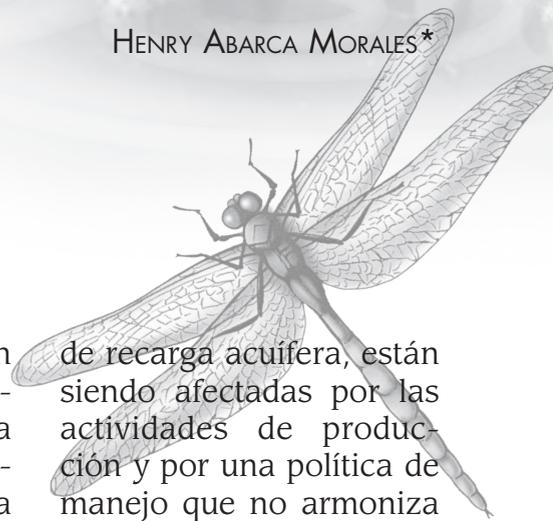


EL USO DE MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

HENRY ABARCA MORALES*



Resumen

Ante la inminente problemática en torno a la cantidad y la calidad del recurso hídrico, el empleo de macroinvertebrados acuáticos se plantea y describe en este artículo como un método efectivo y económico para medir los impactos causados por la contaminación doméstica e industrial en los ríos y las quebradas. También se ilustra la metodología mediante los resultados de la aplicación de biomonitorio en la cuenca alta del río Virilla.

Palabras clave

- Contaminación acuática
- Bioindicadores • Poríferos (esponjas) • Celenterados (hidras y medusas) • Platelminos (planarias)
- Anélidos (lombrices) • Moluscos
- Insectos • Crustáceos • Arácnidos
- Río Virilla.

Costa Rica es un país con un valioso recurso hídrico. La presencia de una época lluviosa con abundantes precipitaciones, la influencia climática que ejerce tanto la vertiente Pacífica como la Atlántica en la ondulada topografía, así como la posición geográfica, inciden directamente para que el flujo hídrico superficial y el subterráneo sean de mucha variabilidad, tanto en la cantidad de agua que fluye por los ríos como en la cantidad que se escurre o se infiltra.

Debido a la heterogénea orografía del país, los diferentes cursos fluviales se han dividido en 34 cuencas hidrográficas dependiendo de la zona geográfica donde se ubiquen, así como la zona de su desembocadura. No obstante, la mayoría de las áreas con cursos fluviales, así como las zonas

de recarga acuífera, están siendo afectadas por las actividades de producción y por una política de manejo que no armoniza con la protección del agua y de los recursos naturales asociados a esta. Según Ramírez (2002), la búsqueda del desarrollo a partir del recurso hídrico ha provocado un impacto negativo en él y ha incidido directamente tanto en la cantidad como en la calidad del mismo.

Los impactos ambientales que generan las diferentes actividades económicas a expensas del recurso hídrico, conducen inevitablemente a la pérdida de su productividad y de su uso inmediato al disminuir su potabilidad. El cambio en la utilización de la tierra, la deforestación, el mal ordenamiento territorial así como una inadecuada gestión ambiental, tanto en los sectores producti-

* Biólogo de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, UNED.

Recibido: 24-9-2005
Aceptado: 30-11-2005



vos como en la áreas urbanas, han provocado que la mayoría de las cuencas, subcuencas y áreas de recarga posean diferentes niveles de contaminación. Según Guerrero (1996), la contaminación de los ríos es uno de los principales problemas que afronta el país, pues sus aguas son usadas para consumo humano, para la agricultura, la piscicultura y la ganadería, entre otros.

Los contaminantes de los sistemas acuáticos provocan una serie de modificaciones y alteraciones físico-químicas en el agua, lo cual repercute en la composición, distribución y estructura de las comunidades que servirán como indicadores biológicos (Uribe y Roldán, 1975).

