

UTILIZACIÓN DE ÍNDICES EVALUADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA, BASADOS EN BIOINDICADORES, EN ECUADOR

Fabián BERSOSA-VACA ^{1,2}
&
Carlos ULLOA-VACA ¹

¹ Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Quito.

² Grupo de Investigación en Ecología y Gestión de los Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador.

Autores corresponsales: ebersosav@ups.edu.ec; culloa@ups.edu.ec

Manuscrito recibido el 30 de octubre de 2017.

Aceptado para publicación, tras proceso de revisión, el 18 de mayo de 2018.

Resumen

La presente es una revisión bibliográfica en torno a documentos técnicos en los que se reporta la utilización de índices evaluadores de la calidad del agua basados en la presencia y abundancia de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores; la evaluación de estos organismos en un cuerpo de agua suele ser considerada como un método sencillo y rápido para determinar el estado del sistema acuícola en la mayoría de países del mundo. En las investigaciones revisadas, los índices bióticos

unimétricos BMWP y ETP son los utilizados con mayor frecuencia, estos índices están basados en la tolerancia que presentan los macroinvertebrados a la contaminación y que se refleja en la presencia de las familias sensibles (de estos animales) y tolerantes a la contaminación. Estos métodos generan información valiosa sobre la salud de los ecosistemas, pero dejan de lado variables que influyen sobre la diversidad de macroinvertebrados, como por ejemplo: gradientes altitudinales, taxones nativos, entre otros. Los índices BMWP para Antioquia y para Colombia son los métodos tradicionales más utilizados en Colombia y Ecuador como referencia para determinar tolerancia de organismos a cambios en la calidad del agua. Últimamente se ha observado que los índices unimétricos ABI y multimétrico IMEERA están siendo cada vez más utilizados para obtener resultados más robustos en torno a la calidad del agua de los ecosistemas evaluados; estos índices responden mejor a las realidades locales, especialmente en sistemas altoandinos.

Producto de la investigación se sugiere la necesidad de utilizar índices unificados acordes a los ecosistemas (tropicales o andinos) que se aborden, que reflejen mejor la diversidad y variables ambientales de Ecuador.

Palabras clave: Bioindicador, Macroinvertebrados acuáticos, Índices Bióticos, BMWP (Biological Monitoring Working Party score), EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), ABI (Andean Biotic Index), IMEERA (Índice Multimétrico de Estado Ecológico de Ríos Altoandinos).

Abstract

This is a bibliographic review about technical documents that report the use of water quality assessment indexes based on the presence and abundance of aquatic macroinvertebrates as bioindicators: The

evaluation of these organisms in a body of water is usually considered as a simple and quick method to determine the state of the aquaculture system in most countries of the world. In the researches reviewed, the biometric indices BMWP and ETP are the most frequently used, these indices are based on the tolerance of macroinvertebrates to pollution and that is reflected in the presence of these animals' sensitive families according to their tolerance to pollution. These methods generate valuable information on the health of ecosystems, but they leave aside variables that influence the diversity of macroinvertebrates, such as: altitudinal gradients, native taxa, among others. The BMWP indexes for Antioquia and for Colombia are the most commonly used traditional methods in Colombia and Ecuador as a reference to determine tolerance of organisms to changes in water quality. Recently, it has been observed that the IMEERA multi-metric and ABI uni-metric indices are being used more and more to obtain more robust results regarding the water quality of the evaluated ecosystems. These indices respond better to local realities, especially in high Andean systems.

Product of the research we suggest the need to use unified indices according to the ecosystem (tropical or Andean) that are addressed, that better reflect the diversity and environmental variables of Ecuador.

Key words: Bioindicator, Aquatic Macroinvertebrates, Biotic Indices, BMWP (Biological Monitoring Working Party score), EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), ABI (Andean Biotic Index), IMEERA (Multimetric Index of the Ecological State of High Andean Rivers).

