

Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua

Gabriela Vázquez Silva, Germán Castro Mejía, Ignacio González Mora,
Roberto Pérez Rodríguez y Thalía Castro Barrera
Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-X
gavaz@correo.xoc.uam.mx

Recibido: 14 de febrero de 2006

Aceptado: 04 de mayo de 2006

Resumen

El uso de bioindicadores se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua, esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis fisicoquímicos. Su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua. En Japón, por ejemplo, las dependencias encargadas del monitoreo del agua ya cuentan con guías ilustradas de los organismos que se pueden encontrar en algunos ríos, incluyendo información sobre la tolerancia o susceptibilidad que presentan a cierto tipo de contaminante, de tal manera que cada una de ellas proyecta información sobre el estado del medio acuático. Un organismo se considera bioindicador siempre y cuando se conozca el grado de tolerancia del mismo, no todos pueden darnos información debido a sus hábitos alimentarios o a su ciclo de vida. Por citar algunos organismos que pueden ser usados como bioindicadores están los moluscos, insectos, anélidos hirudíneos, peces y el plancton, también es importante considerar la abundancia con que se les encuentra y la época del año.

Introducción

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a los terrestres, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Bartram y Ballance, 1996). Por tal motivo, algunos or-

ganismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981).

La combinación del rápido crecimiento poblacional humano, la industrialización y la urbanización son causas directamente asociadas a la contaminación del agua (Courtemanch *et al.*, 1989). En un inicio la calidad del agua se evaluó mediante datos fisicoquímicos, donde éstos analizan básicamente los efectos de la contaminación a corto plazo. Sin embargo, desde principio del siglo pasado, los métodos biológicos para determinar la calidad del agua se desarrollaron ampliamente en Europa, donde en la década de los años 50 se aceleró el avance de estos estudios, identificando las respuestas que ofrecían plantas y animales como evidencia directa de la contaminación (Figuroa *et al.*, 1999).

Por medio de estas investigaciones se encontró que los organismos indicadores de la calidad del agua determinan los efectos de los impactos en el ecosistema acuático a través de un tiempo más prolongado. La información biológica generada, a partir de los también llamados bioindicadores, no reemplaza los análisis fisicoquímicos, pero sí reduce costos por lo que estos estudios son importantes en el monitoreo de la calidad del agua (Chapman, 1996).

Algunos organismos tienen un intervalo muy amplio de tolerancia hacia las condiciones ambientales que se presentan en el hábitat, dependiendo en gran medida del grado de contaminación en el sitio (Whiton, 1975). Basado en este concepto, el empleo de bioindicadores es una técnica ecológica que se sustenta en la medición de la diversidad y presencia o ausencia de organismos específicos (De La Lanza *et al.* 2000). La finalidad del presente artículo es dar a conocer la importancia de los bioindica-

dores como una herramienta alternativa para la evaluación de la calidad del agua.

Bioindicadores

La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a su composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental (Raz-Guzmán, 2000).

El concepto de organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros. Usualmente los biólogos emplean bioindicadores de contaminación debido a su especificidad y fácil monitoreo (Washington, 1984). Odum (1972), define a los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones en el medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones.



Helobdella stagnalis es un anélido hirudíneo que puede tolerar aguas contaminadas por plaguicidas.

En cada ecorregión existen especies fácilmente identificables que son las primeras en desaparecer con un aumento en las alteraciones causadas por el hombre. La declinación puede deberse a la mala calidad del agua, a la degradación del hábitat o a la combinación de estos dos factores, por lo que el conocimiento de especies intolerantes encontradas en cada región deberá ser consultada con los investigadores expertos locales para la asignación de los grados de tolerancia (Velázquez y Vega, 2004).

