



Artículo: ANEI-S49907

IX CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN
Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas
Culiacán, Sinaloa, México, 27-29 de Octubre de 1999

BIOMONITOREO DE RIOS EN LA GESTION DE CUENCAS;
Una aproximación introductoria.

A. Sánchez-Vélez
R. M. García-Núñez
Universidad Autónoma Chapingo

Resumen

Se presenta una alternativa a los procedimientos tradicionales de determinación de parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua en arroyos y ríos, que es el biomonitoreo basado en indicadores biológicos.

La información presentada hace algunas referencias básicas sobre la presencia o ausencia de ciertas especies y la densidad de ciertos grupos funcionales. Se hace alusión a escalas de biomonitoreo y técnicas específicas para biomonitoreo de corrientes.

Introducción

Aun cuando la contaminación del agua es ante todo un problema biológico, muchos países han dependido esencialmente de parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua en arroyos y ríos. Y aunque los laboratorios modernos cuentan con secuelas de determinación de calidad de agua tan sensibles que incluso es posible detectar trazas de venenos en cualquier muestra, estos métodos involucran reactivos y equipos generalmente caros y sofisticados, además del tiempo requerido para su análisis.

En el mismo tenor de consideraciones, muchos autores indican que los análisis químicos solo son una “instantánea fotográfica”, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución (disolución) de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos. Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años muchos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de **biomonitoreo** basadas en *indicadores biológicos*, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en las corrientes de agua.

Son muchas las especies que desde hace siglos se han identificado y utilizado para detectar la existencia de sustancias tóxicas, y consecuentemente inferir sobre la calidad y condiciones de un ambiente contaminado. A estas se les ha dado el nombre genérico de *bioindicadores*. Por ejemplo los mineros utilizaban los canarios para detectar la presencia de gases letales antes de internarse en las minas. Para el caso particular de los grandes centros urbanos, uno de los indicadores más notables en la contaminación del aire en las ciudades es la presencia de líquenes, que son especies particularmente sensibles a concentraciones importantes de SO₂ y otras impurezas atmosféricas (CNRS, 1992). Otros investigadores han ensayado la sensibilidad de diferentes especies a una amplia gama de contaminantes como es el caso de las algas ante determinadas concentraciones del anhídrido sulfuroso, las plantas del tabaco al ozono (O₃) y la lechuga a los peroxiacilnitratos (PAN).

De igual manera, para el caso de las corrientes de agua, algunos anélidos y gusanos tubiformes fueron considerados desde hace muchos años como tolerantes a la contaminación (saprobios), mientras que ciertos tipos de larvas de moscas de agua, fueron clasificados como altamente sensibles.

Actualmente el uso de indicadores biológicos de la calidad ambiental ha mejorado, y algunos de los avances más significativos se tienen en el biomonitoreo de corrientes y ríos a través del conocimiento de diferentes grupos de macroinvertebrados, plantas y microorganismos cuyas poblaciones son sensibles a diferentes tipos de agentes químicos, biológicos y físicos. Los insectos acuáticos son el ejemplo más relevante, y aunque en México algunas instituciones han realizado investigación respecto a estos grupos, sus aplicaciones en relación a la calidad del agua en las corrientes son poco conocidas.

De esta manera la presencia, o ausencia de ciertas especies, así como la densidad de ciertos *grupos funcionales* (que más adelante referiremos), nos presentan unidades de medición sobre las condiciones cualitativas de una corriente de agua. De tal suerte, que una vez conocido y caracterizado un ecosistema fluvial, la presencia y proporción de determinados individuos o taxas, puede estar nos indicado de manera directa y precisa concentraciones específicas de alguna sustancia contaminante y su fuente probable. En las páginas que siguen daremos algunas referencias básicas sobre el particular.

Procesos de Contaminación en Arroyos y Ríos

Por la actividad agrícola y el drenaje urbano

La contaminación del agua es desde hace al menos cuatro décadas un serio problema en México. La tecnología agrícola introducida al país bajo el esquema de la Revolución Verde significó esencialmente el uso intensivo de pesticidas y fertilizantes químicos cuya aplicación sigue todavía conduciendo hacia las corrientes de agua (ya sea por lixiviación o vía superficial) los excedentes del riego, con una ingente carga contaminante de nitritos, nitratos y fosfatos.

