

ANÁLISIS CRÍTICO DEL USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN AMBIENTAL

Carlos Alberto Lazo Oscanoa

ORCID: 0000-0002-2194-0953

José Alfredo Piscocoya Torres

ORCID: 0000-0002-6471-7436

Piero Jose Roa Changana

ORCID: 0000-0002-4643-1565

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Resumen: Debido al preocupante contexto del agua a nivel nacional y mundial, resulta imperativo establecer acciones para la protección y conservación de los ecosistemas acuáticos y recursos hídricos en el Perú, como instaurar una evaluación integral de la calidad del agua. En este contexto, los bioindicadores, en especial los macroinvertebrados bentónicos, representan una importante herramienta para una eficiente evaluación del agua. En este ensayo se analiza cómo se viene manejando el uso de estos bioindicadores a nivel internacional y en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA) del Perú, con especial énfasis en el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH). Entre sus objetivos están lograr una adecuada gestión de los recursos hídricos; contribuir en la conservación, preservación y la recuperación del agua y sus bienes asociados y proteger su calidad. El estudio evidenció que estos bioindicadores sí se vienen considerando en algunos de los instrumentos de gestión de los sistemas que conforman el SNGA, sin embargo, su uso no está muy desarrollado al no tener una fuerte base legal. En el caso del SNGRH, su uso es aún incipiente en las estrategias y acciones de sus principales instrumentos de planificación y está ausente en el marco normativo de los recursos hídricos, por ende, en los protocolos que aborden su utilización.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos. Calidad del agua. Bioindicadores. Gestión de recursos hídricos. Ecosistemas acuáticos. Perú.

Critical Analysis of the Use of Benthic Macroinvertebrates as Bio Indicators of Water Quality in the National Environmental Management System

Abstract: Due to the worrisome water context at domestic and global level, it is imperative to establish actions for protecting and conserving aquatic ecosystems and water resources in Peru, such as establishing a comprehensive assessment of water quality. In this context, bio indicators, especially benthic macroinvertebrates, represent an important tool for efficient water assessment. This essay analyzes how the use of these bio indicators is being managed at international level and within the framework of the National Environmental Management System (SNGA) of Peru, with special emphasis on the National Water Resources Management System (SNGRH), since one of its objectives is to achieve an adequate management of water resources in the country, to contribute to the conservation, preservation and recovery of water and its associated goods, and to have the conservation and protection of water quality as one of its purposes. In this way, it was evident that these bio indicators are being considered in some of the SNGA management instruments. However, in some of these, their use is not very developed or is limited because they do not have a strong legal basis, since they have not yet been incorporated in the regulatory framework of water resources and, therefore, in the protocols that address their use.

Keywords: Benthic macroinvertebrates. Water quality. Bioindicators. Water resources management. Aquatic ecosystems. Peru.

Carlos Alberto Lazo Oscanoa

Estudiante de pregrado del décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Subcoordinador del Grupo de Estudio de Gestión de Recursos Hídricos y Ecosistemas Acuáticos de la Escuela de Ingeniería Ambiental.

Correo: carlos.lazo5@unmsm.edu.pe

José Alfredo Piscoya Torres

Estudiante de pregrado del décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Coordinador del Grupo de Estudio de Gestión de Recursos Hídricos y Ecosistemas Acuáticos de la Escuela de Ingeniería Ambiental.

Correo: jose.piscoya4@unmsm.edu.pe

Piero Jose Roa Changana

Estudiante de pregrado del décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Miembro del Grupo de Estudio de Gestión de Recursos Hídricos y Ecosistemas Acuáticos de la Escuela de Ingeniería Ambiental.

Correo: piero.roa@unmsm.edu.pe

1. Introducción

Actualmente, el agua se ha convertido en el centro de diferentes conflictos y crisis a nivel global por problemas como su escasez, sobreexplotación de acuíferos, contaminación de las fuentes de agua, entre otros (Matus, s.f.), situación agravada en un contexto de cambio climático. A nivel mundial, la mala calidad del agua afecta directamente a las personas que dependen de estas fuentes como su principal suministro (UNESCO, 2019). En el Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ente rector del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH), ha identificado, desde 2009, 41 unidades hidrográficas donde se exceden los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, teniendo como principal causa de la contaminación de los cuerpos de agua el vertimiento de aguas residuales domésticas y municipales (ANA, 2016).

