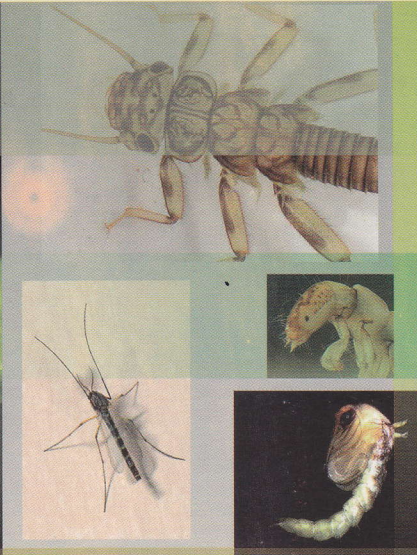


ESTUDIO DE COMUNIDADES BIOLÓGICAS
COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA



SEMINARIO
INTERNACIONAL

LIBRO DE REVISIONES

Auspician:



CONTENIDO

SEMINARIO INTERNACIONAL EN EL ESTUDIO DE COMUNIDADES BIOLÓGICAS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

Libro de Revisiones

IMPORTANCIA DEL EMPLEO DE BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA..... 35

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA: UN ENFOQUE TAXONÓMICO Y SOCIOLÓGICO..... 57

PARÁMETROS HIDROMORFOLÓGICOS Y FÍSICO QUÍMICOS ASOCIADOS AL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA..... 67

DIATOMEAS TERATOLÓGICAS: SU IMPORTANCIA COMO ORGANISMOS BIOLÓGICOS..... 71

LAGUNAS Y HUMEDALES PARA EL ESTUDIO DE BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA..... 81

ANÁLISIS DE PÁPERS Y ESTUDIOS DE CASO EN REFERENCIA A LA CALIDAD DE AGUA..... 97

EL USO DE BIOINDICADORES PARA EL ESTUDIO DE LOS CURSOS DE AGUA DESDE EL PUNTO DE VISTA ECOSISTÉMICO (INTEGRIDAD ECOLÓGICA/ESTADOLÓGICO)..... 107



ALETHEYA

IMPORTANCIA DEL EMPLEO DE BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

Cristina Damborenea¹

PALABRAS CLAVE *bioindicadores; beneficio; clasificación; índices*

RESUMEN

El uso de bioindicadores es una herramienta más para conocer la calidad del agua. Su uso puede simplificar en gran medida las actividades de campo y laboratorio. Su aplicación puede requerir de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos de valores que califican la calidad del agua. Asimismo, el uso de bioindicadores se sustenta en que los sistemas bióticos presentan cualidades establecidas por sus propiedades ecofisiológicas, la dinámica poblacional y las reacciones ante factores estresante como respuesta a los cambios físicos y químicos en las condiciones del ambiente. Los bioindicadores involucran enfoques activos y pasivos que cubren desde bioensayos sobre una sola especie en micro y mesocosmos, hasta la biocenosis y los ecosistemas. El análisis principal sobre los bioindicadores es la determinación de los efectos fisiológicos ocasionado en forma directa a la concentración de factores de estrés. La aplicación de los bioindicadores se basa en la sensibilidad de los organismos a las variaciones ambientales como una señal de alerta temprana. Entre las ventajas del uso de bioindicadores se destacan los bajos costos y mayor proyección espacio/temporal que en la comparación con los de las mediciones instrumentales. En contraste con los aspectos positivos del uso de bioindicadores, una deficiencia es la susceptibilidad que presentan las diferentes especies expuestas a los mismos factores de estrés.

