



BIOMONITOREO ACUÁTICO

Fotografía: Monika Springer

CAPÍTULO 3

Biomonitoreo acuático

Monika Springer

Escuela de Biología & Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica; monika.springer@ucr.ac.cr

El uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua empezó hace más de 100 años en Europa. Hoy en día, constituye una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo, por lo que es ampliamente utilizado en todo el mundo. A diferencia de los análisis físico-químicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes. De igual manera, mediante el uso de indicadores biológicos es posible detectar eventos puntuales de toxicidad, los cuales a menudo no son detectados por las mediciones físico-químicas estándares. Sin embargo, el uso de bioindicadores también tiene sus limitaciones, especialmente para determinar la calidad de agua para consumo humano, porque no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana. Además, las comunidades de organismos indicadores pueden verse afectados por otros factores ambientales, como la calidad del hábitat o las condiciones climáticas. Por lo tanto, es importante utilizar ambos métodos, el físico-químico y el biológico, en forma integral, lo cual ya se contempla en la legislación de muchos países y estados alrededor del mundo. En la literatura se encuentran muchas referencias sobre este tema y a menudo se señalan las ventajas que tienen los macroinvertebrados

como indicadores de la calidad de agua sobre los otros grupos (como p.ej. algas o peces); por lo tanto, para el monitoreo de la condición ambiental de ríos y quebradas es el grupo de organismos acuáticos más utilizado.

Entre la lista de atributos que poseen los macroinvertebrados para la bioindicación acuática, se pueden mencionar: 1) su amplia distribución, tanto a nivel geográfico, como con respecto a la variedad de ambientes que habitan, 2) su gran diversidad taxonómica, la cual resulta en un amplio rango de respuestas ante las perturbaciones o la contaminación, 3) su carácter relativamente sedentario, el cual facilita un análisis espacial de la contaminación, 4) sus ciclos de vida relativamente largos, que permiten observar los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo (p.ej. contaminaciones intermitentes o de concentraciones variables) y 5) los métodos de muestreo son sencillos y de bajo costo. Una lista más exhaustiva de estas ventajas, incluyendo también las dificultades que se pueden presentar y como sobrellevarlas, se puede encontrar en Rosenberg & Resh (1993). Otros trabajos importantes sobre el tema incluyen: Chapman (1996), Boon & Howell (1997), Mandaville (1999), Adams (2002) y Rosenberg *et al.* (2008), entre otros.

A nivel mundial existe una gran diversidad de metodologías para el uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua, las cuales incluyen tanto métodos cualitativos

como cuantitativos y se han desarrollado una gran variedad de índices para diferentes países, ecorregiones y cuencas. Una valoración exhaustiva de las ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos actualmente usados, con una extensa bibliografía, se encuentra en Bonada *et al.* (2006). Para América del Sur, Prat & colaboradores (2009) presentan un resumen muy completo del uso actual de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y sus aplicaciones actuales en la región, con énfasis en la descripción de los métodos existentes, enfocados en ríos.

A continuación se presenta un resumen sobre el tema, mencionando algunas de las metodologías más importantes. Sin embargo, para mayor detalle sobre el desarrollo y la aplicación de los diferentes índices, se remite al lector a las referencias citadas. Finalmente, se ofrece información sobre la aplicación de la bioindicación y del biomonitoreo acuático en Costa Rica y en la región Centroamericana.

USO DE MACROINVERTEBRADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA

Consideraciones generales

Los bioindicadores se utilizan para dos tipos de estudios: el diagnóstico o evaluación rápida, que es puntual en el tiempo (una única fecha de muestreo) y usualmente se basa en la comparación entre sitios (p.ej. río-arriba y río-abajo de un foco de contaminación). Por otro lado existe el biomonitoreo, el cual se basa en muestreos periódicos (p.ej. semestrales), para implementar un control de calidad o un programa de vigilancia a través del tiempo (usualmente años). En ambos casos es importante tener una muestra de referencia, la cual puede ser en el tiempo (antes del inicio de la actividad) o espacial (sitio de referencia, sin el disturbio a evaluar). Por lo tanto, en los estudios de monitoreo a largo plazo, como p.ej. para la construcción de una represa hidroeléctrica, es de suma importancia contar con un estudio de "línea base", o sea muestreos antes

del inicio de cualquier actividad relacionada con la construcción. Este estudio de referencia facilitará la evaluación de posibles impactos durante y después del desarrollo del proyecto y ayudará a tomar medidas correctivas, en caso necesario.