En ese sentido, resulta preciso establecer y mejorar las estrategias plasmadas en las políticas y planes de estado que tengan por objetivo el monitoreo y evaluación de los ecosistemas acuáticos y recursos hídricos, de tal forma que se garantice la subsistencia de fuentes de agua de calidad, tanto para el ser humano como para la vida acuática en general. La incorporación y utilización de los bioindicadores, en especial el de macroinvertebrados bentónicos, animales invertebrados como moluscos, larvas de insectos, entre otros, con tamaño superior a 500 μm y que viven principalmente en ecosistemas fluviales (MINAM, 2014); las acciones de monitoreo y evaluación de estos medios pueden ser buena herramienta para conseguir ello, puesto que implica la realización de una evaluación más holística que complementaría el enfoque actual de la evaluación de la calidad del agua. Por consiguiente, considerando experiencias internacionales, este ensayo tiene el objetivo de dejar en evidencia la importancia de la evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados bentónicos, como parte de los instrumentos de planificación y gestión que involucren el uso, protección y conservación de los ecosistemas acuáticos y recursos hídricos en el ámbito del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, con especial énfasis en el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.

2. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua

El uso de bioindicadores en la evaluación de calidad del agua es particularmente importante, pues su evaluación no implica analizar un parámetro de manera independiente, por el contrario, busca integrar una multitud de factores estresantes que pueden estar presentes en los ecosistemas acuáticos, permitiendo evaluar los impactos sinérgicos o antagónicos de los diferentes contaminantes del agua (Cruz, 2018). Una desventaja de los métodos biológicos es que puede resultar difícil relacionar los efectos observados con aspectos específicos de la perturbación ambiental, por ejemplo, no siempre se podrá identificar un contaminante específico mediante este método sin la necesidad de incorporar un análisis químico complementario (OMS, 1996). Por otro lado, la respuesta de los bioindicadores puede verse afectada por los ciclos naturales de cada especie, como la etapa de la vida y la condición reproductiva (OMS, 1996). En ese sentido, los macroinvertebrados bentónicos destacan entre los demás bioindicadores debido a la alta especificidad de respuesta que tienen frente a los contaminantes, en comparación a otros bioindicadores; además de la preferencia de dichos organismos a ocupar microambientes particulares (Lopez & Sedeño, 2015).

Sin embargo, la evaluación tradicional de la calidad del agua utiliza mayoritariamente indicadores físico químicos, lo que conlleva a ciertas limitaciones que podrían solucionarse con el uso de los macroinvertebrados bentónicos. Por ejemplo, la evaluación fisicoquímica suele resultar costosa, y de mayor dificultad; en cambio, la evaluación en base a bioindicadores va a requerir menos recursos financieros y capacidad técnica (EPA, 1999). Asimismo, a diferencia de la evaluación fisicoquímica, la cual nos dará un diagnóstico del momento de la calidad del agua, esta evaluación biológica nos permitirá hacer un análisis en el tiempo y espacio de la perturbación o contaminación de un ecosistema (ANA, 2015a). También, existen contaminantes que pueden encontrarse diluidos o en bajas concentraciones que son indetectables mediante métodos fisicoquímicos, sin embargo, detectables usando macroinvertebrados bentónicos, ya que ellos suelen bioacumularlos, permitiendo así su detección mediante un posterior análisis químico (Sallenave, 2015). Además, el análisis físico químico va a depender de otros factores del medio como el caudal en el momento que se toma la muestra, estos macroinvertebrados, al ser abundantes y estar distribuidos ampliamente en los cuerpos de agua continentales superficiales —incluso en arroyos de bajo caudal—, no tienen dicha limitación.

El uso de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad ambiental también podría permitir el desarrollo de programas de vigilancia ambiental ciudadana, por ejemplo, para la determinación de la afectación del medio por algún contaminante en particular, permitiendo así generar alertas tempranas de contaminación y acciones pertinentes de conservación (Flores & Huamantico, 2017). Sin embargo, en vista de las políticas actuales de reducción de la contaminación orientadas a los productos químicos y para revelar problemas químicos específicos, el análisis de efectos biológicos nunca reemplazará totalmente al análisis químico (De Zwart, 1995).