INTRODUCCIÓN

Los bioindicadores incluyen procesos biológicos, especies, poblaciones y comunidades y se utilizan para evaluar la calidad del ambiente y su modificación

1. División Zoología Invertebrados-Museo de La Plata (FCNyM-UNLP). Paseo del Bosque sin n°. La Plata 1900. Argentina. Investigador CONICET. cdambor@fcnym.unlp.edu.ar

en el tiempo. Los cambios en el ambiente a menudo se atribuyen a perturbaciones antropogénicas (por ejemplo, la contaminación, los cambios de uso de los recursos naturales) o a factores de estrés naturales (por ejemplo, sequías, inundaciones, erupción de volcanes, heladas tardías en primavera), aunque los factores de estrés antropogénicos constituyen el foco principal de la investigación de los bioindicadores. El desarrollo y la aplicación generalizada de bioindicadores se han producido principalmente desde los años 1960. Con el correr del tiempo, desde entonces, se amplió la lista de bioindicadores que permite el estudio de todo tipo de entorno (es decir, acuáticos y terrestres) y utilizando todos los principales grupos taxonómicos (Holt & Miller, 2011).

Los organismos, poblaciones, ecosistemas y toda la biocenosis son influenciados naturalmente por numerosos factores de estrés biótico y abiótico. Algunos de estos estresores (o factores estresantes que desencadenan el estrés) son por ejemplo fluctuaciones climáticas, distintos tipos de radiaciones, disponibilidad de alimento, relación depredador-presa, parasitosis, entre otros. La habilidad o forma de reacción ante estos estresores, es característico, distintivo de los sistemas vivos.

A estos factores estresantes, hay que sumarles la actitud del hombre frente a la explotación de los recursos naturales del planeta, lo que ha planteado dos situaciones ya comunes en la naturaleza, una como generador de numerosas sustancias nuevas, inexistentes previamente en el ambiente (xenobióticos) y otra, donde sustancias potencialmente dañinas son liberadas en la naturaleza en cantidades no pensadas ni planificadas. A esta situación debemos además considerar que, según las Naciones Unidas para el 2015, la población de la humanidad llegó a los 7.300 millones de habitantes en el planeta (United Nations Development Programme (UNDP, 2015). Es decir, desde el comienzo del 2000, nacen unas 250.000 personas por día (Markert et al., 2003). Este hecho evidencia el grado de impacto que sufren los ambientes en general y los ecosistemas acuáticos en particular. La gran riqueza de organismos que sostienen los ambientes es fuertemente impactada, por ejemplo por contaminación, generando cambios en la estructura de las comunidades, a la función biológica de los sistemas acuáticos y a los organismos, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva.

Ante lo narrado en los párrafos anteriores, se desprende que el análisis ambiental que se debe realizar, no puede ser estático, instantáneo, en un momento y lugar determinado sino que, de acuerdo a la dinámica de los estresores reinantes, el análisis ambiental debe garantizar una proyección temporal y espacial, por ejemplo de la contaminación. Es entonces donde el concepto de bioindicadores comienza a formarse, en principio haciendo referencia a las especies indicadoras de perturbaciones ambientales, aquellas que ocupan los nichos inalterados o los nichos "creados" por dicha perturbación (Branco, 1984).

La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a la 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. Su aplicación se diferencia de un análisis químico puntual, en donde en este último únicamente se definen las características ambientales en el instante y lugar donde es tomada la muestra. Por el contrario, el asentamiento de poblaciones animales indica que las características ambientales son homogéneas o similares a lo largo de toda su distribución. Por otra parte, permite inferir que las mismas existen desde por lo menos la edad de los individuos de dichas poblaciones. El vertido no constante de contaminantes -que no podrían registrarse con un simple análisis químico si éste no se realizara en el momento en que se está contaminando o poco después- provoca una alteración sobre las poblaciones que señalarían la existencia de ese hecho (Darrigran, 1993).

Según Fränzle (2003), la aplicación de indicadores biológicos es el análisis de la información que brinda la estructura de los sistemas vivos, desde un nivel de sub-organismo hasta un nivel de ecosistema. Ese análisis se realiza para definir la calidad ambiental o evaluar los peligros y riesgos ambientales.

MÉTODO

Sobre la base de la obtención de fuentes de información válidas, con el foco desde la utilización de bioindicadores de condiciones ambientales hasta la homogenización de terminología técnica, se realizó la selección y el análisis de la abundante bibliografía existente sobre el tema.