Se considera que un organismo es un indicador de la calidad del agua, cuando éste se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población presenta un

porcentaje superior o ligeramente similar al resto de los organismos que viven en el mismo hábitat. Asimismo, un indicador es un parámetro que caracteriza al estado de un sistema, es el medio del que se dispone para, en tiempo breve, observar un fenómeno que escapa de la percepción normal. Por lo anterior, los macroinvertebrados acuáticos son usados en monitoreos de contaminación en los cursos fluviales, ya que constituyen un valioso método para determinar los impactos causados por los desechos domésticos e industriales en los ríos y las quebradas que cruzan por los pueblos y las ciudades (Roldán, 1995).

Según Guerrero (1996), los macroinvertebrados (MI) son preferidos ya que por ser sedentarios y con ciclos de vida relativamente largos, pueden ser empleados para evaluar la calidad del agua en un lugar, a lo largo de un

período de tiempo. Otra ventaja es que los monitoreos con macroinvertebrados acuáticos no necesitan grandes inversiones de tiempo, económicas o de capital humano, como sí lo demandan los análisis físico-químicos. Además, como suelen permanecer en el fondo, son testigos de los cambios que están ocurriendo en el sistema fluvial. Un buen monitoreo de los insectos y otros organismos que viven en determinada cuenca, puede generar información válida para conocer el grado de contaminación presente. Además, se genera un precedente para desarrollar programas de protección, conservación, ordenamiento territorial y manejo de las áreas de drenaje. Así, el empleo de bioindicadores resulta una herramienta de mucha utilidad para determinar la calidad del agua en el curso fluvial y, con base en la información obtenida, ejecutar las medidas de mitigación necesarias.



El monitoreo con macroinvertebrados acuáticos

Un monitoreo biológico consiste en tomar información en varias ocasiones de las plantas y animales que viven en el río y en los alrededores y al menos en dos áreas diferentes.

Para conocer el estado real de contaminación de un río determinado, se pueden utilizar macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Estos organismos miden entre

2 mm y 30 cm, se encuentran en lugares con agua dulce como esteros, ríos, lagos y lagunas. Los grupos más representativos son los Poríferos (esponjas), Celenterados (hidras y medusas), Plelmintos (planarias), Anélidos (lombrices), Moluscos, Insectos, Crustáceos y Arácnidos (Roldán, 1996).

Estos animales son usados como bioindicadores de la calidad de agua en el curso fluvial ya que la presencia de algunas familias y géneros es

indicadora de aguas claras y limpias, mientras que otras soportan aguas muy contaminadas. Por ejemplo, la presencia de individuos de las familias Tubificidae (anélidos) o Chironomidae (moscas), indican la presencia de considerable contaminación hídrica, opuestamente unas aguas claras y limpias serán el hábitat de individuos de familias como Zygoptera (libélulas), Ptilodactilidae (escarabajos) o Hydrachnidae (arácnidos) que no pueden adaptarse a condiciones hídricas con presencia de contaminantes.

La sensibilidad a los contaminantes difiere mucho entre las familias de macro-invertebrados (MI), y estará condicionada al tipo de escala que se utilice.

Por ejemplo, si se realiza un análisis mediante la escala EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), los organismos se ordenarán del 1 al 10, donde el 1



indicará que la familia es muy poco tolerante a la contaminación y el 10 que tolera muchos contaminantes. Si se utilizara el índice BMWP-CR¹, la escala estará comprendida entre 0 y 200 (cuadro 1).

CUADRO 1
CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO CON EL NIVEL DE SENSIBILIDAD
A LOS CONTAMINANTES, SEGÚN TIPO DE ÍNDICE UTILIZADO

Calidad del agua	Índice EPT	Índice BMWP-CR
Muy buena	9-10	Mayor a 120
Buena	7-8	101-120
Regular	5-6	61-100
Mala	3-4	60-16
Muy mala	1-2	Menor a 15

Debido a que el biomonitoreo busca generar información válida y confiable para posteriormente realizar las gestiones ambientales pertinentes, es necesario conocer los pasos más elementales para que el proceso sea exitoso:

1. Selección de las áreas por monitorear: una vez delimitada el área que será sometida al estudio, se deben buscar aquellas zonas donde las actividades humanas estén afectando al río (deforestación, desechos urbanos, desechos industriales, etc.), las cuales serán denominadas como "sitios afectados". Las áreas con cobertura vegetal y donde el agua se observe clara, se denominarán como "sitios control". Esta metodología permitirá realizar comparaciones posteriores. Se recomienda realizar el estudio en la mayor área posible y en lapsos de colecta de 30 minutos a 1 hora en cada zona de muestreo.
2. Momento del monitoreo: para tener un mejor criterio de análisis, se deben realizar los monitoreos tanto en la

época lluviosa, como en la época seca, ya que la variabilidad climática en los países tropicales como Costa Rica genera importantes cambios en la fauna invertebrada.

3. Técnica de colecta: existen varias técnicas para colectar a los MI. Para realizar el estudio se debe tener bien claro el tiempo disponible, los recursos financieros, el equipo y el material humano. En el cuadro 2 se resumen algunas técnicas que, por su sencillez y bajo costo, son de mucha utilidad en este tipo de estudios (Carrera y Fierro, 2001). No obstante, es importante tomar en consideración que una vez que se ha escogido alguna de las técnicas, se deberá seguir utilizando hasta el final del estudio. Una vez que los MI han sido colectados se deben depositar en frascos con alcohol (70%), debidamente rotulados, ya sea como sitio afectado o como sitio control, con el fin de evitar confusiones posteriores.

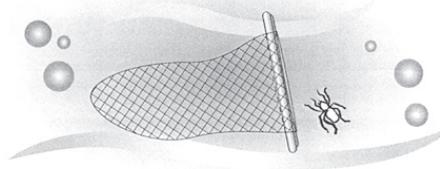
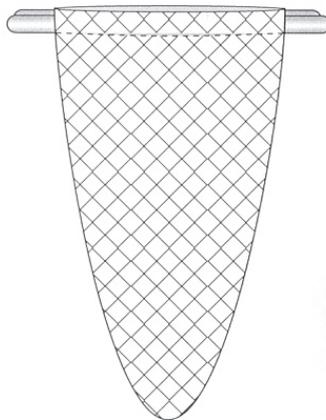
1. BMWP-CR: Biological monitoring working party modificada para Costa Rica. Es una escala que ha sido adaptada para nuestro país, ya que ciertas familias de macroinvertebrados no existen en otras zonas.

CUADRO 2
ALGUNAS TÉCNICAS DE COLECTA DE MACROINVERTEBRADOS
EN CURSOS FLUVIALES

Técnica	Estrategia de colecta	Construcción
Colecta manual	Mediante pinzas se colectan los MI en piedras, hojas, troncos, fango, material flotante y hojarasca en las orillas del río. También se puede usar un colador de cocina.	
Red de patada	Un miembro remueve el fondo lodoso del río y la otra persona coloca la red donde recibe todo el sedimento. Luego el sedimento se traslada a una bandeja donde se colectan los MI manualmente.	A dos palos de madera de 1,5 m de largo, se les amarra una malla plástica o un cedazo común de unos 90 cm de modo que los MI queden atrapados en la malla.
Red surber	Se usa en ríos con profundidades menores a 45 cm y que no tengan fondos lodosos. Se coloca la red de modo que la malla quede de frente a la corriente. Se remueve con la mano el fondo de manera que el sedimento entre a la red. Luego se pone todo el material en una bandeja y se colectan los MI manualmente.	Se construye un marco de metal de 30 cm de alto y 30 cm de ancho. Se le coloca una red en forma de cono de 45 cm de profundidad. La red puede ser de nylon o de alguna tela fina, cuyos poros no sobrepasen 1 mm de diámetro.

Fuente: Carrera, C. y Fierro, K., 2001.

