p. 202–206.
- Roldan-Pérez, G.A. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_23/88/375-387.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf) (14 de marzo 2010)
- Roldan-Pérez, G.A. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Ciencia y Tecnología. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Rosenberg D.M. & V.H. Resh. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macro invertebrates. Chapman & Hall Inc. New York, U.S.A. pp 488.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) de El Salvador. 2010. Índice de Calidad del Agua General "ICA". <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf> (27 marzo de 2010).



- Shepard, G. sf (sin fecha). History of the Hilsenhoff Index. <http://www.uwsp.edu/cnr/research/gshepard/History/History.htm> (consultada 15 marzo de 2010).
- Sladeczek, V. 1973. System of Water Quality from the biological point of view. *En*: Elster, H.J. & W. Ohle. 1973. Ergebnisse der Limnologie. Heft 7. Archiv für Hydrobiologie, Stuttgart, Alemania. 218 p.
- Springer M. 2008. Aquatic insect diversity of Costa Rica: State of knowledge. *Revista Biología Tropical* 56: 273-295.
- Williams. D. D. & B.W. Feltmate. 1992. Aquatic Insects. C.A.B. International. Wallingford, Oxon, U.K. pp. 283.
- Zonneveld, I.S. 1983. Principles of bio-indication. *Environmental Monitoring and Assessment* 3. 207-217.

#### XIV. Agradecimientos

El Proyecto “**Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para determinar la Calidad Ambiental de las Aguas de los ríos de El Salvador utilizando Insectos Acuáticos**”, desarrollado desde Mayo de 2009 hasta Marzo de 2010, con apoyo económico del fondo FEMCIDI de la Organización de Estados Americanos (OEA) y coordinado en la Universidad de El Salvador (UES) a través de la Facultad de Ciencias Agronómicas, y el apoyo participativo de personal de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (Sede San Vicente), Facultad de Química y Farmacia (Sede Central), Facultad Multidisciplinaria de Occidente (sede Santa Ana), Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) y Universidad de Costa Rica (UCR); reconocen que el desarrollo del presente proyecto no hubiese sido posible sin la participación y dedicación excepcional de una gran cantidad de personas que desinteresadamente en diferentes instancias y circunstancias brindaron un apoyo clave para la exitosa marcha de las diversas actividades de campo, laboratorio y oficina para generar, procesar y ordenar la información para producir los resultados esperados como principales productos del proyecto.

Por tales razones desea expresar sus más sincero agradecimientos a las personas e instituciones que se mencionan a continuación; no sin antes solicitar las disculpas del caso, si por algún olvido involuntario, se haya omitido algún nombre de personas o instituciones.

A los estudiantes de últimos años y tesis de la Carreras de Ingeniería Agronómica, UES: Jesús Altagracia Zepeda Aguilar, Johanna María Chávez Sifontes, Pedro Enrique Orellana Hernández, Robin Erick Hernández Rivera y Erick Eduardo Orantes Guerrero; quienes dedicaron muchas horas de esfuerzo continuo en campo y laboratorio, para la recolecta y procesamiento de muestras biológicas.

A los estudiantes de últimos años y tesis de las carreras de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, San Salvador, UES: Ana Karla Castillo Ayala y Rubén Ernesto López Sorto; quienes se motivaron por el desarrollo del Proyecto y



apoyaron mucho trabajo especialmente de laboratorio. Además, se agradece el apoyo de Luis Enrique Castillo.

A los estudiantes de años intermedios de la Carrera de Ingeniería Agronómica, San Salvador, UES: Juan Antonio Hernández, José Ricardo Farfán Aguilar, Rafael Antonio Muñoz Aguillón, Noé David Linares Brizuela, María Julia Galan Hernández, y Eddie Arturo Vaquerano Madrid; quienes fueron valioso apoyo eventual para acelerar la limpieza y el procesamiento de muestras biológicas, incluso en días de asueto.

A los estudiantes de años intermedios de la Carrera de Licenciatura en Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, San Salvador, UES: Alejandra Xiomara Perla Ramírez, Javier Alexander Mejía Hernández y Enrique Alfonso Mendoza Vaquerano; quienes brindaron su cooperación con el procesamiento de material biológico en laboratorio.

A los estudiantes de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (San Vicente), UES: Sol María Muñoz Aguillón y Nelson Antonio Ortiz.