3. Avances y experiencias internacionales

A nivel internacional, la Directiva Marco del Agua (DMA) (Comisión Europea, 2000) establece un marco de protección de los ecosistemas acuáticos en los Estados miembros de la Comunidad Europea, haciendo hincapié en la necesidad de evaluar dichos ecosistemas por su «estado ecológico», utilizando para ello indicadores biológicos como los macroinvertebrados bentónicos, además de la utilización de indicadores fisicoquímicos e hidromorfológicos. En ese sentido, el Gobierno español ha desarrollado una metodología para establecer y conocer el estado ecológico de sus cuerpos de agua utilizando el enfoque y los lineamientos de la DMA, definiendo un protocolo de muestreo, evaluación y análisis de cada indicador biológico, incluidos los macroinvertebrados bentónicos (Durán & Pardos, 2007), dejando en evidencia la importancia de la generación y desarrollo de herramientas e instrumentos técnico-normativos en el marco de la evaluación de la calidad del agua por parte de las organizaciones multilaterales, pues estos servirán como base para la adopción e implementación de mecanismos de evaluación de la calidad del agua de los países miembros de estas organizaciones.

Por otro lado, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) reconoce que se puede lograr una mejor comprensión de los factores estresantes que impactan negativamente los ecosistemas acuáticos mediante la utilización de evaluaciones biológicas, además de poder ser empleadas para definir los usos de la vida acuática de los cuerpos de agua según su condición ecológica, clasificación de los mismos con fines de antidegradación, desarrollo de criterios numéricos que sustenten los Estándares de Calidad del Agua, etcétera (EPA, 2011), reflejando los múltiples roles y aplicabilidad de la evaluación biológica en la gestión del agua; asimismo, en 2013 y 2014, la EPA, en colaboración con las agencias estatales y tribales, evaluó la condición de los ríos y arroyos de los Estados Unidos utilizando indicadores de salud humana, físicos, químicos y biológicos

(macroinvertebrados y peces) con el objetivo de conocer la calidad de estos cuerpos de agua, y para reflejar hasta qué punto dicha calidad permite cumplir con los objetivos y disposiciones de la Ley de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés), entre ellas el de la Sección 101 (a) de «restaurar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas de la nación», que involucra la protección de la vida acuática, el respaldo de la recreación poblacional, entre otras (EPA, 2020), el cual sirvió como asidero legal de las acciones realizadas por la EPA en cuanto a la determinación de la calidad de sus cuerpos de agua, denotando así la importancia del fortalecimiento institucional y normativo de los organismos encargados de la gestión multisectorial del agua, así como de la articulación y coordinación con los órganos desconcertados.

En Latinoamérica, según Feio *et al.* (2021), países como Colombia, Costa Rica, Brasil y Ecuador tienen bases normativas bien desarrolladas y definidas respecto al uso de macroinvertebrados bentónicos para la evaluación de la calidad del agua; por ejemplo, en Colombia se han establecido lineamientos para implementar un monitoreo ecológico estandarizado que incorporen estos bioindicadores; en Costa Rica se legisló la clasificación y evaluación de aguas superficiales en base a estos organismos acuáticos; en Brasil se promulgaron instrumentos legislativos con alcance nacional y regional que establecen el uso de organismos acuáticos para evaluar los ambientes acuáticos, así como la determinación de áreas de referencia, métodos de evaluación y grupos de bioindicadores, incluyendo peces e invertebrados bentónicos; y en Ecuador, la normativa para la evaluación del impacto minero incluye a los macroinvertebrados bentónicos como parte de la biota acuática a ser evaluada; por otro lado, en Bolivia, Chile y México se viene investigando la respuesta de estos organismos frente a los estresores ambientales, desarrollando y/o adaptando índices biológicos para sus ambientes acuáticos por parte de la comunidad científica; mientras que Venezuela, Surinam y Guayana son algunos de los países sin iniciativas de promoción de la evaluación biológica.