DESARROLLO DEL TEMA

Los sistemas bióticos presentan propiedades ecofisiológicas, dinámicas, poblacionales y otras reacciones particulares a nivel sub-orgánico, como respuestas al estrés ocasionados por cambios físicos y químicos en las condiciones del ambiente. Estas propiedades que presentan los sistemas biológicos son las cualidades utilizadas por los investigadores a fin de lograr la aplicación de las mismas como bioindicadoras de condiciones ambientales. Estas cualidades deben estudiarse y analizarse en distintos niveles, desde bioensayos sobre una sola especie (nivel de micro y mesocosmos) hasta el estudio de la biocenosis y los ecosistemas; Burger (2006) plantea el uso de distintos indicadores, de acuerdo a los distintos niveles de organización que involucra (Tabla 1-Anexo 1). De esta forma se confía en la sensibilidad de los organismos a las variaciones ambientales como una señal de alerta temprana, semejante a los canarios en las minas de carbón (Fränzle, 2003).

La aplicación de indicadores biológicos en forma acabada y concluyente ocurre a partir de la década de los 90. Esta relativa reciente aplicación de la técnica, implica que se debe de tener certeza en la terminología empleada, por lo tanto a continuación se detalla algunos de los términos más usados (Darrigran, 1993; Markert et al., 2003; Hansen, 2003; Fränzle, 2003; Springer, 2010; Vazquez Silva et al., 2006; entre otros):

Bioindicador: Es un organismo (o parte de un organismo o comunidad de organismos) que contienen información sobre aspectos cualitativos de la calidad del ambiente.

Biomonitor: Es un organismo (o parte de un organismo o comunidad de organismo) que contiene información sobre aspectos cuantitativos de la calidad del ambiente.

Un biomonitor es siempre un bioindicador, pero este último no necesariamente cumple los requerimientos para ser biomonitor, es decir, puede indicar cualitativamente la existencia de xenobióticos, pero no la cantidad.

Biomarcador: Se utilizan a nivel de individuo; son parámetro biológicos medibles a un nivel sub-organismico (bioquímicos, fisiológicos, histológicos o genéticos) en los cuales los cambios funcionales y estructurales indican influencias ambientales en general y la acción de contaminantes en particular, de forma cuali y cuantitativos (e.g. melanismo industrial es un marcador de polución aérea; el bronceado de la piel humana causado por la radiación UV). En la Figura 1 se muestra cómo es posible organizar la respuesta bioquímica en forma operativa. Siempre es necesario un fuerte respaldo científico, además de los parámetros nuevos que emergen. Además de los biomarcadores en el campo de la inmunotoxicidad y efectos endócrinos, hay biomarcadores estandarizados por normas ISO en el campo de la genotoxicología y en otros campos. Los criterios de valoración de daños genotóxicos tienen alta significación ecológica debido a que hacen referencia a la capacidad de los organismos para reproducirse. Las respuestas al estrés en los niveles de población tienen implicancias ecológicas directas a pesar de que muestran baja especificidad. Por lo tanto, debería haber un enfoque holístico del ecosistema, donde toda la información (tanto de alta como de baja especificidad) debe ser considerada para una gestión adecuada del estado del ecosistema. Con el fin de obtener información sobre la evaluación general de los ecosistemas, se requiere al menos un ciclo de dos años (Tabla 1—Anexo 1).

Biosensor: Es un dispositivo de medición; produce una señal en proporción a la concentración de un grupo definido de sustancias a través de un sistema biológico selectivo (enzima, anticuerpo, membrana, etc. y un transductor e.g. transmisión física por electrodos).