Las ventajas del uso de bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua e im-

plementar acciones sobre la recuperación son variadas (Cairns y Dickson, 1971):

- La colecta y registro de información biológica puede realizarse por personas ajenas a la biología, ya que existen manuales que señalan métodos establecidos.
- Las comunidades biológicas reflejan las condiciones del sistema (física, química, biológica y ecológica)
- El biomonitoreo permanente de las comunidades resulta ser económico comparado con los análisis fisicoquímicos.
- La información resultante puede expresarse por medio de Índices Bióticos que expresan la calidad del agua mediante escalas numéricas.

No obstante el empleo de bioindicadores también presenta limitaciones tales como: el ajuste de índices bióticos para distintas regiones, el muestreo implica mayor tiempo, la información de cada bioindicador es cualitativa y para la identificación taxonómica se requiere experiencia. Para obtener un evaluación integral será necesario realizar conjuntamente análisis fisicoquímicos o pruebas de toxicidad (Saldaña *et al.*, 2001)

A continuación se mencionan algunos grupos de organismos que se emplean como bioindicadores de la calidad del agua:

Bacterias

La presencia de bacterias coliformes son un indicador de contaminación fecal por descarga reciente de desechos, a largo plazo son indicadores de la efectividad de programas de control. Las ventajas que presenta el uso de bacterias como indicadores de acuerdo con De la Lanza *et al.* (2000), es que el muestreo de este grupo tiene una metodología bien desarrollada y da respuesta rápida a cambios ambientales tales como la contaminación, básicamente por descargas domésticas y municipales.

Fitoplancton

El fitoplancton responde rápidamente a los cambios ambientales por su ciclo de vida corto. Estos cambios alteran la estructura de sus comunidades, repercute en el interés socioeconómico del sistema acuático en tiempos relativamente cortos, sobre todo por su papel de productores primarios. Algunas algas microscópicas del fitoplancton muestran una distribución amplia, otras, ciertas preferencias ambientales,

y unas terceras alta frecuencia de taxón en aguas fuertemente contaminadas, lo que sugiere su tolerancia o preferencia por algún compuesto químico o bioquímico. Si algún taxón se reconoce como cosmopolita diferenciado, puede evidenciarse cualquier cambio físico o químico en las masas de agua al ocurrir una alteración por contaminantes.

El fitoplancton puede adquirir mayor resistencia o tolerancia a diversas sustancias, por ejemplo fertilizantes, e incrementar su desarrollo y abundancia repercutiendo en la eutroficación de las aguas, donde ciertas especies muestran el estado trófico de arroyos, ríos y lagos (De la Lanza *et al.*, 2000).

Existen muchos ejemplos de algas microscópicas para inferir sobre la calidad de los ambientes acuáticos, éstas permiten conocer las fluctuaciones en las masas de agua, lo que ha permitido trascender en la caracterización de especies tolerantes o afines a la materia orgánica y en su capacidad de descomponerla.



El díptero *Limnophora* sp. es un organismo que tolera la contaminación orgánica.

De las microalgas, las diatomeas son preferidas para los monitoreos debido a que es el grupo autotrófico dominante además de que su identificación es simple. Las ventajas de su uso es que son cosmopolitas, algunas especies son muy sensibles a cambios ambientales, mientras que otras muy tolerantes, algunas son muy sensibles a cambios ambientales por periodos muy largos, el muestreo es sencillo y rápido, pueden cultivarse para estudiarlas en diseños experimentales (Toro *et al.*, 2003).

Macroinvertebrados Bentónicos

El conocimiento de las características y abundancia de los organismos bentónicos en un sistema acuático es fundamental para relacionarlos con las condiciones del medio. Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en zonas tropicales son muy similares a las comunidades de zonas templadas. El grupo más grande de los macroinvertebrados acuáticos en aguas continentales son los insectos, los cuales son valiosos indicadores, considerados los más diversos en contraste con los peces e insectos terrestres (Thorne y Williams, 1997). De todos los organismos que se encuentran dentro de un sistema acuático, los macroinvertebrados bentónicos ofrecen ventajas para ser usados como indicadores de contaminación (Figueroa *et al.*, 1999; Figueroa *et al.*, 2003) ya que:

- Se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos.
- Su naturaleza sedentaria, permite un análisis espacial efectivo de los efectos de las perturbaciones.
- Presenta ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras que pueden ser realizados con equipos simples.
- La taxonomía de muchos grupos es ampliamente conocida.
- Existen numerosos métodos para el análisis de datos, como índices bióticos y de diversidad.