A los estudiantes de la Facultad Multidisciplinaria Occidental, Carrera de Licenciatura en Biología (Santa Ana), UES: Adalberto Ernesto Salazar Colocho (Tesista), Cintia Paula García Pineda (Tesista), Patricia Maribel Godínez Guardado (Tesista), Leslie Eunice Quintanilla Carrillo, Rosa María Estrada Hernández, Balmore Mauricio Hidalgo Aguilar y Sergio Salvador Moreno Samayoa; quienes brindaron su cooperación con el procesamiento de material biológico en laboratorio.

A los recién graduados en la Carrera de Ingeniería Agronómica, UES: Ingenieros agrónomos: Ricardo Ernesto Gómez Orellana, Lizzette Hernández Lovato, Dalila Elizabeth Vega Morales, Rosa Margarita Salinas Baquero y Carlos Ernesto Villegas Martínez; cuya cooperación fue siempre espontánea y oportuna, dando su mejor esfuerzo para sumarse a la buena marcha del proyecto desde campo hasta laboratorio.

A los señores motoristas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES: René Herrera, Mauricio Salazar, José Armando Vigil, Felipe Corleto y Marvin Escobar, por tener el esmero y paciencia suficiente, para realizar los viajes de campo desde muy temprano hasta muy tarde del día, hacia diferentes sitios requeridos por el proyecto.

Al personal de mujeres y hombres guarda recursos de las Áreas Naturales Protegidas de los Parques Nacionales de: Montecristo (Metapán, Departamento de Santa Ana), El Imposible (San Francisco Menéndez, Departamento de Ahuachapán), La Joya (San Vicente, Departamento de San Vicente), Río Sapo (Arambala, Departamento de Morazán); quienes siempre brindaron su mejor disposición de acompañamiento y colaboración en la recolecta de material biológico requerido por el Proyecto.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agronómicas (San Salvador), UES: Ing. Agr. Gustavo Henríquez Martínez e Ing. Agr. Dora Antonia Villeda; quienes apoyaron en el procesamiento e identificación de material biológico a nivel de laboratorio. Además, brindaron su apoyo Ing. Agr. M.Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Agr. Balmoro Martínez Sierra. A Lic. Macario Pineda y William Alexander Aguilar, quienes cooperaron con alguna



necesidad de traducción de inglés al español. A la Licda. Idalia Rosmeri Erroa Ramos, por su apoyo en el trabajo de diatomeas.

A los docentes del Departamento de Ciencias Agronómicas de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (San Vicente), UES: Lic. Nelsus Armando López Turcios y Wilber Samuel Escoto, por su colaboración en actividades de campo y laboratorio que requirió el proyecto.

A los investigadores entomólogos: Dra. Andrea Joyce (Univ. de Texas A&M) y Dr. Mark Breindenbaugh (Youngstone Air Reserve Station, Department of Defense, U.S.A); quienes visitaron al proyecto, impartiendo charlas e identificación de insectos acuáticos y brindaron ideas para nuevas visiones de posibles trabajos futuros que podrían relacionarse con el avance actual de los estudios del proyecto.

A los siguientes investigadores de la Universidad de Costa Rica: M.Sc. Monika Springer, Lic. Pablo Gutiérrez y Lic. Danny Vásquez; por el apoyo muy valioso e incondicional en capacitaciones teórica-prácticas, identificación y conteo de los individuos de las diferentes familias de organismos acuáticos y asesoría en el ordenamiento de la información. A la M.Sc. Catalina Benavides, quien ayudó con la revisión de los mapas de distribución y el Atlas de organismos acuáticos y a Lic. Fresia Villalobos por su ayuda con la revisión y edición de los documentos. Además, al Biol. Edwin Céspedes por su apoyo en el trabajo de diatomeas.