Forma sugerida de citar el presente trabajo:

Bersosa-Vaca, F., & Ulloa-Vaca, C. (2018). *Utilización de índices evaluadores de la calidad del agua, basados en bioindicadores, en Ecuador*. *Qualitas*, 15, 6-22. ISSN: 1390-6569.

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país biodiverso y poseedor de numerosos ecosistemas dulceacuícolas en su territorio, que varían de localización desde las zonas altoandinas hasta las regiones tropicales. Sin embargo, la mayoría de ellos se encuentran amenazados por actividades como la extracción de recursos naturales: principalmente del petróleo; y en menor medida la extracción minera, extracción maderera y actividades agrícolas, entre otras.

Los organismos bioindicadores permiten realizar caracterizaciones de los cuerpos de agua para determinar la incidencia de las actividades antrópicas traducida en posibles alteraciones a nivel físico químico y biológico en el sistema (Escobar *et al.*, 2013; Terneus & Yáñez, 2018), utilizando para ello el monitoreo combinado de parámetros físico-químicos y de presencia y abundancia de bioindicadores.

La mayoría de resultados de estas investigaciones no llegan a ser conocidos ni publicados en revistas técnicas y suelen quedar como capítulos de estudios de impacto ambiental efectuados generalmente para consultoras, informes técnicos, trabajos de titulación universitarios, cuyo impacto académico generalmente es más bajo que un artículo en una revista indexada.

En este sentido, Prat *et al.* (2009) abordan este problema local a nivel de Sudamérica, consideran que no existe la divulgación adecuada de resultados sobre macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de las aguas y que algunos reportes y documentos al no tener mayor impacto en la comunidad científica pueden considerarse como literatura gris.

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos invertebrados que se pueden ver a simple vista; es decir, que tengan tamaños superiores a 0,5 mm. Este grupo incluye taxones como: Moluscos, Crustáceos (Anfípodos, Isópodos y Decápodos), Turbelarios, Oligoquetos, Hirudineos y fundamentalmente insectos (entre los cuales se encuentran coleópteros, hemípteros, efemerópteros, plecópteros, odonatos, dípteros, neurópteros y tricópteros). Estos organismos viven sobre el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas, y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie. En la ecología de los ríos, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es importante para el entendimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, como eslabón fundamental de la cadena trófica sirviendo de alimento a peces, aves y anfibios asociados al medio acuático; como indicadores biológicos de la calidad del agua y como componentes del sistema acuático aportando riqueza y diversidad (CORTOLIMA, 2006).

Diversos métodos se han ido desarrollando para medir la calidad del agua de los ecosistemas dulceacuícolas, uno de ellos es el monitoreo de macroinvertebrados acuáticos en base a su presencia o abundancia, especialmente de taxones bentónicos. Algunas ventajas técnicas de utilizar estos macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua se encuentran en que conforman métodos de bajo costo y se utilizan formas de muestreo, recolección y análisis relativamente sencillos; empero, el investigador se enfrenta a un reto científico que es el necesario y adecuado conocimiento taxonómico de cada grupo de macroinvertebrados (Giacometti & Bersosa, 2006).

Como actividad complementaria a la investigación, se requiere

establecer las condiciones geográficas, climáticas y biológicas de las zonas de muestreo; para lo cual se miden variables en los cuerpos de agua como: caudal, velocidad de la agua, profundidad, así como la caracterización físico química del cuerpo de agua, medidas que se realizan tanto *in situ*, como en laboratorio. Generalmente, los parámetros determinados son: pH, conductividad eléctrica, color, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, turbidez, sólidos suspendidos orgánicos, inorgánicos y totales. (Parra *et al.*, 1999).