Por otro lado, los programas gubernamentales para el desarrollo rural continúa financiando la instalación de redes de drenaje a miles de comunidades y ciudades pequeñas, para coleccionar las aguas residuales, que mezcladas a las pluviales son vertidas directamente a los ríos, las cuales, en más de las veces, sin pasar por una planta de tratamiento. En las ciudades medias, se adicionan además, las descargas industriales. A nivel nacional se generan 231 m³/seg de aguas residuales. De estos, se recolectan por sistemas municipales de alcantarillado 174 m³/seg con una carga contaminante de 4,945 ton/día de materia orgánica. En el país se tratan 60 m³/seg, removiéndose .53 millones de m³ de materia orgánica, la cual representa tan solo el 28% del total generado, el resto va a los ríos, lagos y subsuelo hasta que cierto volumen alcanza las costas (IMTA, 1998).

Por la actividad silvícola y erupciones volcánicas

Hay que mencionar que la actividad silvícola que tiene lugar en las partes altas de las cuencas, ha propiciado también severos problemas de contaminación de manantiales y arroyos de montaña que abastecen los grandes centros de población urbana y rural. Por ejemplo, las corrientes que descienden de las zonas boscosas pueden desoxigenarse debido a que en ellos se deposita demasiada materia orgánica por el arrastre ocasionado por las actividades de extracción maderera, y cuando ésta se descompone los resultados son similares a los de una polución importante, causada por aguas domésticas sin tratamiento. Aunque menos frecuente, los vapores de un volcán en actividad pueden contener tanto azufre que los escurrimientos pueden matar a la vegetación litoral, acuática y subacuática de la red de drenaje de cuencas completas.

Por la actividad pecuaria

Por otra parte, las excretas de la ganadería conocidas también como biosólidos, representan hoy día el 33% de la fuente de contaminación de las corrientes superficiales y subterráneas. Después de la industria y la agricultura, se ha calculado que en la república Mexicana se generan 47.82 millones de toneladas de excretas animales, de las cuales un 50% son concentradas en áreas urbanas. Desde luego el más pernicioso de los estiércoles es el del cerdo debido a la presencia de ácido sulfídrico (Zepeda, 1998).

No obstante la contaminación natural y antropogénica, y dependiendo de las características de la carga contaminante, las corrientes de agua tiene la capacidad de absorber cierta volumen de polutantes. Gracias a la actividad microbiológica y a las cadenas tróficas existentes dentro de los ecosistemas fluviales, se logran descomponer en cierto periodo de tiempo los contaminantes y la materia orgánica, en sustancias más simples e inocuas como bioóxido de carbono y agua. Con base en lo anterior resulta indispensable contar con sistemas de monitoreo y control, que sean rápidos y seguros, a fin de promover tecnologías y estrategias de contingencia, cuando la carga contaminante exceda a la capacidad amortiguadora del ecosistema y afecte su integridad a corto o mediano plazo.

Algunas definiciones básicas

¿Qué es un bioindicador?

Un indicador es un elemento de medición asociado a un factor que proporciona una medida cuantitativa o cualitativa de la evolución en magnitud de un fenómeno con base a una función de valores de dichos elementos (Ayala, 1998). En el mismo sentido, un **bioindicador** es un organismo vivo que puede ser desde un microbio, un insecto o un pez, hasta una planta o alga, que nos permite cuantificar y calificar el nivel y evolución de la contaminación presente en un sistema acuático determinando en virtud de su sensibilidad diferencial a diversas sustancias tóxicas.