Bioindicadores activos (biomonitoreo) Cuando las especies indicadoras (biomonitores criados en laboratorio) son expuestos en el campo en forma es-

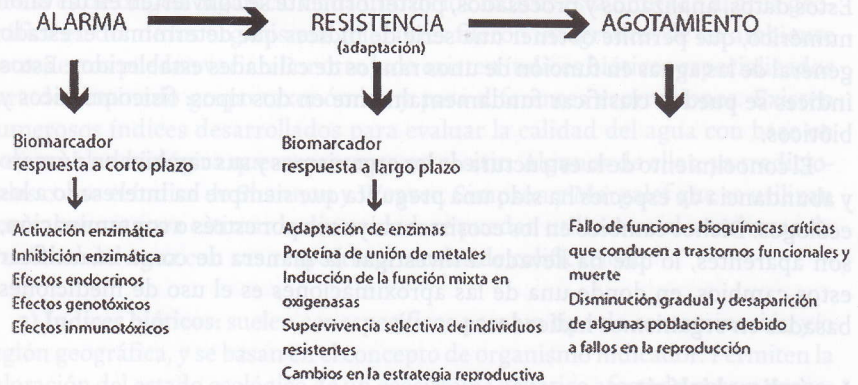
tandarizada por un período definido de tiempo. Al final del tiempo establecido de exposición, se registran las reacciones provocadas y se analizan los xenobiótico acumulados por el organismo.

Bioindicadores pasivos. Cuando los organismos no son expuestos al ambiente, sino que en forma natural están en el ecosistema y son analizados.

De acuerdo al modo de acción los organismos indicadores, estos pueden clasificarse de la siguiente forma:

Indicadores/monitores de acumulación. Son organismos que bioacumulan uno a más elementos o compuestos presentes en el ambiente.

Indicadores/monitores de efecto o impacto. Son organismos que demuestran



un efecto en respuesta a la exposición a ciertos elementos o compuestos o número de sustancias (e.g. cambios en su morfología, histología, estructura celular, procesos metabólicos/bioquímicos, comportamiento, estructura poblacional).

Figura 1. Diagnóstico ambiental por biomarcador: efectos y respuestas relacionadas.

Asimismo, los Indicadores biológicos deben ser seleccionados contemplando tres aspectos:

1. Un indicador debe mostrar cambios en respuestas al factor de estrés considerado. No obstante, el grado de sensibilidad no debe ser tan alto como para generar modificaciones conspicuas, exagerado, cuando en realidad la causa no es tal; se crea una injustificada preocupación. En síntesis, un bioindicador debe señalar los cambios no solo del deterioro de la propia especie sino de sus poblaciones, comunidad y ecosistema.
2. Aspecto metodológico, el cual debe ser de fácil interpretación para los científicos, pero fundamentalmente para los no científicos (gestores, conservacionistas, funcionarios, etc.).

3. Por último, la relevancia social es un atributo importante también en la utilidad del indicador, ya que sin el aporte del soporte público y por ende el gubernamental, el indicador biológico no será usado sobre una escala espacio/temporal adecuada para lograr su objetivo, es decir, brindar información significativa.

Los tres aspectos antes mencionados, requieren de monitoreo que implica la necesidad de tiempo y personal especializado que lo realice.

Índices biológicos. Para conocer el grado de calidad de las aguas, se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros e indicadores. Estos datos, analizados y procesados, posteriormente se convierten en un valor numérico, que permite obtener una serie de índices que determinan el estado general de las aguas en función de unos rangos de calidades establecidos. Estos índices se pueden clasificar fundamentalmente en dos tipos: fisicoquímicos y 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 como cuantificar estos cambios, en donde una de las aproximaciones es el uso de mediciones basadas en organismos indicadores.

Los índices biológicos

Los índices biológicos son indicadores o medidas biológicas que permiten evaluar y comparar la salud de los sistemas (Burger, 2006). Se pueden dividir en dos tipos:

1) Índices de diversidad: Miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio, a mayor biodiversidad mayor puntuación. Reflejan alteraciones del número total de comunidades de organismos. Como ventajas de estos índices respecto a los bióticos destacan que no es necesaria la identificación de especies o familias, que no se requiere información sobre la tolerancia a contaminación y que sirven para detectar episodios leves de contaminación.

Los índices de diversidad tienen una larga historia en estudios de contaminación, aunque su utilidad ha sido con frecuencia cuestionada. Por ejemplo, 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. 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. Este hecho favorece los conocimientos taxonómicos y de composición de la fauna acuática, que en algunos grupos no se conoce, aunque sin lugar a dudas muchas veces se aleja de los objetivos perseguidos por el gestor ambiental.