En arroyos y ríos los macroinvertebrados juegan un rol importante para el mantenimiento de la integridad de las comunidades biológicas (Salvarrey *et al.*, 2014; Terneus & Yáñez, 2018); forman parte de la cadena trófica en cuerpos de agua, al encontrarse disponibles como alimento de los vertebrados y participar en los ciclos de nutrientes y flujos de materia y energía (Sullivan *et al.*, 2004).

En estos ecosistemas lóticos, especialmente si sus aguas se encuentran limpias y bien oxigenadas, suele existir una gran diversidad de macroinvertebrados (Springer, 2010); sin embargo, la distribución y crecimiento de las especies se ven afectados por factores naturales como los climáticos, geográficos, ecológicos, además de los factores que provienen de la contaminación antrópica (Giacometti & Bersosa, 2006).

Muchas investigaciones mencionan que la contaminación causada por la intervención humana afecta de manera importante a los ecosistemas acuáticos, factores como la deforestación, la agricultura intensiva, urbanización, son capaces de alterar regímenes de flujo, estabilidad térmica, liberación de nutrientes, flujo de energía solar, erosión del suelo (Salvarrey *et al.*, 2014).

La investigación acerca de la composición de los macroinvertebrados acuáticos se ha constituido en una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad del agua (Giacometti & Bersosa, 2006; Terneus & Yáñez, 2018). Según Rosenberg & Resh (1993) al encontrarse en todos los sistemas acuáticos continentales los macroinvertebrados son una fuente de información valiosa para determinar la calidad de los ecosistemas dulceacuícolas, lo que permite hacer estudios comparativos de la diversidad y distribución de los macroinvertebrados entre distintas zonas locales, regionales y mundiales.

Utilizando macroinvertebrados como bioindicadores se logra estimar el efecto de las intervenciones humanas en los ecosistemas fluviales en base a criterios biológicos (Norris & Hawkins, 2000), se logra apreciar la integración y acumulación de los efectos de diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales (Barbour *et al.*, 1999) y ya que habitan durante toda su vida en un cuerpo de agua específico ofrecen una visión de las alteraciones ambientales en tiempos prolongados (Alba-Tercedor, 1996).

A continuación se revisan y discuten los métodos utilizados entre 2003-2010. En los trabajos analizados se evalúa la calidad de las aguas utilizando bioindicadores, a través de los índices: EPT, BWMP, BWMP/Col, ABI.

2. MÉTODOS ANALIZADOS

2.1. ÍNDICES UTILIZADOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA BASADOS EN MACROINVERTEBRADOS

Para la recolección de macroinvertebrados se utiliza la Red Surber con

una área generalmente de 0,9 m², las muestras de los especímenes se fijan con formalina neutra al 5% (Figuroa *et al.*, 2003) o alcohol al 96% (Meza *et al.*, 2012) y luego se procede a determinar los taxones existentes.

Para la transformación de los datos obtenidos de la diversidad de taxones de macroinvertebrados encontrados, hasta llegar a expresarla en un tipo de métrica se utilizan diferentes índices, como los unimétricos, los índices bióticos, los índices multimétricos, los métodos multivariantes o predictivos (Pratt *et al.*, 2009).

2.2. ÍNDICES UNIMÉTRICOS

Los índices unimétricos representan a las métricas simples, es decir, determinan la variación de la presencia de los grupos sensibles o resistentes, que se genera como respuesta a una perturbación ambiental determinada. Por ejemplo, es muy común el uso del índice de porcentaje de los bioindicadores EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), en tanto que la proliferación de dípteros, chironómidos y odonatos es mayor cuando ocurre un impacto ambiental negativo (Terneus *et al.*, 2012).

Pratt *et al.* (2009) colocan en entredicho la sola utilización de este método para determinar la calidad de las aguas, esto en respuesta a que el comportamiento de las especies está correlacionado a la magnitud de la perturbación; es decir, que si la perturbación es fuerte la abundancia se verá afectada, al contrario de lo que ocurrirá si la perturbación es menor y no muy frecuente. También puede ocurrir que existan especies más tolerantes que otras: por ejemplo, a los metales pesados, en este caso puede ocurrir un reemplazo de una especie sensible por otra resistente o tolerante, obteniéndose una abundancia similar en % de EPT.