Al equipo de técnicos responsables de la ejecución de las actividades centrales de campo, laboratorio y oficina del proyecto, dentro del área de acción propia de cada una de sus unidades de trabajo: Licda. Biol. M.Sc. Ana Jeannette Monterrosa Urías (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador); Ing. Agr. Dagoberto Pérez (Departamento de Agronomía, Facultad Multidisciplinaria Paracentral); Ing. Agr. M.Sc. Miguel Ángel Hernández Martínez (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Unidad de Postgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas); Licda. Quím., Blanca Lorena Bonilla de Torres, Licda. Quím. Ada Yanira Arias de Linares, Lic. Quím. Freddy Alexander Carranza Estrada, Lic. Quím. Juan Milton Flores Tensos (Laboratorio Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas); Licda. Quím. Coralia de los Ángeles González Velásquez (Laboratorio de Microbiología, Facultad de Química y Farmacia / CENSALUD); Lic. Biol. David Rosales Arévalo (Departamento de Biología, Facultad Multidisciplinaria Occidental); Ing. Agr. M.Sc. Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos (colaboración particular); Ing. Agr. MSc Andrés Wilfredo Rivas Flores, Ing. Agr. MSc. Rafael Antonio Menjívar Rosa e Ing. Agr. Leopoldo Serrano Cervantes (Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas).

Al personal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), por su apoyo durante toda la ejecución del proyecto, proporcionando los permisos de recolecta científica e incorporando a técnicos en las actividades. Algunos de ellos se mencionan a continuación: Dr. Jorge Quezada, Dr. Enrique Barraza, Lic. Néstor Herrera, Licda. Zulma de Mendoza, Licda. M.Sc. Ana Jeannette Monterrosa Urías y Lic. Walter Rojas.



Al personal del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET-MARN), por su apoyo a través del Laboratorio de Calidad de Agua. Algunos de ellos se mencionan a continuación: Ing. Ana Deisy López Ramos, Ing. Zulma Mena y Licda. Bessy Margarita Soto.

A la Organización de Estados Americanos (OEA), en sus oficinas centrales en Washington, USA. y la representación en El Salvador; por su confianza, apoyo financiero, administrativo y logístico al proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Mónica Gómez e Ing. Santiago Noboa (Gerencia General FEMCIDI, Washington, USA), Ing. Rogelio Sotela (Representante oficina de la OEA en El Salvador), Licda. Milagro Martínez de Torres Chico (Oficial Técnico Administrativo), Sr. Jorge Morataya, Sra. Gertrudis Bonilla, Sra. María Santos Enamorado y Srta. Claudia Menjívar (OEA-El Salvador).

A la Junta Directiva y al personal del Decanato y Vice-decanato de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES, por respaldo institucional, apoyo administrativo y logístico para la ejecución de las distintas actividades requeridas por el proyecto.

A la Rectoría, Consejo Superior Universitario y Asamblea General Universitaria de la Universidad de El Salvador, por otorgar respaldo institucional como contraparte del proyecto.

Al personal de Relaciones Internacionales de la Universidad de El Salvador (UES), por su valioso apoyo en la gestión para la aprobación del proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Ada Ruth Gonzáles de Nieto, Lic. María Teresa Escalona y Lic. Francisco Gutiérrez.

Al personal del Ministerio de Relaciones Exteriores de El Salvador, por su valioso apoyo en la gestión para la aprobación del proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Doribel Quintanilla y Lic. Francisco Rivas.

Al personal del programa Campus de la Universidad de El Salvador (UES), por apoyar en divulgación televisiva y escrita de actividades del proyecto.

Gracias a Dios sobrepasamos las metas propuestas.

Con sincero reconocimiento y a nombre del grupo de docentes investigados principales responsables de la ejecución del proyecto.

Atentamente:

**Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas**  
Coordinador General del Proyecto  
E-mail: jmsermeno@yahoo.com; jose.sermeno2010@gmail.com





# ANEXO 1. DOCUMENTOS TÉCNICAS GENERADOS CON EL PROYECTO Y MATERIAL DE APOYO PARA APLICAR EL ÍNDICE BIOLÓGICO A NIVEL DE FAMILIA EN EL SALVADOR (IBF-SV-2010)

**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

### Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos

**AUTORES:**  
 Dagoberto Pérez  
 Leopoldo Serrano Cervantes  
 José Miguel Sermeño Chicas  
 Monika Springer  
 Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos  
 Miguel Ángel Hernández Martínez  
 Andrés Wilfredo Rivas Flores  
 Ana Jeannette Monterrosa Urias  
 Blanca Lorena Bonilla de Torres  
 Freddy Alexander Carranza Estrada  
 Juan Milton Flores Tenso  
 Coralia de los Ángeles González  
 Pablo E. Gutiérrez Fonseca  
 Rafael Antonio Menjivar Rosa  
 Ada Yanira Arias de Linares  
 Johanna María Chávez Sifontes  
 Sol María Muñoz Aguilón  
 Nelsus Amando López Turcios  
 David Rosales Arévalo