La mayoría de métodos e índices para la evaluación de la calidad biológica del agua han sido desarrollados para ecosistemas lóticos (ríos y quebradas) y en menor grado para ambientes lénticos, como lagos y lagunas (Prat & Rieradevall 1998, Rossaro *et al.* 2006). El biomonitoreo es más complejo en humedales, debido a la gran diversidad de tipos que existen y la consecuente variabilidad de su hidrología, por lo que la aplicación no está bien desarrollada para este tipo de ambientes (Rosenberg *et al.* 2008).

Los bioindicadores se utilizan a diferentes niveles, desde el nivel individual (a través de biomarcadores) hasta el de población, comunidad o ecosistema (Adams 2002, Rosenberg *et al.* 2008, Prat *et al.* 2009). El uso de biomarcadores (bioquímicos, fisiológicos, histológicos o genéticos) se considera un área emergente en el uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores. Varias especies se están utilizando exitosamente en estudios de ecotoxicología en laboratorios alrededor del mundo, incluyendo Latinoamérica y Costa Rica. Sin embargo, aún son poco utilizados en programas de monitoreo y vigilancia. La aplicación a nivel estructural o funcional de los bioindicadores (para los niveles de población, comunidad y ecosistema) es ampliamente utilizada y existen muchas maneras de utilizarla. Estas incluyen tanto el uso de métricas simples, como p.ej. la riqueza taxonómica o el porcentaje de EPT taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, por considerárseles órdenes relativamente sensibles), como una gran diversidad de índices, de los cuales se mencionan algunos de los más importantes a continuación. Una síntesis más detallada de las posibles métricas e índices a utilizar se encuentra en Prat *et al.* (2009) y Rosenberg *et al.* (2008).

Índices bióticos

Los índices bióticos son ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad biológica de las aguas, en especial de los ríos. Estos índices asocian a los taxa presentes (familia, género, especie) con un valor numérico según su nivel de tolerancia. Este valor, a su vez es utilizado en conjunto con la riqueza taxonómica (índices cualitativos) o en combinación con las abundancias relativas (índices cuantitativos) para llegar a un valor final del índice.

Un índice que ha sido adaptado en los últimos años en varios países de Latinoamérica es el “BMWP” (“Biological Monitoring Working Party”), el cual fue desarrollado inicialmente para Inglaterra y luego adaptado para España por Alba-Tercedor & Sanchez-Ortega (1988). Este índice se basa únicamente en la presencia de familias y sus valores de tolerancia asignados, totalmente independiente de la cantidad de géneros o individuos recolectados de cada familia, por lo que es de fácil aplicación. Otro índice ampliamente utilizado es el “FBI” (“Family Biotic Index”), desarrollado por Hilsenhoff (1988), el cual además toma en cuenta las abundancias de cada familia. El FBI, a diferencia del BMWP pondera el valor de tolerancia, ya que la cantidad de individuos recolectados se multiplica por el valor de tolerancia del taxón y se divide entre el total de individuos recolectados. Al igual que en los otros métodos, estos índices deben ser adaptados localmente y no se recomienda que sean aplicados a otra región sin previa modificación.

Índices multimétricos

Los índices multimétricos se encuentran entre las metodologías más utilizadas en la actualidad y están compuestos por una combinación de diversas métricas, incluyendo métricas simples, así como índices bióticos (Moya *et al.* 2007). Usualmente incluyen de 5 a 12 métricas que deben ser construidas o adaptadas específicamente para cada ecorregión o incluso subcuenca. En esta categoría se encuentran los índices de Integridad Biótica (IBI, por sus siglas en inglés), desarrollados por Karr (1991)

originalmente para peces. Otro ejemplo es el “Florida Stream Condition Index” (Barbour *et al.* 1996) que es un programa de biomonitoreo, muy bien conocido en los EE.UU. que utiliza insectos acuáticos en un índice multimétrico. Un resumen más detallado sobre los índices multimétricos y ejemplos de su utilización en América del Sur, se puede consultar en Prat *et al.* (2009) y una metodología de cómo diseñarlos se encuentra en Segnini (2003).

Métodos multivariados y modelos predictivos

Estos métodos efectúan comparaciones de las características de la comunidad biológica estudiada con una de referencia, con la ayuda de análisis estadísticos. En esta categoría se encuentra por ejemplo el RIVPACS de Inglaterra y el AUSRIVAS de Australia (Wright *et al.* 1993, 2000), ambos ampliamente utilizados. Otro método que se puede mencionar es el que utiliza redes neuronales (“ANNs”: “Artificial Neural Networks”), el cual ha sido exitosamente utilizado por algunos autores en Latinoamérica (Gutiérrez *et al.* 2004). Sin embargo, su elaboración no es sencilla, requiere de un conocimiento estadístico importante y su complejidad posiblemente limitará su uso en el biomonitoreo acuático (Rosenberg *et al.* 2008).