Simulium sp. es un díptero de hábitos filtradores intolerante a la contaminación.

Los macroinvertebrados son generalmente abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el tamaño suficiente para ser observados a simple vista, son universales, sedentarios, extremadamente sensibles a perturbaciones, presentan ciclos de vida relativamente largos, muestran una respuesta inmediata ante un impacto, su identificación taxonómica es bien conocida y no requiere de personal especializado para el muestreo (Toro *et al.*, 2003).

Una de las ventajas que presentan los insectos para ser usados como indicadores de calidad del agua es que se encuentran en casi todos los hábitats, por lo que son afectados en distintos estratos del sistema, presentan un intervalo amplio de respuesta a la contaminación, sus hábitos sedentarios y sus ciclos de vida relativamente largos permiten establecer consideraciones del estado de salud en un sistema acuático (Sandoval y Molina, 2000).



El megalóptero *Corydalus* sp. no tolera ningún tipo de contaminación, se encuentra en aguas con buena oxigenación.

Algunos de los crustáceos isópodos presentan tendencias a las sumersiones de agua, mientras que otros son completamente acuáticos. Las poblaciones de éstos decrecen rápidamente en tierras dirigidas a la agricultura y silvicultura debido a la lixiviación y arrastre de pesticidas y herbicidas, los cuales reducen su crecimiento y fecundidad. Las diferencias entre biomasa y riqueza de isópodos puede indicar el gran impacto antropogénico en áreas rurales. Los isópodos actúan como bioacumuladores de metales pesados, por lo que pueden ser usados particularmente para el monitoreo de contaminación por metales pesados en zonas industrializadas y urbanas (Paoletti y Hassall, 1999).

Varios estudios revelan que existe una relación directa entre la concentración de metales pesados en los anélidos **oligoquetos** y el suelo donde viven, demostrando su bioacumulación, además de que la contaminación del agua también puede influir en estas concentraciones, debido a que existen algunas especies de dicho grupo que soportan largos periodos de inmersión en el agua, por lo que pueden reflejar las condiciones de la misma (Paoletti, 1999).

De esta manera en ríos de aguas transparentes y limpias es común encontrar poblaciones dominantes de insectos plecópteros, tricópteros y efemerópteros. En ríos contaminados, de aguas turbias, eutrofizadas y poco oxigenadas se puede encontrar dominancia de oligoquetos, dípteros (quironómidos) y determinados moluscos, y ocasionalmente algunas especies indicadoras de aguas limpias (Toro *et al.*, 2003).

Peces

El primer sistema multimétrico para conocer la calidad del agua fue desarrollado para aplicarse en peces y se usó como un modelo para utilizarlo en otros organismos como los macroinvertebrados (Fore *et al.*, 1996). Los peces han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos de Norteamérica. Se han adoptado para evaluar la calidad ambiental en lagos y más recientemente en estuarios de Norteamérica y Europa. Numerosos grupos de organismos han sido propuestos como indicadores de la calidad ambiental en los sistemas acuáticos, sin embargo, las comunidades de peces han surgido como indicadores para los programas de monitoreo biológico (Velázquez y Vega, 2004).

En general, los peces son considerados buenos indicadores de la calidad del medio, por lo que una gran diversidad y abundancia de peces en ríos, lagos y mares indican que es un ambiente sano para todas las demás formas de vida. Por el contrario una elevada mortandad o un porcentaje alto de peces enfermos podrían ser causados directa o indirectamente por niveles considerables de contaminantes (Huidobro, 2000).

Para considerar a un organismo como indicador biológico, es recomendable que presente las siguientes características:

- Que sea un organismo relativamente fácil de capturar e identificar.
- Que se disponga de una amplia información sobre las historias de vida de las especies.