Tratándose de corrientes de agua, los indicadores biológicos casi siempre son referidos por grupos de organismo que responden fisiológica o conductualmente a un amplio espectro de sustancias o concentraciones tóxicas, sean éstas de origen orgánico o inorgánico; natural o de influencia humana. En dichos organismos, o las poblaciones de éstos, podemos conocer y observar los efectos acumulativos a lo largo del tiempo, ya que miden directamente los parámetros requeridos en un momento dado y ofrecen resultados altamente confiables en comparación con las técnicas convencionales de laboratorio, que como ya se cito antes, consisten en secuelas de análisis químicos con gran inversión de tiempo, y que son también mucho más costosas.

¿Qué es un índice y un bioensayo?

Los índices son valores específicos de un indicador, por ejemplo los *imecas* (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire) que expresan las concentraciones de gases sobre la calidad del aire de la ciudad de México tienen como límite aceptable, 180 puntos de ozono. Igualmente, 37 grados centígrados de temperatura es el índice normal de la temperatura corporal.

Por otra parte, un bioensayo consiste en la investigación experimental que se realiza cuando se somete a un organismo a ciertas concentraciones de sustancias tóxicas, para evaluar la respuesta fenológica, morfológica o conductual de ese elemento sensible. Los daños observados, proporcionan un índice de éstos, independientemente de las condiciones ambientales. En suma, éstos factores forman parte de los métodos para evaluar la calidad e indirectamente la pérdida y disponibilidad del recurso agua, suministrando información sobre las fuentes de contaminación y permitiendo valorar y calibrar los equipos de control de acuerdo a ciertos índices preestablecidos.

Escalas de Biomonitorio

El biomonitorio que usa organismos acuáticos como indicadores tiene diferentes niveles de intensidad, cubriendo diferentes rangos respecto a la perspectiva temporal y espacial de las diferentes medidas a emplear. Estos niveles pueden ser desde la identificación de una sola especie, para analizar sus órganos o sistemas, ante la presencia de sustancias agresivas, pasando por poblaciones específicas, comunidades o el ecosistema fluviales en su integridad.

Cuando se aplica el biomonitorio tomando como referencia una especie en particular, se parte de diferentes referencias, las cuales van desde la observación de sus características morfológicas (por ejemplo la detección de deformidades) o fisiológicas, para medir el estrés causado de una forma cualitativa. Estos organismos específicos se han considerando *especies centinelas o bioindicadores*.

Cuando se trata de poblaciones de diferentes especies, se analiza el grado de tolerancia o sensibilidad de esos grupos a un determinado contaminante. Generalmente a estos se les reconoce como Índices Bioticos y pueden ser específicos para un solo contaminante, o bien pueden ser multispecíficos cuando se busca determinar la presencia de más una sustancia. **Los índices Bioticos de calidad de agua** son diferentes tipos de medidas (llamados en inglés METRICS) respecto a la estructura, composición y función de la comunidad acuática. Estas medidas pueden ser agrupadas en varias categorías:

- 1) Diversidad interespecífica
- 2) Conteo de órdenes selectos EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera).
- 3) Índices de Shannon o índices de diversidad
- 4) Evaluación de grupos funcionales
- 5) Índices de similaridad entre comunidades

Cuando se trata de monitorear la calidad del agua utilizando la comunidad (un conjunto de poblaciones de diferentes especies) se intenta resumir la magnitud, las consecuencias ecológicas, o el grado de impacto no de una especie en particular, sino de prácticamente todo el sistema de interés. Por esta razón el análisis que emplea comunidades compuestas por macroinvertebrados incluye no solo insectos acuáticos, sino también moluscos, algas, microorganismos, peces, etc.. Este enfoque ha recibido gran atención como estudio cuantitativo, el cual generalmente incluyen el planteamiento de ciertas hipótesis, determinándose previamente el tamaño de las muestras y el uso de análisis estadísticos como herramientas respecto a sitios específicos del ecosistema ripario. Obviamente, entre más detallado es el análisis más confiables serán los resultados.

Por otra parte, el monitoreo basado en indicadores biológicos puede ser: 1) de reconocimiento preliminar, para determinar las condiciones antes y después de un impacto (v.g. una descarga de sustancias tóxicas), para evaluar los efectos en las especies, poblaciones o comunidades, y, 2) las evaluaciones regulares que permiten conocer permanentemente el grado de toxicidad existente en la corriente para garantizar que no se excedan, por ejemplo, los niveles autorizados de descargas industriales.