- Identificación de los macroinvertebrados: una vez colectados los individuos tanto de la zona control como del área afectada, se deben llevar a un laboratorio para ser identificados. Es necesario colocarlos en un recipiente plano (plato, tapa, caja de petri) y agregarles un poco de alcohol de modo que los MI sean



cubiertos parcialmente. Mediante una lupa con aumento de 10x ó más, ó un estereoscopio, los individuos se identificarán uno por uno utilizando una lámina de identificación o literatura especializada. Cada individuo será separado dependiendo de los objetivos que se tengan para el estudio, ya sea a nivel de familia, género o incluso a nivel de especie. Posteriormente se utilizan 1 o varios índices de sensibilidad para conocer el estado de contaminación del agua del sitio muestreado. Para cada caso se debe tener una hoja de campo en la cual se especifican detalladamente el sitio muestreado, la fecha y las personas que hicieron las colectas. Por ejemplo, si se utiliza el índice EPT, se le asigna el valor a la familia colectada dependiendo de su sensibilidad a los

contaminantes. Luego, se suman todos los valores de la columna de las familias presentes en la colecta y se obtiene un porcentaje que será comparado con la escala que ya está establecida para ese índice (cuadro 3).

5. Análisis de la información y alternativas de solución: según los objetivos que se definieron para el monitoreo, así será la trascendencia del informe que se presente. La magnitud de la solución (reforestación, reciclaje, gestión ambiental, ISO 14 000, entre otros), dependerá de si lo que se pretende se acota al nivel de la comunidad afectada o, por el contrario, se busca generar soluciones a una escala regional. Lo importante es que las acciones que se propongan y se ejecuten estén bajo el conocimiento de toda la comunidad, ya que su participación activa genera mayores beneficios no solo en el mejoramiento de la calidad del agua, sino de todo el entorno natural que le atañe.

CUADRO 3
ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PUNTO MUESTREADO,
SEGÚN ÍNDICE EPT (EPHEMENOPTERA, PLECOPTERA, TRICHOPTERA)

Clasificación	Índice de sensibilidad del grupo de MI	EPT presentes en la colecta
Baetidae	25	NC*
Ceratopogonidae	1	1
Chironomidae	15	15
Corydalidae	5	NC
Elmidae	25	NC
Euthyplociidae	4	4
Glossosomatidae	2	NC
Hydrobiosidae	5	NC
Hydropsichidae	30	NC
Leptoceridae	10	10
Leptohyphidae	5	5
Oligoneuridae	2	2
Perlidae	1	NC
Philopotamidae	6	6
Psephenidae	5	NC
Ptilodactylidae	1	NC
Pyralidae	3	3
Otros grupos	8	8
TOTAL	153	54
EPT total/ abundancia total		54/153 = 0,35 0,35 * 100 = 35%

* NC: No fue colectado.

En este caso hipotético se utilizó el índice EPT y se obtuvo, después del monitoreo, un 35% del total de la fauna invertebrada, por tanto, observamos que la calidad del agua es mala para ese punto en particular.

**Ejemplo de aplicación:
biomonitoreo en la
cuenca alta del río Virilla**

El río Virilla es un sistema fluvial que nace en las zonas altas del cantón de Coronado a 2350 msnm. Tiene más de cinco afluentes a lo largo de su trayectoria. La cuenca alta del río Virilla está comprendida dentro de la Gran Área Metropolitana, es de elevada concentración demográfica, industrial y de servicios y es una fuente importante de agua y tierra para fines múltiples. El sistema fluvial atraviesa varios cantones capitalinos y la intensidad de su uso contribuye a que la cuenca del río Grande de Tárcoles reciba contaminantes de diversa índole, como materia fecal mal tratada, agroquímicos, desechos sólidos, líquidos y gaseosos de muchos tipos. Por este motivo se realizó una investigación de la calidad del agua en la cuenca alta del Río Virilla mediante la utilización de macroinvertebrados.

La cuenca alta del río Virilla está ubicada en el distrito de las Nubes del cantón de Vázquez de Coronado, San José, 9°58' latitud norte y 83°59' longitud oeste. Se definieron dos zonas de muestreo: la primera cerca de la Hacienda Abigail (2300 msnm), tomada como sitio control y definida como sitio "A", la segunda cerca de la comunidad de las Nubes (1926 msnm), definida como zona "B". Para cada una se realizaron dos colectas en tiempos diferentes, la primera en los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2003 y la segunda en enero del 2004.