Este grupo muestra ciertas ventajas como herramienta para determinar la calidad del agua:

- Las comunidades generalmente comprenden una amplia variedad de especies que representan diferentes niveles tróficos, incluyendo especies que consumen alimentos tanto de origen acuático como terrestre.
- Los peces son los organismos mejor conocidos de hábitats acuáticos
- Están presentes en los pequeños cuerpos de agua y aún en aquellos ecosistemas con ciertos niveles de contaminación.

La presencia de peces carnívoros es otro parámetro indicador de la calidad de un ambiente. Poblaciones viables y saludables de estas especies indican una comunidad saludable y diversificada; a medida que la calidad del agua declina, las poblaciones de peces carnívoros disminuyen o desaparecen. Una proporción mayor de 5 % de estos individuos indica ecosistemas saludables; mientras que muestras con menos de 1 % de estos organismos indican condiciones de mala salud del ecosistema (Velázquez y Vega, 2004).



Molusco de agua dulce *Planorbella trivolvis* es un indicador de aguas contaminadas por desechos industriales o domésticos.

Índices Bióticos

El conocimiento de la estructura de los organismos y sus cambios en número y abundancia de especies ha sido una pregunta que siempre ha interesado a los ecólogos. Dichos cambios en los ecosistemas ya sea por estrés o contaminación son aparentes, lo que ha llevado a investigar la manera de

cómo cuantificar estos cambios, una de las aproximaciones es el uso de mediciones basadas en organismos indicadores (Washington, 1984).

En la década de los años cincuenta comenzaron a utilizarse diferentes metodologías de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos y se propusieron métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes de agua. Al final de los años cincuenta y principio de los sesenta comenzó a discutirse el concepto de diversidad de especies basada en índices matemáticos derivados fundamentalmente de la teoría de la información (Badii *et al.*, 2005).

Los índices de diversidad tienen una larga historia en estudios de contaminación, aunque su utilidad ha sido con frecuencia cuestionada, una contaminación intermedia puede estar asociada con el incremento de la diversidad antes de que las características del agua declinen hasta llegar a una contaminación severa. Cuando se usan índices de diversidad o similitud se calculan normalmente para un grupo taxonómico dado o un grupo estructural de tamaño determinado, en el caso de un ambiente acuático, tales grupos pueden ser macroinvertebrados, peces, diatomeas, etc. Margalef (1980), establece que un índice de diversidad es una relación entre el número de especies e individuos y que debe incluir la distribución de la abundancia.

La confección de los índices bióticos conlleva a la realización de un inventario de las especies presentes en un determinado lugar, de la manera más específica posible, esto actualiza los conocimientos taxonómicos y de composición sobre la fauna acuática, que en algunos grupos no se conocía (Burillo, 1997).

Para los ecosistemas acuáticos, los Índices de Diversidad son básicamente una aproximación a la calidad biológica a través de la estructura de la comunidad, en cambio los Índices Bióticos son una aproximación a la contaminación del agua haciendo uso del concepto organismo indicador, aunque estos no representen la estructura de la comunidad.

Los índices bióticos son altamente especializados para un tipo particular de contaminación del agua, que normalmente es de origen orgánica. Cada uno de los índices está limitado al área geográfica en donde los organismos tolerantes fueron integrados, de un ambiente a otro éstos pueden variar. Por

otro lado existen índices bióticos especializados para determinado grupo taxonómico y para diferentes ecorregiones.



Thiara tuberculata es un organismo que se considera como contaminante biológico porque desplaza de su hábitat a otras especies de gasterópodos nativos.