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 otros estos pueden variar. Por otro lado existen índices bióticos especializados para determinado grupo taxonómico y para diferentes ecorregiones. Existen numerosos índices desarrollados para evaluar la calidad del agua con base en la diversidad biológica que se presenta en el sitio. Algunos de ellos, ya tradicionales como el índice de Shannon y Weaver, Simpson y Margalef que se utilizan normalmente para estimar la diversidad, se pueden utilizar en el monitoreo de la calidad del agua con sus respectivas escalas de calificación.

2) Índices bióticos: suelen ser específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello a los grupos de invertebrados de una muestra se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor numérico mayor, la suma de todos estos valores nos indica la calidad de ese ecosistema. Los índices bióticos se emplean exclusivamente para la evaluación de la calidad del agua. Estos índices asocian 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. Algunos de estos índices son (para más datos ver Tabla 2 -Anexo 1): Sapróbico, Índice Biótico de Beck, Índice Secuencial de Comparación, Índice Estadístico de Pielou, Índice de Hilsenho®, Índice de Macroinvertebrados bénticos, Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP). Este último índice ha sido adaptado en los últimos años en varios países de Latinoamérica.

Modelo SCAF. Este modelo determina el estado ambiental combinando los índices de diversidad y el índice biótico BMWP. Se basa en la teoría de la

sucesión ecológica. Va a indicar el tipo de ambiente ecológico de la zona analizada, lo que permite hacer estudios de comparación o determinar qué impactos negativos sobre el ecosistema puede estar afectando a la calidad del agua. Con este modelo se determinan, por tanto, los distintos tipos de estado ambiental del ecosistema. A cada tipo le corresponderán, a su vez, unos usos potenciales, como queda reflejado en la Tabla 2:

DISCUSIÓN

A pesar de que se considere que el objetivo del monitoreo de los bioindicadores es evaluar el efecto de las actividades del hombre sobre los recursos biológicos, los objetivos de los monitoreos son más amplios y abarcan la comprensión de las fuerzas naturales (clima, competencia, interacciones inter-específicas, etc.) y cómo afectan estos a la estabilidad poblacional, estructura comunitaria y el funcionamiento del ecosistema (Burger, 2006). Es decir, la utilización de bioindicadores, no solo puede y debe señalar alteraciones ambientales ocasionadas por el hombre, como por ejemplo detección de áreas de mayor impacto antrópico sobre la base de la estructura de la taxocenosis moluscos (Darrigran, 1993), sino también puede y debe señalar las características biológicas propias del ambiente, de forma tal que indique las diferencias ambientales naturales, por ejemplo, la variación temporo/espacial de la concentración salina en un estuario vs. la estabilidad de las poblaciones de la malacofauna litoral (Darrigran, 1999).

No obstante el empleo de bioindicadores también presenta limitaciones tales como (Vazquez Silva et al., 2006):

- El ajuste de Índices bióticos para distintas regiones.
- El muestreo implica mayor tiempo.
- La identificación taxonómica requiere experiencia.
- Para obtener una evaluación integral será necesario realizar conjuntamente análisis fisicoquímicos o pruebas de toxicidad.

Específicamente considerando el uso de índices bióticos, es necesario considerar 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.

Los datos del biomonitoreo deben mostrar al sistema abiótico (en un nivel de aire, agua, suelo y sedimento), los procesos biológicos (organismos, tasa de mortalidad, de reproducción), marcadores bioquímicos (actividad enzimática, nivel de hormonas), marcadores toxicológicos (plomo en sangre, metabolitos en sustancias a excretar).

Sobre esta base, se deben considerar los ejes de desarrollo de los Indicadores Biológicos, a fin de saber qué bioindicador utilizar según el caso. Hay varios ejes para el desarrollo de Indicadores biológicos, que incluyen: nivel biológico de organización (individuo, población, comunidad, ecosistema); tipo de estresor (físico, biológico, químico); ser un estresor único o múltiple; y el grado de efectos antropogénicos en el ambiente (prístino a dominado por el hombre). Estas categorías no son excluyentes, pero necesitan ser consideradas y sugieren la importancia de la definición clara de los objetivos en el plan de monitoreo, es decir, tener en claro la respuesta a una sencilla pregunta: ¿para qué desarrollar un indicador biológico?