4. Macroinvertebrados bentónicos en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental

El Sistema Nacional de Gestión Ambiental se encarga de organizar la gestión ambiental y de los recursos naturales en nuestro país, y está conformado por cinco sistemas funcionales que evaluaremos en materia de macroinvertebrados bentónicos, con excepción del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), que no cuenta con competencias en este campo.

ANÁLISIS CRÍTICO DEL USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS
COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA NACIONAL
DE GESTIÓN AMBIENTAL

La utilización de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua se viene realizando en el ámbito del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), puesto que en el marco de la Ley del SEIA «resulta imprescindible realizar la colecta de recursos hidrobiológicos necesarios para la formulación de instrumentos de gestión ambiental, los cuales forman parte de la evaluación para la Certificación Ambiental de la Autoridad Competente» (decreto supremo 013-2020-PRODUCE, 2020), por lo que en la elaboración de la línea base ambiental de proyectos que tengan en su área de estudio cuerpos de agua o ecosistemas acuáticos continentales, deben realizar una caracterización de las comunidades hidrobiológicas continentales, que incluye a los macroinvertebrados bentónicos (MINAM, 2018), evidenciándose en los Términos de Referencia (TdR) para proyectos de inversión de algunos sectores. En esa misma línea, la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que los estudios de línea base sobre macroinvertebrados bentónicos nos proporcionarán un punto de referencia con el que se podrá evaluar los efectos de los proyectos cuando estos ya se ejecuten (OMS, 1996), pudiendo así identificar los impactos de los proyectos a los cuerpos de agua, así como para reconocer otras fuentes de afectación.

Asimismo, dentro del Sistema Nacional de Fiscalización Ambiental (SINEFA), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), como parte del macroproceso de fiscalización ambiental, ejerciendo su función evaluadora de la calidad ambiental respecto a actividades de su competencia (decreto supremo 013-2017-MINAM, 2017), realiza monitoreos de las comunidades hidrobiológicas de los cuerpos de agua (incluyendo macroinvertebrados bentónicos) como complemento al instrumento de gestión ambiental de algunos proyectos de inversión (OEFA, 2018), con el objetivo de determinar la calidad ambiental e identificar las posibles fuentes, causas y efectos de la alteración del agua. No obstante, el proceso de fiscalización ambiental se ve limitado puesto que no todos los administrados consideran la evaluación de la calidad del agua en base a los bioindicadores como parte de sus compromisos ambientales, debido a que no hay normativa que lo exija. Por tal motivo, hasta ahora no se ha advertido ningún caso donde el OEFA haya iniciado un procedimiento administrativo sancionador en base a este sustento.

En el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), si bien sí se evidenció el uso de macroinvertebrados bentónicos, este está poco extendido, realizándose solo en dos Áreas Naturales Protegidas (ANP), el Parque Nacional Yanachaga Chemillén (MINAM, 2012) y la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas (MINAM, 2011), como parte de Inventarios del Patrimonio Natural, realizados por el Servicio Nacional de Áreas Naturales

Protegidas (SERNANP), ente rector del SINANPE, de manera conjunta con el Ministerio del Ambiente (MINAM), con el objetivo de conocer el potencial del patrimonio natural y mejorar la gestión del manejo de los recursos naturales de las ANP, donde se utilizó macroinvertebrados bentónicos como parte de la caracterización de los recursos hidrobiológicos y evaluación de la calidad del agua. Por lo que replicar estas iniciativas en otras ANP resulta de suma importancia, considerando la relevancia que tienen los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de los cuerpos de agua. Estos estudios de macroinvertebrados van a contribuir a la conservación de ecosistemas de las ANP, tal es el caso del Servicio de Parques Nacionales de Estados Unidos, el cual viene realizando estos estudios de macroinvertebrados en los parques nacionales de la Red de Ríos y Montañas del Este, con el fin de rastrear los cambios a largo plazo en la integridad ecológica de los arroyos mediante el monitoreo de las comunidades, lo que facilitará la toma de decisiones de los administradores, y estos así puedan proteger y mejorar los ecosistemas de arroyos para las generaciones futuras (US National Park Service, 2016).