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

### Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador

**Autores:**  
 José Miguel Sermeño Chicas  
 Dagoberto Pérez  
 Sol María Muñoz Aguilón  
 Leopoldo Serrano Cervantes  
 Andrés Wilfredo Rivas Flores  
 Ana Jeannette Monterrosa Urias

**Editora:**  
 Monika Springer

Ciudad Universitaria, San Salvador, febrero de 2010

**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

### Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA)

**Autores**  
 Blanca Lorena Bonilla de Torres  
 Freddy Alexander Carranza Estrada  
 Juan Milton Flores Tenso  
 Coralia de los Ángeles González  
 Ada Yanira Arias de Linares  
 Johanna María Chávez Sifontes

**Editores**  
 Monika Springer y José Miguel Sermeño Chicas



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010

**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**


Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

### Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Odonata en El Salvador

**Autores:**  
 José Miguel Sermeño Chicas  
 Dagoberto Pérez  
 Pablo E. Gutiérrez-Fonseca

**Editora:**  
 Monika Springer

**Elaboración de mapas:**  
 Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010





**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/IAICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Ephemeroptera en El Salvador**



**Autores:**  
Leopoldo Serrano Cervantes  
Altagracia Zepeda Aguilar

**Editores:**  
Monika Springer  
Jose Miguel Semeño Chicas  
Danny Vásquez Acosta

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**


Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/IAICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Plecoptera en El Salvador**



**Autores**  
Pablo E. Gutiérrez Fonseca  
José Miguel Semeño Chicas  
Johanna María Chávez Sifontes

**Editora**  
Monika Springer

**Elaboración de mapas**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, El Salvador, marzo de 2010



**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**


Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/IAICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros de los órdenes Megaloptera y Neuroptera en El Salvador**



**Autores:**  
Rubén Ernesto López Sorto  
José Miguel Semeño Chicas  
Dagoberto Pérez

**Editora:**  
Monika Springer

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**


Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/IAICD).

**Guía ilustrada para el estudio Bioecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Neuroptera**

**Autores:**  
Rubén Ernesto López Sorto  
José Miguel Semeño Chicas  
Dagoberto Pérez

**Editores:**  
Monika Springer

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad universitaria, San Salvador, marzo de 2010



**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Diptera en El Salvador**

**Autor:**  
Rafael Antonio Menjivar Rosa

**Editores:**  
Monika Springer  
José Miguel Sermeño Chicas

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010

**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador**

**Autor:**  
Pablo E. Gutiérrez-Fonseca

**Editores:**  
Monika Springer  
José Miguel Sermeño Chicas

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, El Salvador, febrero de 2010

**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**


Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Trichoptera en El Salvador**

**Autores:**  
Monika Springer  
Leopoldo Serrano Cervantes  
Aitagracia Zepeda Aguilar

**Editor:**  
José Miguel Sermeño Chicas

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010

**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**

Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

**Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Lepidoptera en El Salvador**

**Autores:**  
Leopoldo Serrano Cervantes  
Aitagracia Zepeda Aguilar


**Editores:**  
Monika Springer  
José Miguel Sermeño Chicas

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez




Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010





**FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**



Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDIAICD)

## Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador

**Autor:**  
Bernald Pacheco-Chaves

**Editores:**  
Monika Springer  
José Miguel Semeño Chicas

**Elaboración de mapas:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez






Foto por K. KINOSHITA/ISTOCK

Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



**FORMULACION DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**




Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDIAICD).

## I Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador

**Autores:**  
Andrés Wilfredo Rivas Flores  
Ricardo Ernesto Gómez Orellana  
Ana Jeannette Monterrosa Urias

**Editores:**  
José Miguel Semeño Chicas  
Monika Springer



Ciudad Universitaria, El Salvador, marzo de 2010



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**



## ATLAS GEOGRÁFICO DE LOS INSECTOS ACUÁTICOS INDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR



**Autores:**  
Miguel Ángel Hernández Martínez  
Dagoberto Pérez  
Leopoldo Serrano Cervantes  
José Miguel Semeño Chicas  
Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos  
Monika Springer  
Ana Jeannette Monterrosa Urias



Proyecto financiado por fondos FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDIAICD)

**CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, 2010**