CONCLUSIÓN

- La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a su composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental
- La aplicación de indicadores biológicos es el análisis de la información que brinda la estructura de los sistemas vivos, desde un nivel de sub-organismo hasta un nivel de ecosistema.
- Ese análisis se realiza para definir la calidad ambiental o evaluar los peligros y riesgos ambientales.
- La bioindicación involucra enfoques activos y pasivos que cubren desde bioensayos sobre una sola especie en micro y mesocosmos, hasta la biocenosis y los ecosistemas.
- Entre las ventajas del uso de bioindicadores son los bajos costos en comparación con los de las mediciones instrumentales.

Tabla 1. Utilidad de los indicadores biológicos en función de su nivel de organización y tipo de estresor.

Nivel de organización	Tipo de estresor	
	Abiótico	Biótico
Individuo	ADN	Enfermedades
Células	Enfermedades	Enfermedades
Subpoblación	Enfermedades	Enfermedades
Población	Enfermedades	Enfermedades

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANCO, S. M. 1984. *Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales*. Serie Biología. Monografía 28, OEA: 120 pp.
- BURGER, J. 2006. *Bioindicators: Types, Development, and Use in Ecological Assessment and Research*. Environmental Bioindicators, 1, 22-39.
- DARRIGRAN, G. 1993. *Los Moluscos del Río de la Plata como indicadores de contaminación ambiental*. En: F. Goin & R. Goñi (ed.), Elementos de Política Ambiental: 309-313. La Plata: Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires.
- DARRIGRAN, G. 1999. *Longitudinal distribution of molluscan communities in the Río de la Plata estuary as indicators of environmental conditions*. Malacological Review Supplement Freshwater Mollusca, 8, 1-12.
- FRANZLE, O. 2003. *Bioindicators and environmental stress assessment*. En B. A. Markert, A. M. Breure & H. G. Zechmeister (Eds.) *Bioindicators & Biomonitoring. Principles, Concepts and Applications* (p 41-84). Amsterdam: Elsevier.
- HANSEN, P. D. 2003. *Biomarkers*. En B. A. Markert, A. M. Breure & H. G. Zechmeister (Eds.) *Bioindicators & Biomonitoring. Principles, Concepts and Applications* (p 203-220). Amsterdam: Elsevier.
- HOLT, E. A. & MILLER, S. W. 2011. *Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts*. Nature Education Knowledge 2(2), 8.
- MARKERT, B. A., BREURE, A. M. & ZECHMEISTER, H. G. 2003. *Bioindicators & Biomonitoring. Principles, Concepts and Applications*. Amsterdam: Elsevier.
- SPRINGER, M. 2010. *Biomonitoreo acuático*. Revista de Biología Tropical 58 (Suppl. 4), 53-59.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). 2015. *Human Development Report 2015 Work for Human Development*. Recuperado de http://hdr.undp.org/sites/default/files/2015_human_development_report_1.pdf
- VÁZQUEZ SILVA, G., CASTRO MEJÍA, G., GONZÁLEZ MORA, I., PÉREZ RODRÍGUEZ, R. & CASTRO BARRERA, T. 2006. *Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua*. Contactos 60, 41:48.

ANEXOS

Tabla 1. Utilidad de los indicadores en los diferentes niveles de organización biológica para evaluar el estado del sistema y el tiempo de respuesta. Modificado a partir de Burger (2006) y Hansen (2003).