Por otra parte, en el marco del SNGRH, la Ley de los Recursos Hídricos y su Reglamento establecen los instrumentos de planificación del SNGRH, con los cuales se busca conducir y lograr una adecuada gestión de los recursos hídricos. En ese sentido, una eficiente evaluación de la calidad del agua se torna en un factor clave para lograr este objetivo; por consiguiente, los bioindicadores, especialmente los macroinvertebrados bentónicos, deberían ser un componente relevante de esta evaluación. No obstante, en la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2015b) no existen estrategias de intervención que impliquen una evaluación biológica de los cuerpos de agua, sino más bien solo se promueve el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, así como el de los Límites Máximos Permisibles (LMP), los cuales se centran en la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, por lo cual es propicio implementar un lineamiento de acción en el eje de política de gestión de la calidad que promueva la utilización de bioindicadores de la calidad del agua, como parte de la evaluación de los cuerpos de agua. Por otro lado, únicamente en el programa de Mejora del conocimiento de la calidad de las aguas superficiales del Plan Nacional de Recursos Hídricos de Perú (ANA, 2013a), se abordó el tema de indicadores biológicos, fijándose como meta el establecimiento e implementación de una red de muestreo nacional donde se evaluarán indicadores de calidad biológicos como complemento de los indicadores fisicoquímicos, con la finalidad de «ir instaurando en el Perú el concepto de “estado ecológico”». Sin embargo, hasta la fecha no existe registro de la implementación de esta red de muestreo ni programas de monitoreo por parte de la ANA que incluyan bioindicadores

ANÁLISIS CRÍTICO DEL USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS
COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA NACIONAL
DE GESTIÓN AMBIENTAL

como los macroinvertebrados bentónicos u otros organismos acuáticos, por lo que resulta necesario estimular y promover acciones estratégicas que fomenten el establecimiento de una definición clara e integral de los objetivos y metas de los monitoreos en un ámbito nacional, lo cual implica el fortalecimiento y potenciación de las capacidades técnicas de los actores involucrados en la gestión de la calidad del agua. En cuanto a los Planes de Gestión de Recursos Hídricos por Cuenca (PGRHC), también elaborados por la ANA, no se utilizaron los bioindicadores para la evaluación de los cuerpos de agua, pero sí se recomendó su utilización en los programas de dos de ellos; en el de Caplina-Locumba, se propone la «realización de investigación para la definición de bioindicadores e índices de calidad de agua para categorizar las masas de agua presentes en las cuencas» (ANA, 2015c); y en el de Tumbes, se propuso «realizar monitoreos biológicos que incluyen muestreos de ictiofauna e invertebrados como parte de su programa de mejora del control de la calidad del agua» (ANA, 2013b), mientras que en la revisión de los otros planes no se encontró ningún programa relacionado a bioindicadores, considerando que entre todos los PGRHC deben existir criterios homogéneos de evaluación de la calidad del agua, esto con el objetivo de que los resultados obtenidos sean contrastables e integrados posteriormente en el PNRH, por lo cual es fundamental reformular las directrices que establecen estos criterios, incluyendo la evaluación en base a bioindicadores.

Bajo ese mismo contexto, la ANA elaboró y aprobó, en el año 2016, el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales, con una orientación en la utilización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar el estado de los recursos hídricos, omitiendo la estandarización de los procedimientos del monitoreo de bioindicadores, que de acuerdo al PNGRH, incorporar estos indicadores es fundamental para una determinación más próxima al estado de un cuerpo de agua, tal así que no solo permita garantizar el uso asignado por ley sino el de todos sus componentes bióticos, como la vida acuática, de manera semejante al Protocolo de Monitoreo de Agua de Colombia, el cual incluye indicadores hidrobiológicos para determinar la calidad del agua (IDEAM & INVEMAR, 2017). Además, la ANA viene desarrollando indicadores de calidad de los cuerpos de agua, como la metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARSH), con la finalidad de permitir una evaluación del estado de calidad de los cuerpos de agua de forma simplificada y comprensible (ANA, 2020); sin embargo, no se vienen utilizando ni desarrollando adaptaciones de índices a base de bioindicadores, como en el caso de la iniciativa de Roldan (2003) en Colombia, donde se ajustó el índice de calidad de agua BMWP (Biological Monitoring Working Party) a