La cuenca alta del río se caracteriza por tener corrientes de flujo rápido confondoslodososyarenosos. Sus aguas no superan los 50 cm de profundidad. La vegetación ribereña presenta una cobertura forestal donde predomina el jaúl *Alnus acuminata*, especies arbustivas como el llamado zorrillo *Cestrum*

sp, así como vegetación de sotobosque donde son comunes los helechos, las hepáticas y los musgos. Los MI se colectaron manualmente del fango, la hojarasca o las piedras, fueron removidos y depositados en una bandeja de plástico.

Para el proceso de identificación se utilizó la guía de identificación de Roldán (1996) y también el índice BMWP-CR para conocer el nivel de sensibilidad a los contaminantes.

Resultados y discusión

Con base en las muestras de los organismos recolectados en las dos zonas, se observó que las corrientes de la cuenca alta del río Virilla se caracterizan por poseer una fauna bentónica diversificada y estratificada, no solo en relación con los factores climáticos, sino también con la carga orgánica generada por la intervención antrópica y su correspondiente impacto en la calidad del



agua. La cuenca alta se ve afectada, casi desde sus inicios, por la contaminación de las aguas residuales de las fincas lecheras, las aguas domiciliarias y los depósitos de desechos sólidos (González, 1999).

Índice utilizado	Colecta 1 en sitio A	Colecta 1 en sitio B	Colecta 2 en sitio A	Colecta 2 en sitio B
BMWP-CR	24	32	64	63

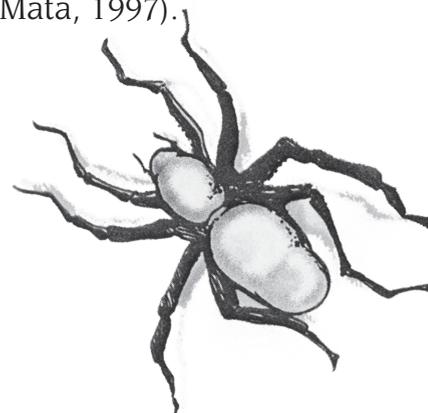
Los resultados indican que del calidad del agua oscila entre mala (muy contaminada) en la primera colecta, a regular en la segunda colecta. Esto se produce ya que en la zona, además de carecer de un tratamiento de las aguas negras y una adecuada recolección de basura por parte de la municipalidad, en los meses más lluviosos aumenta la escorrentía superficial, ya que los bosques han sido talados para ser convertidos en repastos de ganado y en zonas con monocultivos forestales. Además, no se ha realizado un adecuado control de la impermeabilización en las áreas de recarga (González, 1999).

Al aumentar el flujo erosivo, la calidad del agua en el curso fluvial baja debido a la sedimentación. La presencia de individuos de la familia Chironomidae, Tipulidae (Diptera), así como Baetidae y Leptotyphidae (Ephemeroptera), son indicadores de aguas contaminadas (Roldán, 1996).

Para el momento en que se realizó la segunda colecta, el nivel de calidad del agua pasó de mala a regular, la presencia de individuos de las familias Ptilodactilidae y Simuliidae indicó un ligero aumento en la calidad del agua, ya que estas familias pueden tolerar un nivel medio de contaminación (Roldán, 1995).

Recomendaciones para el mejoramiento de la gestión ambiental de la cuenca alta

El estado actual del sistema fluvial de la cuenca no es el idóneo en cuanto a la calidad del agua, como medida de mitigación de los impactos de la contaminación se recomienda elaborar una adecuada gestión ambiental interinstitucional de la cuenca, tanto por parte de la municipalidad, como del MINAE, el ICE, el CNFL y el MAG, para lo cual es necesario exigir a las fincas lecheras que realicen un tratamiento de las aguas residuales (lagunas de oxidación, filtros biológicos, biodiscos giratorios) antes de verter sus aguas al cauce del río (Gaviria y Mata, 1997).