Según Washington (1984) y De la Lanza (2000) existen numerosos índices que se han desarrollado para evaluar la calidad del agua con base en la diversidad biológica que se presenta en el sitio. Algunos de ellos, como el Índice de Shannon y Weaver (1948), Simpson (1949) y Margalef (1951) que se utilizan normalmente para estimar la biodiversidad, se pueden utilizar en el monitoreo de la calidad del agua con sus respectivas escalas de calificación. Algunos otros índices que se emplean exclusivamente para la evaluación de la calidad del agua son:

- Sapróbico (1901)
- Índice Biótico de Beck (1954)
- Índice Secuencial de Comparación (1971)
- Índice Estadístico de Pielou (1975)
- Índice de Hilsenhoff (1977)
- Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) (1978)
- Índice de Macroinvertebrados Bénticos (1988)

Sin embargo, para el uso de índices es necesario que se tome en cuenta su estandarización y certificación en varios países donde se apliquen comúnmente en programas de monitoreo. Es importante que su manejo sea fácil aún para personas no especializadas en

la identificación taxonómica, además de que permitan realizar diagnósticos rápidos y económicos de calidad de agua.

Bibliografía

1. Badii, Z. M., Garza, C. R., Garza, A. V. y Landeros, F. J. 2005. Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en ecosistemas acuáticos asociados. *Cultura Científica y Tecnológica* 6:4-20.
2. Bartram, J. y Ballance, R. 1996. *Water Quality Monitoring: A practical Guide to the Design of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Chapman Hill. Londres. 383 p.
3. Burillo, B. L. 1997. La calidad de las aguas en los humedales: los indicadores biológicos. *Boletín Sede para el estudio de los humedales mediterráneos SEHUMED*. 1:1-2.
4. Cairns, J. y Dickson, K. L. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of the water discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *J. Wat. Poll. Control Fed.* 43 (5):755-772.
5. Chapman, D. 1996. *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Chapman Hill. Londres. 626 p.
6. Courtemach, D. L., Davies, S. P. y Laverty, E. B. 1989. Incorporation of biological information in water quality planning. *Environmental Management*. 13, 35-41.
7. De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbal, P. J. L. 2000. *Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)*. Plaza y Valdés. México. 633 p.
8. Figueroa, R., Araya, E., Parra, O. y Valdovinos, C. 1999. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua. *Resúmenes Sexta Jornada del Comité Chileno para el Programa Hidrológico internacional*. 1-24.
9. Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O., 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75:275-285.

10. Fore, L. S., Karr, J. R. y Wisseman, R. W. 1996. Assessing invertebrate responses to human activities: evaluating alternative approaches. *Journal of the North American Benthological Society*. 15:212-231.
11. Huidobro, C. L. 2000. Peces. p. 195-263. En: *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*. De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (Eds). Plaza y Valdés. México. 633 pp.
12. Laws, A. E. 1981. *Aquatic Pollution*. Wiley Interscience Publication. E.U.A. 482 p.
13. Margalef, R. 1980. *Ecología*. Omega. Barcelona. 951 p.
14. Odum, E. P. 1972. *Ecología*. Interamericana. México. 639 p.
15. Paoletti, G. M. 1999. The role earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 74:137-155.
16. Paoletti, G. M. y Hassall, M. 1999. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 74:157-165.
17. Raz, G. A. 2000. Crustáceos y Poliquetos. p. 265-307. En: *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*. De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (Eds). Plaza y Valdés. México. 633 pp.
18. Saldaña, F. P., Sandoval, M. J. C., López, L. R. y Salcedo, S. E. 2001. Utilización de un Índice de Diversidad para determinar la calidad del agua en sistemas lóticos. *Ingeniería Hidráulica en México* 16(2):57-66.
19. Sandoval, J. C. y Molina, A. I. 2000. Insectos. p. 405-439. En: *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*. De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (Eds). Plaza y Valdés. México. 633 pp.
20. Thorne, R. y Williams, P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology*. 37(3): 671-686.
21. Toro, J., Schuster, J., Kurosawa, J., Araya, E. y Contreras, M. 2003. Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bénticos como bioindicadores Río Maipo (Santiago de Chile). *In Mem. XVI Congreso Chileno en Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica*. 1-11.
22. Velázquez, V. E. y Vega, C. M. 2004. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *Biodiversitas*. 57:12-15.
23. Washington, H. G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*. 18(6):653-694.
24. Whiton, A. B. 1975. *River Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 725 p.