Otros métodos

Adicional a los métodos mencionados anteriormente, se usan los de rasgos biológicos (“biological traits”, Tomanova *et al.* 2008), grupos funcionales alimenticios (“functional feeding groups”) y la producción secundaria del bentos. Estos métodos son revisados por Bonada *et al.* (2006) y ejemplos para Suramérica de los dos primeros se encuentran en Prat *et al.* (2009).

Resolución taxonómica

Una discusión importante entorno al uso de los macroinvertebrados como indicadores es el nivel taxonómico al cuál se deben identificar los organismos recolectados (Bailey

et al. 2001). Obviamente, entre más fina la resolución taxonómica (nivel de especie), más confiable será la asignación de los valores de tolerancia. Esto se debe al hecho que existen muchas familias con géneros que presentan distintos niveles de tolerancia a la contaminación; incluso se han encontrado especies con niveles muy distintos en un mismo género (Flowers 2009). Sin embargo, en los países tropicales es prácticamente imposible utilizar el nivel de especie en estudios de bioindicación con macroinvertebrados, dada su gran diversidad, la escasez de expertos taxónomos, la falta de asociaciones, descripciones de los estadios inmaduros y claves taxonómicas. Además, la identificación a nivel de especie conlleva una importante inversión de tiempo, sin tomar en cuenta la necesidad de contar con profesionales altamente capacitados, y por ende el costo del análisis de las muestras se eleva. Por lo tanto, en la mayoría de los estudios (y métodos establecidos), se utiliza el nivel de familia o una mezcla de género con familia. Vale la pena volver a mencionar aquí la importancia sobre el depósito adecuado de las muestras en una colección oficial para futuros estudios taxonómicos y ecológicos y sobre todo como testigo del estudio realizado (ver capítulo 2, Métodos).

APLICACIÓN DEL BIOMONITOREO ACUÁTICO EN COSTA RICA Y CENTROAMÉRICA

La implementación del biomonitoreo acuático en Costa Rica se ha estado realizando principalmente en proyectos hidroeléctricos, mineros y agrícolas, entre otros. Además, para los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA), la Secretaria Técnica Nacional Ambiental (SETENA) exige estudios de fauna acuática, específicamente de macroinvertebrados, en la mayoría de los proyectos que pueden afectar directa- o indirectamente un ambiente acuático. Estos incluyen una gran variedad de proyectos, aunque en su mayoría son de extracción de material pedregoso en cauces de ríos (Cauce de Dominio Público: “CDP”), cultivos agrícolas y construcción de represas. Sin embargo, en

muchos de estos proyectos, el estudio se queda a nivel diagnóstico y no se le da seguimiento por medio de un monitoreo periódico. Como parte del compromiso adquirido por la empresa desarrolladora, se debería implementar un monitoreo para detectar a tiempo posibles efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos.

Los macroinvertebrados también se han usado como indicadores en casos de denuncias penales por contaminación acuática. Actualmente, la Unidad “Ambiental Forense” de la Sección de Biología Forense (Departamento de Ciencias Forenses) del Organismo de Investigación Judicial (OIJ) de Costa Rica, atiende casos de este tipo. Actualmente, los resultados de los estudios utilizando macroinvertebrados como indicadores aportan evidencia en los fallos contra empresas causantes de contaminación. En estos casos, el uso de bioindicadores tiene especial importancia debido a que refleja las condiciones anteriores al momento del muestreo. Estas condiciones son difíciles de caracterizar mediante muestreos físico-químicos ya que las empresas denunciadas generalmente dejan de contaminar para evitar que haya pruebas en su contra. Por otro lado, también es importante considerar que el monitoreo biológico puede ayudar a las empresas con buenas prácticas ambientales a defenderse contra acusaciones malintencionadas o sin fundamento.