Biomonitoreo de corrientes

El biomonitoreo puede ser definido como el uso sistemático de sensores biológicos para evaluar cambios en el ambiente y fundamentar medidas para mejorar la calidad del agua y el habitat circundante. La evaluación indirecta de la calidad del agua de una corriente basada en bioindicadores consiste en:

- 1) La evaluación del habitat
- 2) Evaluación biológica o condición ecológica dependiendo el nivel especie o comunidad.
- 3) La determinación de índices de calidad

Por otra parte, las hipótesis básicas del biomonitoreo de corrientes utilizando macroinvertebrados acuáticos asumen que:

- 1) La tolerancia a diferentes contaminantes afecta también diferencialmente a los distintos componentes biológicos del sistema fluvial.
- 2) Los organismos acuáticos presentan diferentes grados de tolerancia a los contaminantes
- 3) Los índices de tolerancia para cada taxón son evaluados para cada tipo de contaminación: Usualmente se valora la contaminación orgánica pero también acidez, metales pesados, etc.

El uso de las técnicas del monitoreo para evaluar la calidad del agua a llegado a ser un proceso estandarizado de procedimientos aplicado en muchos países. El énfasis es puesto en los grupos taxonómicos del *bentos*¹, particularmente macroinvertebrados, aunque también se utilizan peces, algas y microorganismos. Los grupos más importantes utilizados son:

- 1) Algas verdi-azules
- 2) Algas verdes
- 3) Algas largas de forma arborescente
- 4) Euglenas
- 5) Dinoflogelados
- 6) Diatomeas
- 7) Musgos
- 8) Macro y microfitas

En el caso de la fauna se tienen:

- 1) Microorganismos unicelulares
- 2) Esponjas
- 3) Hidras
- 4) Rotíferos
- 5) Anélidos y gusanos planos
- 6) Artropodos:Crustáceos, insectos y arácnidos
- 7) Moluscos
- 8) Peces
- 9) Batracios y reptiles
- 10) Vertebrados mayores

Cabe mencionar que los parámetros físico-químicos y el estudio de los procesos de descomposición de detritus también pueden ser utilizados para complementar la caracterización de una corriente. Es decir, en la práctica, los procedimientos convencionales de laboratorio no son mutuamente excluyentes en relación al biomonitoreo, sino de hecho son complementarios.

¹ El Bentos es el fondo o lecho de la corriente de agua. En contraparte a las aguas lólicas, quietas como las de los lagos o pozas donde el habitat es de depositación. De la misma manera, los habitats lólicos que corresponden a las aguas en movimiento, que son sitios de erosión y transporte.

Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores clave

El uso de macroinvertebrados para valorar y determinar la calidad del agua tiene cuando menos 100 años de antigüedad. De estas técnicas, los insectos han sido el grupo más estudiado para evaluar la calidad del agua por muchos investigadores.

Los insectos acuáticos son generalmente abundantes, relativamente fáciles de coleccionar y tienen el suficiente tamaño para ser observados sin necesidad del microscopio, o cuando menos se precinde de infraestructura sofisticada. Por otra parte, la literatura menciona que en términos generales existen pocas diferencias en la entomofauna acuática que existe en los ríos y lagos naturales y la de los canales artificiales y presas. Los insectos acuáticos presentan las siguientes ventajas de acuerdo a Rosenberg y Resch (1996):

- 1) Son casi omnipresentes
- 2) Son sedentarios
- 3) Son extremadamente sensibles a perturbaciones
- 4) Presentan largos ciclos de vida
- 5) Muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto
- 6) Existe un patrón de estímulo-respuesta ante alteraciones físico-químicas
- 7) Existen ya métodos de evaluación y un conocimiento sobre taxonomía para algunas regiones.