2.3. ÍNDICES BIÓTICOS

El más antiguo de los índices es el propuesto por Kolwitz & Marsson, y es utilizado desde 1908, es conocido como el índice de los saprobios en el que se combina la presencia, la abundancia, y el grado de intolerancia a la contaminación por parte de toda la comunidad de organismos acuáticos, es decir, no es exclusivo para los macroinvertebrados.

Este método al ser más antiguo, es la base para la generación de otros índices como: Trent Biotic Index (TBI), Belgium Biotic Index (BBI), ambos utilizan tablas de doble entrada que combinan el número de taxones presentes en la muestra detallado en columnas versus el valor de intolerancia más alto posible escrito en las filas.

El índice biótico más utilizado es el BMWP (Biological Monitoring Working Party). Este índice combina el número de taxones existentes con un valor que corresponde al de tolerancia/intolerancia, al final se obtiene un valor de sumatoria de los valores de intolerancia de cada una de las familias concebidos en el rango de 0 – 10 acorde a su tolerancia.

Ríos *et al.* (2014) diseñaron el indicador ABI (Andean Biotic Index) para los ecosistemas que se encuentran en la región altoandina, tomando en cuenta que la altitud es uno de los aspectos naturales que influye en la diversidad de macroinvertebrados, en vista que a partir de los 2000 msnm existe un menor número de familias de macroinvertebrados que en otras regiones del mundo. Este indicador mejora su fiabilidad al combinar la diversidad y abundancia de los taxones con los valores de tolerancia e intolerancia de los macroinvertebrados hacia las perturbaciones que puedan existir.

Los índices unimétricos utilizados masivamente en las investigaciones de macroinvertebrados como bioindicadores presentan el inconveniente que pueden tener valores altos en ríos no contaminados; otra tendencia para la valoración de la calidad de las aguas es el uso de los índices de

diversidad de Margalef y de Shannon, que pueden no ser tan sensibles en lugares de perturbación intermedia causada por contaminación industrial (Pave & Marchese, 2005) o inclusive por contaminación minera (Zilli & Gagnetten, 2005). Estos índices tienen limitantes al no considerar en su evaluación el tipo de organismo sino solamente la riqueza y abundancia de especies, niveles de tolerancia y sensibilidad, y su capacidad de adaptación a perturbaciones ambientales (Pratt *et al.*, 2009).

2.4. INDICES MULTIMÉTRICOS

El índice de integridad biótica (IBI), propuesto por Karr (1981) y pensado originalmente para peces, fue adaptado y utilizado en diferentes ecorregiones, por lo que llegaron a existir varios IBIs específicos para cada región evaluada en América del Norte, por ejemplo. En este índice para determinar la calidad del agua, mediante el uso de macroinvertebrados, suelen escogerse de 10-12 medidas o índices unimétricos. Esta metodología no ha sido utilizada en investigaciones realizadas en Sudamérica (Prat *et al.*, 2009).

Otros métodos multimétricos combinan en una puntuación final los valores obtenidos de varios índices unimétricos, incluidos índices bióticos, para un mismo sitio. En estos casos el trabajo es mayor, ya que se pueden establecer metodologías adaptadas a regiones específicas, inclusive en la evaluación de un mismo cuerpo de agua pueden obtenerse valores diferentes de índices correspondientes a tramos o zonas del cuerpo también diferentes; sin embargo, pudiera ser conveniente utilizar esta puntuación final única ya que reúne en una sola medida la variedad funcional del sistema hídrico analizado, así como la variedad estructural de los componentes bióticos del mismo (Segnini, 2003), algunas de las características abióticas que deben compartir los tramos de una región o cuenca para ser consideradas como parte de un mismo sistema son principalmente: temperatura, geología, vegetación riparia similares.