Surge la necesidad de mejorar la cobertura boscosa en las márgenes de la cuenca, mediante incentivos forestales que promuevan la reforestación con especies nativas y no solo con especies como el jaúl *Alnus acuminata*, y también mediante la protección de los parches boscosos que aún quedan en la zona.

Se debe impedir que el bosque sea utilizado como repasto para el ganado, ya que esta acción compacta los suelos e impide la regeneración natural del sotobosque, además aumenta los procesos erosivos y la escorrentía superficial. Otras acciones importantes de implementar son el mejoramiento del sistema de recolección de la basura por parte de la municipalidad y el tratamiento de las aguas negras domiciliarias junto con la protección de las zonas de recarga acuífera.

La Educación Ambiental surge como una alternativa viable y oportuna que puede convertirse en un factor estratégico en un modelo de desarrollo que busca la sostenibilidad y la equidad social. Por la importancia económica y biológica de la cuenca alta para el país (turismo, agua potable, biodiversidad), es necesario revisar los planes de ordenamiento territorial que se han hecho hasta la fecha, con el fin de hacer las correcciones pertinentes. Un adecuado manejo del recurso hídrico y biológico debe incorporar las variables físicas, topográficas, geológicas y bióticas, ya que el deterioro del capital natural se convierte eventualmente en un freno a la productividad. Por tanto, existe la necesidad de abordar de manera sistemática las políticas fiscales, económicas y del sector social, a fin de incorporarles los costos ambientales y el valor económico real del sistema fluvial.

Conclusiones

- 1 El río Virilla es un sistema fluvial que drena en el río Grande de Tárcoles y que presenta problemas de contaminación serios en su cuenca alta.
- 2 No obstante, el mal manejo de los desechos orgánicos e inorgánicos sumado a que los bosques han sido talados para ser convertidos en repastos para el ganado, está generando que la calidad del agua no sea la óptima. La impermeabilización de las áreas de recarga, así como la compactación del suelo por el ganado, provoca que aumenten los procesos erosivos así como la escorrentía superficial en los meses de mayor presencia de lluvia.
- 3 La presencia de algunas familias tolerantes a la contaminación como Chironomidae, Tipulidae, Baetidae, así como de oligoquetos, reafirman el argumento de la presencia de contaminantes orgánicos en los sitios de recolecta.

- 4 Se necesita mejorar la gestión ambiental en la zona, incentivando programas de reforestación y un adecuado manejo de los desechos tanto urbanos, como producto de las actividades económicas.

Bibliografía

CARRERA y FIERRO, K. 2001. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Primera edición. Ecuador. Eco ciencia.

GAVIRIA, L y MATA, R. 1997. Informe final de proyecto: Tratamiento de aguas residuales para 10 fincas en la micro cuenca del río Virilla. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

GONZÁLEZ, M. 1999. Prospección ambiental de la cuenca alta del río Virilla. Informe final para optar por grado de bachiller en manejo en los recursos naturales. UNED.

GUERRERO, A. 1996. Macroinvertebrados como bioindicadores en la evaluación de la calidad de agua en ríos. Tecnología en marcha Vol. 12 n.º 3.

GUILLOT, G. 1995. Bioindicación: algunas consideraciones y reflexiones generales. Aspectos ambientales 8: 129-140.

HYMES, H. 1976. The ecology of running waters. University of Toronto press. Canadá

RAMÍREZ, G. 2000. Situación actual y futura de los recursos hídricos en Costa Rica. 2do Congreso Nacional de Desarrollo Sostenible. Consejo Nacional de Rectores (CONARE).

ROLDÁN, G. 1992. Fundamentos de Limnología Tropical. Ciencia y tecnología Medellín, Colombia.

_____. 1995. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua en Colombia: Estado actual y perspectivas. Biol. 4 (11).

ROLDÁN, R. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia-Medellín.

URIBE, M., ROLDÁN, R. 1975. Aspectos bioecológicos de la calidad del agua. Ecotrópica 3: 234-239.