En este último punto cabe mencionar que aunque la especie puede ser la unidad básica apropiada para muchos tipos de estudios ecológicos en sistemas acuáticos, el nivel de resolución taxonómica en términos de identificación puede no ser siempre de total efectividad, dada la complejidad de los ciclos de vida de este grupo y en muchos casos debido a que no se cuenta con las claves y estudios sobre su sistemática. Pero cuando al menos se puede alcanzar el nivel de orden, ésta categoría de clasificación nos puede brindar suficientes evidencias sobre el estado que guardan los recursos hídricos en función de los procesos ecológicos que ocurren respecto a algunos de sus componentes.

Ahora bien, la distribución y abundancia de las poblaciones de insectos acuáticos es analizada desde la perspectiva de la tolerancia de éstos, a diferentes fuentes de impacto y contaminación, y a fluctuaciones ambientales tales como:

- 1) Los requerimientos térmicos de las especies
- 2) Las interacciones entre el hábitat y los recursos alimenticios disponibles a lo largo de las estaciones del año y
- 3) Las fases de los ciclos de vida.

En las aguas corrientes (lóticas) interconectadas a las aguas quietas tales como reservorios y lagos, la expansión y contracción del hábitat como un todo, asociado a las fluctuaciones en el régimen de crecidas afecta la distribución y abundancia de las poblaciones de insectos a lo largo del año. Tal situación puede dar la apariencia de diferencias absolutas en la abundancia, la cual es expresada como el número de individuos por unidad de área (Cummins y Merrit, 1996).

Los patrones de distribución son el resultado de una apropiada combinación entre la forma de vida (locomoción, fijación, escondites, etc), que la especie ocupa y los factores físicos del hábitat, sustrato, flujo de la corriente, turbulencia, etc. y la disponibilidad de alimento supeditada por las perturbaciones y heterogeneidad de condiciones locales. De tal suerte que los insectos adaptados a los arroyos de montaña donde la fuerza de la corriente es evidente, muestran formas aerodinámicas en su estructura corporal (aplanado dorsoventral) que les facilita nadar a contra corriente, fijarse en las rocas o vivir a la deriva (Allan, 1996).

La distribución y la abundancia de los insectos acuáticos frecuentemente son el objetivo de los estudios sobre poblaciones y comunidades acuáticas, o la determinación e identificación de algunas especies clave dentro de toda una comunidad.

Grupos funcionales

Muchos autores, entre ellos Cummins y Wilzbach(1985), han desarrollado procedimientos de biomonitoreo basados en lo que ellos denominan *grupos funcionales*. Estos, consideran esencialmente los mecanismos conductuales en la obtención de alimento y la morfología de las especies(Fig.1.).