Nivel de organización	Parámetro utilizado	Evaluación	Escala de tiempo
Molécula	Daño genético, mutaciones, roturas de la cadena de ADN		10 min
Célula	Defensa anti-xenobióticos Defensa inmunológica intercelular (daño genético - reparación de daños genéticos; reacción con macromoléculas - patología celular)	Respuesta bioquímica (biosensores)	1-3 días
Individuo	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de contaminantes • Lesiones • Enfermedades • Tumores • Infertilidad • Crecimiento • Longevidad • Reproducción • Edad de reproducción 	Estado de los individuos; riesgo para los niveles más altos de los consumidores; estado de sus alimentos, incluyendo presas.	20-120 días
Población	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de reproducción • Tasa de crecimiento • Tasa de supervivencia • Movimiento • Biomasa • Flujo de energía 	Estado de las poblaciones, particularmente de especies en peligro de extinción o amenazadas; comparación entre las poblaciones; comparaciones temporales.	0,5-1 año

Nivel de organización	Parámetro utilizado	Evaluación	Escala de tiempo
Comunidad	<p>Alimento de gremios</p> <p>Cría de gremios (grupos de especies relacionadas)</p> <p>Interacciones depredador-presa</p> <p>Interacciones de competencia</p>	<p>Estado de las especies que utilizan el mismo nicho; relación entre las diferentes especies dentro de los gremios o ensamblajes; comparaciones espaciales y temporales; eficacia de los planes de gestión.</p>	<p>> 2 años</p>
Ecosistema	<p>Diversidad de especies</p> <p>Tasa de descomposición</p> <p>Tasas de erosión</p> <p>Productividad primaria</p> <p>Transferencia de energía</p> <p>Flujo de nutrientes</p> <p>Relación entre diferentes niveles tróficos</p>	<p>Cambios en la presencia relativa de las especies, tiempo necesario para disponer de nutrientes y energía rápidas, tiempo necesario para que los nutrientes en el suelo no estén disponibles, nivel de fotosíntesis; estructura general del ecosistema en términos de las relaciones entre los niveles tróficos; eficacia de los planes de manejo</p>	<p>> 2 años</p>
Paisaje	<p>Cantidades relativas de los diferentes hábitats</p> <p>Tamaño de parches</p> <p>Corredores entre tipos de hábitat o diferentes ecosistemas</p>	<p>Dispersión de los diferentes tipos de hábitat, valores relativos de diversidad de especies; diferencias entre hábitats; medidas de distribución de corredores y refugios dentro del paisaje; relación entre áreas desarrolladas y naturales; la importancia de ecosistemas específicos dentro del paisaje.</p>	<p>> 2 años</p>

Tabla 2. Características de los Índices bióticos más utilizados (modificado de <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#SCAF> Consultado el 15/10/2016)

<p>Biological Monitoring Working Party (BMWP)</p>	<p>Se basa en la asignación a las familias de macroinvertebrados acuáticos de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores obtenidos para cada familia detectada en un punto nos dará el grado de contaminación del punto estudiado.</p> <p>Existen adaptaciones en distinto lugares del mundo de este índice creado en primer lugar por Hellawell en 1978 para los ríos de Gran Bretaña. Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega publicaron en 1988 la adaptación para la Península Ibérica que se denota por BMWP'. Una de las últimas adaptaciones para la Península Ibérica es la Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP), de Alba-Tercedor y colaboradores en el 2002.</p>
<p>Índice biótico de Trent (TBI)</p>	<p>El índice biótico de Trent, diseñado por Woodiwiss en 1964, se utiliza para indicar el grado de tensión producido por las aguas residuales en comunidades animales de río, a partir de las cantidades de taxones y la presencia de especies o grupos claves. Utiliza 6 taxones y la valoración final del agua varía entre 0 (mala) y 15 (buena). A partir de él se han desarrollado multitud de adaptaciones.</p>
<p>Índice Chandler</p>	<p>Utiliza 6 grupos, los mismos que Trent, y además emplea un factor de abundancia, en el que cada especie tiene una puntuación que varía según el número de individuos. Es necesaria la identificación taxonómica de los macroinvertebrados hasta el nivel de género o especie. La puntuación final del agua varía entre 0 (mala) y un límite superior no definido, aunque se puede afirmar que si el índice es menor de 300 el agua está contaminada y si está comprendido entre 300 y 3000 el agua está poco contaminada.</p>