Los datos obtenidos de las métricas individuales utilizadas se correlacionan entre sí y se mide la interacción con la influencia que tienen los datos ambientales sobre los índices. Las métricas que forman parte en la preparación del índice ICM-STAR (Buffagni *et al.*, 2006) corresponden a S (número de familias), EPT (Número de familias de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), H' (índice de diversidad de Shannon-Weaver), ASPT (Average Score Per Taxon= BMWP/S), 1-GOLD (= % Gasteropoda, Oligochaeta y Díptera en la muestra), Log Select EPTD+1 (logaritmo del número de individuos de algunas familias de los órdenes de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Díptera)

Otro de los índices más utilizados es el BMWP/COL, el cual se basa en la sumatoria de los valores totales de las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los trabajos revisados, correspondientes mayormente a artículos científicos y tesis universitarias, la mayoría aplican índices unimétricos para caracterizar la calidad de los cuerpos de agua. En algunos casos solamente se llegan a determinar las familias de macroinvertebrados y una medida de su abundancia; es decir, no se traduce tal información en un índice: por ejemplo en el trabajo de Betancourth (2007) se efectúa el análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en un tramo del Río Portoviejo, determinando los taxones de los especímenes recolectados y su abundancia relativa.

Otros trabajos de interés realizados en Ecuador muestran la identificación de invertebrados bentónicos en ríos como Pindo-Mirador, Alpayacu y Pindo Grande (Endara, 2012) y Río Alambi (Giacometti & Bersosa, 2006), la evaluación ecológica del Río Lliquino (Terneus *et al.*, 2012), el estudio de macroinvertebrados realizado en arroyos de Esmeraldas (Martínez-Sanz *et al.*, 2014), el estudio de la calidad de agua

de la Represa San Vicente-Colonche (Chabla, 2014), la investigación sobre calidad de agua y macroinvertebrados en el Río Yanuncay (Aguirre 2011) y en el Río Blanco (Yunga, 2010). Todas ellas son ejemplos de investigaciones realizadas en ecosistemas fluviales de Ecuador y que utilizan generalmente los índices unimétricos %EPT y BMWP para la determinación indirecta de la calidad de las aguas. En todos los trabajos se realiza además un monitoreo en las estaciones de muestreo en torno a los parámetros físico químicos, con lo que se refuerza el establecimiento de los índices de calidad del agua.

Dentro de este contexto, Ríos *et al.* (2014) mencionan que dadas las características ecológicas y geográficas de los Andes, los índices de otras regiones que consideran a macroinvertebrados deben adaptarse con cautela ya que, por ejemplo, el índice BMWP fue desarrollado en el Reino Unido, que es por mucho una zona con características muy diferentes a los ecosistemas tropicales y andinos. En su trabajo proponen la utilización del ABI (Índice Biótico Andino) y puntualizan que utilizando este parámetro se llega a determinar de manera adecuada el nivel de deterioro de los ríos.

Por otra parte, Villamarín (2012) propone un sistema de medida de calidad de agua desarrollando el índice multimétrico del estado ecológico de los ríos altoandinos (IMEERA), para esto centra su estudio en cuatro cuencas hidrográficas de Ecuador y cuatro de Perú, ubicadas entre 2000 y 4800 msnm. Las métricas consideradas en este relativamente nuevo índice son: número de taxones EPT, % de trepadores, % fijadores, número de familias tolerantes de macroinvertebrados, % de familias intolerantes, índice ABI.