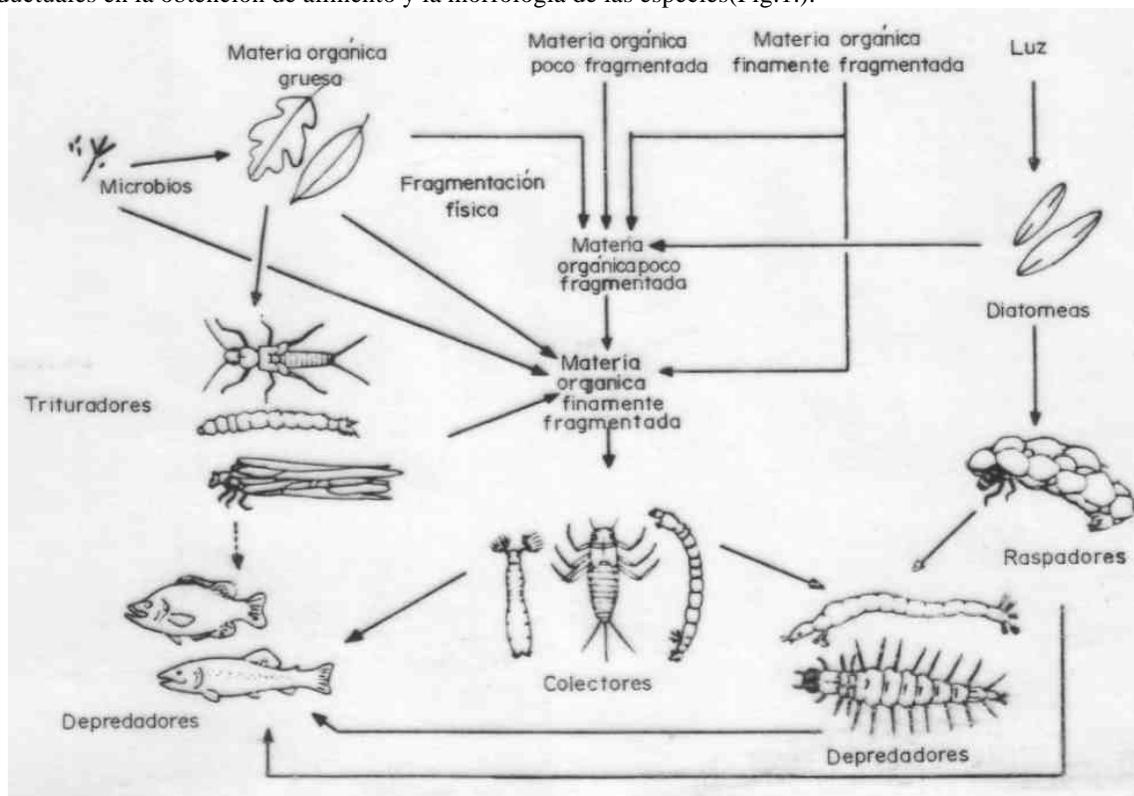


Fig.1. Cadena trófica en un ecosistema acuático típico de acuerdo a Allan (1996). De acuerdo al autor este es un esquema simplificado para una corriente de montaña con bosque de maderas duras. Las entradas de energía incluyen las hojas que caen de los árboles, las cuales son atacadas por los microorganismos y pequeños artrópodos. La materia orgánica poco fragmentada y aquella finamente fragmentada procede de la parte más alta de la corriente. Las categorías de los grupos funcionales están establecidas de acuerdo a su forma de conseguir alimento; y así tenemos los insectos acuáticos que se alimentan detritus que consiguen filtrando el agua que pasa, otros que raspan con sus mandíbulas la superficie de rocas y otros más que mastican la biomasa en estado de descomposición. Estando al final de la cadena los insectos depredadores y los peces. (ALLAN, A. J. 1996. **Stream Ecology; structure and function of running waters**. London, Chapman & Hall. pp. 160).

Tales mecanismos en diferentes especies pueden resultar en la ingestión de un amplio rango de materiales como plantas vivas (herbívoros), materia orgánica en descomposición (detritívoros y filtradores) y animales vivos (carnívoros).

Cada grupo es distinguido también por los rasgos de sus aparatos bucales, los refugios donde se localizan cuyas sofisticaciones son realmente inusitadas, al igual que los mecanismos de filtración de otros. Como se ha dicho los insectos acuáticos clasificados por la función que desempeñan dentro del sistema acuático al igual que otros grupos de macrovertebrados, presentan la ventaja de ser de distribución prácticamente cosmopolita, de gran abundancia, son fáciles de coleccionar y contar, y tienen un tamaño suficiente para ser observados a simple vista.

Aunque en términos generales los insectos acuáticos son omnívoros (particularmente en sus estados juveniles) ya que por ejemplo los trituradores, así como consumen hojas en estado de desintegración que contienen partes de hongos, bacterias, y otros microartropodos y larvas de moscas acuáticas, éstos pueden alimentarse también de diatomeas y otras algas que se encuentran pegadas o sujetas a la superficie de hojas, por lo que los grupos funcionales referidos por la literatura son en cierto modo artificiales, pero de indiscutible aplicación práctica.