A pesar de su amplia utilización en el país, aún existe mucha discusión sobre la metodología más adecuada para el biomonitoreo acuático y no hay protocolos establecidos para los estudios de fauna acuática que se realizan para los EsIA. También es necesario dedicar un mayor esfuerzo a la adaptación de los índices para su uso en los diferentes ambientes acuáticos y tipologías de ríos en el país. Además necesitamos más investigación científica para lograr una adecuada aplicación de los bioindicadores en los estudios de calidad del agua en el país y estandarizar las metodologías. Un paso en esta dirección se dio con la publicación del “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales”, publicado en la Gaceta en setiembre del 2007 (MINAE-S No. 33903). Este reglamento

contempla por primera vez el uso de bioindicadores en Costa Rica, específicamente el uso de macroinvertebrados en adición al método físico-químico para la determinación de la calidad del agua. El índice propuesto en dicho reglamento es el índice BMWP-CR (el cuál fue adaptado para Costa Rica, basándose en el índice BMWP' de Alba-Tercedor & Sanchez Ortega 1988). Los otros parámetros a tomar en cuenta, según el reglamento, son la riqueza taxonómica (nivel de género) y las abundancias relativas de los individuos recolectados en cada sitio. El reglamento establece además la metodología a seguir para el muestreo. El trabajo debe ser realizado por un biólogo colegiado y el material recolectado debe ser depositado en una colección oficial. Sin embargo, aún falta una mayor aplicación del reglamento a nivel nacional, especialmente por las respectivas entidades gubernamentales (especialmente del Ministerio de Salud y del MINAET), con el fin de lograr un mejor manejo de las cuencas hidrográficas del país.

Finalmente, en Costa Rica existe un programa bien establecido de biomonitoreo acuático, basado en la participación activa de comunidades locales y voluntarios, incluyendo escuelas y comunidades indígenas. Este programa inició en el 2000, por la asociación no-gubernamental "ANAI", quien sigue realizando el monitoreo cada año en más de 100 sitios, en la región Caribe-Sur (Talamanca) de Costa Rica, utilizando tanto macroinvertebrados, como peces para el monitoreo (Mafla Herrera 2005). Otro programa de monitoreo que involucra escuelas y colegios en varias regiones del país, es el programa "Globe". Para esta y otras iniciativas se han llevado a cabo talleres de capacitación para los maestros con el fin de entrenarlos en la aplicación del monitoreo acuático y lograr así una mayor conciencia ambiental y un aporte a la conservación de nuestras aguas continentales. Una herramienta muy útil para llevar a cabo estos monitoreos fue elaborada en el marco de un proyecto de investigación de la Universidad EARTH, en colaboración con investigadores de la Universidad de Costa Rica. Después de realizar inventarios de macroinvertebrados

acuáticos en dos cuencas del país (tanto en Guanacaste como en la zona del Caribe) se publicaron guías fotográficas para la identificación de las principales familias presentes en estas áreas. Las guías incluyen además instrucciones sobre la aplicación del índice BMWP-CR y constituyen material didáctico muy valioso para ser utilizado en monitoreos con comunidades y escuelas (Springer *et al.* 2007, Vásquez *et al.* 2010).

También se han realizado cursos de capacitación a diferentes entidades gubernamentales y al sector académico, tanto en Costa Rica como en otros países de América Central. Un país que ha avanzado bastante en el tema del biomonitoreo acuático en los últimos dos años es El Salvador. Allí se desarrolló un proyecto por investigadores de la Universidad de El Salvador, con el fin de crear las bases necesarias para establecer un protocolo para el monitoreo de los ríos mediante el uso de macroinvertebrados. Como uno de los productos del proyecto, financiado por la OEA, se publicaron una serie de guías, incluyendo el índice IBF-SV, el cual se desarrolló basado en el índice de Hilsenhoff (Sermeño *et al.* 2010). También en varios otros países de Centroamérica (p.ej. Panamá y Guatemala) se están utilizando macroinvertebrados como bioindicadores y se realizan esfuerzos para la adaptación de índices y establecer el biomonitoreo acuático como una herramienta exigida por ley. Con el fin de unir esfuerzos en este sentido a nivel regional, en el 2010 se formó una red a nivel Mesoamericano ("MADMESO": Macroinvertebrados Dulceacuícolas de Mesoamérica), la cual une investigadores desde México hasta Colombia. Los objetivos de la red incluyen la realización de cursos, talleres y simposios regionales, crear cursos a distancia, desarrollar protocolos para el biomonitoreo a nivel regional y apoyar la identificación taxonómica de los organismos, además de ofrecer un programa de certificación para consultores.

A pesar de la amplia aplicación que se les está dando a los macroinvertebrados acuáticos en los estudios ambientales y de calidad de agua, muy pocos de los trabajos realizados

terminan en una publicación científica. La gran mayoría de los resultados que se obtienen a través de estos estudios quedan en informes técnicos y forman así parte de la llamada “literatura gris”, de difícil acceso y distribución restringida. La publicación de los resultados de estos estudios, junto con más investigaciones sobre la biología y ecología de los organismos de agua dulce, es sumamente importante para obtener la información necesaria para la adaptación o construcción de índices bióticos y multimétricos adecuados para los ambientes acuáticos de nuestra región.