Finalmente, cabe destacar que algunos autores como Rosero & Fossati (2009) mencionan que el índice ABI tiene una exigencia mayor que el BWMP/Col, comparando su utilidad al evaluar la calidad del agua de los ríos Papallacta, Chalpi Norte, Sucus y San Juan. Uno de los aspectos que señalan para que ocurra esta diferencia es la presencia casi constante de

los macroinvertebrados Hyalellidae, y algunos dípteros, que se encuentran considerados en la puntuación final del índice BWMP/Col, por lo que el ABI que no considera estos macroinvertebrados tendrá un menor puntaje.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las investigaciones que se realicen en torno a efectuar la evaluación de la calidad del agua de los ecosistemas dulceacuícolas en el Ecuador deben utilizar herramientas que ofrezcan una visión holística sobre los factores presentes en los cuerpos de agua que influyen en la presencia y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos, para poder permitir catalogar con mayor precisión el grado de afectación de los cuerpos de agua debidos a actividad humana o eventos naturales.

Los índices unimétricos y multimétricos utilizados deben compilar medidas que incluyan la diversidad de taxones propia de los ecosistemas tropicales y altoandinos. En Colombia por ejemplo, se ha adaptado una metodología desarrollada en el Reino Unido (BMWP) hasta llegar a establecer el índice BMWP/Col, índice que es utilizado también en Ecuador.

Para los ecosistemas altoandinos, las investigaciones deberán incluir necesariamente el índice ABI, utilizado desde zonas con altitudes de 2000 msnm hacia arriba, ya que se ha observado que muchas investigaciones actuales todavía solo utilizan los índices EPT y BMWP sin ningún tipo de modificación o adaptación necesaria de efectuar para el entorno andino.

Es importante también considerar el trabajo en el desarrollo de métodos multimétricos como lo realizado con la generación del IMEERA, que se adapta principalmente a ambientes andinos neotropicales (como los de Ecuador y Perú) para la evaluación de cuencas hidrográficas andinas y que muestra como avance la inclusión de variables como tolerancia e

intolerancia a factores contaminantes, número de macroinvertebrados trepadores, número de fijadores, número de taxones de EPT y el índice ABI.

En la revisión realizada no se encontró que se hayan realizado necesarias adaptaciones de métricas simples o índices multimétricos originados en otras latitudes para ecosistemas de Ecuador, por lo que deberían emprenderse investigaciones en este sentido. Utilizando el ejemplo de Colombia, en donde se adaptó el índice BWMP. Sin embargo, por las condiciones biológicas, ecológicas y geográficas de los sistemas de Ecuador, pareciera más interesante utilizar los índices ABI o IMEERA, o formas mejoradas de los mismos para Ecuador, con el objetivo de evaluar la calidad de los cuerpos de agua locales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. (2011). *Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la Cuenca del Río Yanuncay*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Alba-Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de los ríos*. Memorias del IV Simposio el agua en Andalucía. Almería, 2: 202-213.
- Barbour, M., Gerritsen, J., Snyder, B., & Stribiling, J. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic Macroinvertebrates and Fish*. Washington D.C.: Environmental Protection Agency.
- Betancourth, J. (2007). *Análisis estacional de las comunidades de macroinvertebrados en un tramo del río Portoviejo*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Buffagni, A., Erba, S., Cazzola, M., Murray-Bligh, J., Soszka, H., & Genoni, P. (2006). *The STAR common metrics approach to the WFD intercalibration process: Full application for small, lowland rivers in three European countries*. En: *The ecological status of European rivers: evaluation and intercalibration of*