Desgraciadamente, en países como el nuestro, la gran escasez de conocimientos en taxonomía de insectos acuáticos, de la mano a los problemas de contaminación del agua, nos plantean serias limitaciones en la aplicación del biomonitoreo y sus procedimientos, aunque simultáneamente nos proporciona grandes incentivos para desarrollar investigaciones sobre este sector de la biodiversidad nacional. No obstante dichas restricciones y retos, gracias a la existencia de guías de identificación desarrolladas para la entomofauna acuática de Norte América, podemos alcanzar una resolución taxonómica cuando menos a nivel de orden o familia, hecho que resulta de gran utilidad. Por citar un caso, referiremos que utilizando la guía de grupos funcionales de Cummins y Wilzbach(1985) se efectuó un estudio preliminar exploratorio en dos ríos de Putla de Guerrero, Oaxaca, pudiéndose lograr algunas aproximaciones en la identificación de las especies bajo la categoría de grupos funcionales existentes en estas corrientes.

Conclusiones

1. Se requiere formar técnicos capacitados en taxonomía de microinvertebrados acuáticos, así como en sistemática y ecología de ecosistemas riparios, para impulsar el biomonitoreo de nuestras corrientes y ríos como una ciencia fundamental en el manejo integrado de cuencas.
2. De acuerdo a la literatura revisada, el uso de indicadores biológicos para determinar las condiciones de calidad del agua en una corriente ofrece amplias perspectivas como un método económico e integral.
3. El estudio de los grupos funcionales y su sensibilidad diferencial, según la literatura, permite detectar la presencia de microelementos, moléculas complejas, metales pesados, y contaminantes secundarios en general, de una manera rápida y con alto grado de certidumbre.
4. El principal problema de las determinaciones físico-químicas que se obtienen de las muestras es que solo indican las condiciones de la calidad del agua para ese momento, mientras que el caso de los bioindicadores muestra una condición más estable para un periodo mayor.
5. El estudio de la ecología y tramas de vida en los ríos, indirectamente promoverá una mayor apreciación de la biodiversidad patrimonial de México contenida en nuestros ríos y arroyos al motivar la capacitación de técnicos y la conjunción de diversas disciplinas con enfoques convergentes.

Bibliografía Citada

- AYALA S., J.C. 1998. El Dr. J. Carmen Ayala Sosa, es Profesor Investigador de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo.
- ALLAN, A. J. 1996. **Stream Ecology; structure and function of running waters**. London, Chapman & Hall. pp. 239-256.
- CNRS, 1992. **París, la Esperanza**. Ciencia y Tecnología de Francia. CST. (43):11.
- CREDLAND, P. 1978. **Ríos y Lagos**. London, Aldus Books Limited. 144 p.
- CUMMINS, W. K. & M. A. WILZBACH. 1985. **Field Procedures for Analysis of Functional Feeding Groups of Stream Macroinvertebrates**. Pennsylvania, Pymaturing Laboratory of Ecology. 18 p.
- CUMMINS, W.K. & R. W. MERRITT. 1996. **Ecology and Distribution of Aquatic Insects**. *In*: Aquatic Insects of North American, Ed. by R.W. MERRIT & K.W. CUMMINS. Third Ed. Dubuque, Iowa, Kendall/Hunt Publishing Company. pp. 74-86.
- HAUER, F.R. & G.A. LAMBERTI. 1996. **Methods in Stream Ecology**. San Diego, Academic Press. pp. 371-390.
- IMTA. 1998. **Información proporcionada por el Ing. Raúl Medina Mendoza. Subdirector el Programa de Manejo de Cuencas del IMTA**.

REID, K. G. 1987. **Ponds**. New York, Golden Press. pp. 3-152.

ROSENBERG, D.M. & V.H. RESH. 1996. **Use of Aquatic Insects in Biomonitoring**. *In*: Aquatic Insects of North American, Ed. by R.W. MERRIT & K.W. CUMMINS. Third Ed. Dubuque, Iowa, Kendall/ Hunt Publishing Company. pp. 87-97.

USDA-NRCS. 1997. **Evaluación de las condiciones que pueden afectar la calidad del agua potable**. USDA-NRCS. s.n.t.

ZEPEDA P., R. 1998. **Uso de la lombriz de tierra (*Eisenia fetida*) en el tratamiento de excretas animales**. *In*: Tercer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Del 5 al 7 de Noviembre de 1998, Guadalajara, Jal. s.n.t.