Sin duda, el uso de indicadores biológicos en los estudios y el monitoreo de calidad de agua seguirá cobrando más y más importancia en el país y en la región centroamericana, por lo que se hace necesario unir esfuerzos tanto entre investigadores y universidades, como entre entes del sector gubernamental y otros actores involucrados en el manejo del recurso acuático. De igual manera es de suma importancia hacer disponible la información generada a través de bases de datos centralizadas y de acceso público. Finalmente, es indispensable incluir la participación de las comunidades locales, las cuales podrán utilizar el biomonitoreo como un sistema de alarma temprana en caso de contaminación y contribuir así a la conservación de nuestros ambientes acuáticos.

REFERENCIAS

- Adams, S.M. (ed.). 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. Am. Fish. Soc., Bethesda, Maryland, EEUU.
- 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.
- Bailey, R.C., R.H. Norris & T.B. Reynoldson. 2001. Taxonomic resolution of benthic macroinvertebrate communities in bioassessment. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 20: 280-86.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, G.E. Griffith, R. Frydenborg, E. McCarron, J.S. White & M.L. Bastian. 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15:185-211.
- Boon, P.J. & D.L. Howell (eds.). 1997. Freshwater quality: defining the indefinable? The Natural Heritage of Scotland Series. Edinburgh, Scotland.
- Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh & B. Statzner. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495-523.
- Chapman, D. 1996. Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Chapman & Hall, Nueva York, EEUU.
- Flowers, R.W. 2009. A new species of *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Atalophlebiinae) from a highly altered river in western Ecuador. *Zootaxa* 2052: 55-61.
- Gutiérrez, J., H.W. Riss & R. Ospina-Torres. 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia* 26: 151-160.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7: 65-68.
- Karr, J.R. 1991. Biological integrity: a long neglected aspect of water resource Management. *Ecol. Appl.* 1: 66-84.
- Mafla Herrera, M. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano. Talamanca – Costa Rica. CATIE Publ., Turrialba, Costa Rica.
- Mandaville, S.M. 1999. Bioassessment of freshwaters using benthic macroinvertebrates - A primer. SWCS, Halifax, Canada.
- MINAE-S. 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decreto, No. 33903, La Gaceta No. 178. San José, Costa Rica.
- Moya, N., S. Tomanova & T. Oberdorff. 2007. Initial development of a multi-metric index based on aquatic macroinvertebrates to assess streams condition in the Upper Isiboro-Sécure Basin, Bolivian Amazon. *Hydrobiologia* 589: 107-16.
- Prat, N. & M. Rieradevall. 1998. Criterios de evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los macroinvertebrados bentónicos. *Act. Biol.* 20: 137-147.

- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas, p. 631-654. *In* E. Domínguez & H.R. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Rosenberg, D.M., R.S. King & V.H. Resh. 2008. Use of aquatic insects in biomonitoring, p. 123-137. *In* R.W. Merritt, M.B. Berg & K.W. Cummins (eds.). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/Hunt, Dubuque, EEUU.
- Rosenberg, D.M. & V.H. Resh (eds.). 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, Nueva York, EEUU.
- Rossaro, B., A. Bogero, V. Lencioni, L. Marziali & A. Solimini. 2006. Tools for the development of a benthic quality index for Italian lakes. *J. Limnol.* 65: 41-51.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos* 16: 45-63.
- Sermeño-Chicas, J.M., L. Serrano-Cervantes, M. Springer, M.R. Paniagua-Cienfuegos, D. Pérez, A.W. Rivas-Flores, R.A. Menjívar-Rosa, B.L. Bonilla de Torres, F.A. Carranza-Estrada, J.M. Flores-Tensos, C.D.L.A. González, P.E. Gutiérrez-Fonseca, M.A. Hernández-Martínez, A.J. Monterrosa-Urias & A.Y. Arias de Linares. 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 (FBI-SV-2010). Editorial Universitaria, San Salvador, El Salvador.
- Springer, M., D. Vásquez, A. Castro & B. Kohlmann. 2007. *Bioindicadores de la calidad del agua. Guía de campo*. Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.
- Tomanova, S., N. Moya & T. Oberdorff. 2008. Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of Neotropical streams. *River Res. Applic.* 24: 1230-39.
- Vásquez, D., M. Springer, A. Castro & B. Kohlmann. 2010. *Bioindicadores de la calidad del agua. Cuenca del Río Tempisque. Guía de campo*. Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.