- assessment methods* (pp. 379-399). Dordrecht: Springer.
- Chabla, L. (2014). *Estudio de la calidad de agua de la represa San Vicente – Colonche, mediante el uso de índices de calidad de agua (ICA) y macroinvertebrados acuáticos indicadores (MAIA) de enero a septiembre del 2013*. Santa Elena: Universidad de la Península de Santa Elena.
- CORTOLIMA: Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2006). *Macroinvertebrados acuáticos*. Disponible en: <https://bit.ly/2GruS5C> Fecha de consulta: 2 de octubre de 2017.
- Endara, A. (2012). *Identificación de macroinvertebrados bentónicos en los ríos: Pindo Mirador, Alpayacu y Pindo Grande; determinación de su calidad de agua*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Escobar, M., Terneus, E., & Yáñez, P. (2013). *El Plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas: análisis de caso*. *Qualitas*, 5, 17–37.
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2003). *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua del sur de Chile*. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 76, 275-285.
- Giacometti, J. C., & Bersosa, F. (2006). *Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi*. *Serie Zoológica*, 2, 17-32.
- Karr, J. (1981). *Assessment of biotic integrity using fish communities*. *Fisheries*, 6, 21-27.
- Martínez-Sanz, C., Puente-García, S., Rebolledo, E., & Jiménez-Prado, P. (2014). *Macroinvertebrate richness importance in coastal tropical streams of Esmeraldas (Ecuador) and its use and implications in environmental management procedures*. *International Journal of Ecology*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/253134>.
- Meza, A., Rubio, J., Dias, L., & Walteros, J. (2012). *Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná*. *Caldasia*, 34(2), 443-456.

- Norris, H., & Hawkins, C. (2000). *Monitoring river health*. *Hydrobiologia*, 435(1-3), 5-17.
- Pave, P., & Marchese, M. (2005). *Invertebrados bentónicos como Indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina)*. *Ecol. Austral*, 15, 183-197.
- Parra, O., Basualto, S., Urrutia, R., & Valdovinos, C. (1999). *Estudio comparativo de la diversidad fitoplanctónica de cinco lagos de diferentes niveles de eutrofización del área litoral de la región del Biobío (Chile)*. *Gayana botánica*, 56(2), 93-108.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). *Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas*. Capítulo del libro: *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. San Miguel de Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Ríos, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). *The Andean Biotic Index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrates families and index performance evaluation*. *Revista de Biología Tropical*, 62, 249-273.
- Rosenberg, D., & Resh, V. (1993) *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall. 488 pp.
- Rosero, D., & Fossati, O. (2009). *Comparación entre dos índices bióticos para conocer la calidad del agua en ríos del páramo de Papallacta*. Quito: REVISTA FONAG
- Salvarrey, A., Kotzian, C., Spies, M., & Braun, B. (2014). *The influence of natural and anthropic environmental variables on the structure on the spatial distribution along longitudinal gradient of macroinvertebrates communities in southern Brazilian streams*. *Journal of Insect Science*, 14(1).
- Segnini, S. (2003). *El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente*. *Ecotrópicos*, 16, 45-63.
- Springer, M. (2010). *Biomonitoreo acuático*. Capítulo del libro: M. Springer, A. Ramírez & P. Hanson (Eds.), *Macroinvertebrados*

- de agua dulce de Costa Rica I* (pp.53-59). *Revista de Biología Tropical*, 58, (Supl 4).
- Sullivan, S., Watzin, M., & Hession, W. (2004). *Understanding stream geomorphic state in relation to ecological integrity: evidence using habitat assessments and macroinvertebrates*. *Environ. Manage.* 34(5), 669-683.
- Terneus, E., Hernández, K., & Racines, M. (2012). *Evaluación ecológica del Río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza - Ecuador*. *Revista de Ciencias*. Universidad del Valle. Colombia. pp 31-45.
- Terneus-Jácome, E., & Yánez-Moreta, P. (2018). *Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador*. La Granja: *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36-50.
- Villamarín, P. (2012). *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los ríos altoandinos del Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de Medida de calidad del agua con índices multimétricos*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Yunga, J. (2010). *Estudio de la calidad del agua en los afluentes de la cuenca del Río Blanco para determinar las causas de degradación y alternativas de manejo*. Riobamba: Escuela Politécnica de Chimborazo.
- Zilli, F., & Gagnetten, A. (2005). *Efectos de la contaminación por metales pesados sobre la comunidad bentónica de la cuenca del arroyo Cululú (río Salado del Norte, Argentina)*. *Interciencia*, 30(3), 159-165.