los cuerpos de agua de montaña de dicho país con la denominación de BMWP/Col; o la adaptación boliviana BMWP/Bol que fue realizada por el Ministerio del Medio Ambiente y Agua (MMAyA) de dicho país, que además recomienda incluirlo en su reglamentación nacional como una evaluación paralela al análisis físico químico de los cuerpos de agua superficiales (MMAyA, 2012); por lo que sería conveniente tener una adaptación a nuestras condiciones locales, considerando la diversidad de cuerpos de agua que existen en el Perú.

5. Conclusiones

En definitiva, el análisis realizado del uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua evidenció la necesidad de su incorporación en el concepto general de la evaluación de la calidad del agua en el Perú, con el objetivo de lograr un mejor entendimiento del estado ecológico de los cuerpos de agua y por ende garantizar una mejor gestión de este recurso; puesto que la evaluación en base a bioindicadores solucionaría limitaciones económicas, sociales y técnicas que presenta la evaluación tradicional, sin que implique una no complementariedad entre ambas, sino su unificación para conseguir una evaluación integral de la calidad del agua. Asimismo, se encontró que la utilización de los macroinvertebrados bentónicos en el marco del SEIA, SINEFA y SINANPE, se realiza conforme a las competencias de los organismos de cada uno de estos sistemas, teniendo en cuenta que cada sistema tiene objetivos distintos, reflejando un mejor desarrollo en la evaluación de la calidad del agua dentro del SEIA, con limitaciones normativas en el SINEFA, y poco extendida en el SINANPE; por otro lado, en el SNGRH su aplicación aún es incipiente debido a que la normativa relacionada a este sistema no aborda a los bioindicadores como parte de esta evaluación, y estos solo forman parte de algunos programas aislados, por lo que resulta necesario su inclusión en los instrumentos de planificación y gestión de este sistema, en especial en la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, dado que la modificación de este instrumento derivaría en la implementación de los bioindicadores en planes y programas que se fundamentan en esta política. Finalmente, la revisión del contexto internacional deja en evidencia la amplia aplicabilidad que tiene el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación del agua, así como de los diferenciados niveles de desarrollo de los países en cuanto a su normativa de evaluación biológica del agua, por lo que tomar como referencia los lineamientos de las normativas más consolidadas respecto a este aspecto serviría para mejorar la gestión del agua en nuestro país.

Referencias

- ANA (2013a). *Plan Nacional de Recursos Hídricos de Perú*. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
- ANA (2013b). *Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de cuenca Tumbes*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/pgrhtumbes_0_0_2.pdf
- ANA (2015a). *Propuesta para la implementación de indicadores biológicos en la evaluación de la calidad del agua*. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/01/resumen5.pdf>
- ANA (2015b). *Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/default_images/politica_y_estrategia_nacional_de_recursos_hidricos_ana.pdf
- ANA (2015c). *Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Caplina-Locumba*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/88>
- ANA (2016). *Estrategia nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/210>
- ANA (2020). *Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARSH)*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4479>
- Comisión Europea (2000). Directiva 2000/60/EC de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco para la acción comunitaria en materia de aguas. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
- Cruz, R. (2018). *Estado Ecológico del Agua mediante Indicadores Biológicos (Macroinvertebrados) en la Quebrada Tres de Mayo del Parque Nacional Tingo María*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. <https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/ESTADO%20ECOLOGICO%20DEL%20AGUA%20MEDIANTE%20INDICADORES%20BIOLOGICOS%20%28MACROINVERTEBRADOS%29%20EN%20LA%20QUEBRADA%20TRES%20DE%20MAYO.pdf>
- D. S. No 013-2017-MINAM. Aprueban el Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Diario Oficial El Peruano (2017). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-reglamento-de-organizacion-y-funciones-del-organ-decreto-supremo-n-013-2017-minam-1599656-6/>
- D. S. No 013-2020-PRODUCE. Decreto Supremo que aprueba lineamientos para la autorización de colecta de recursos hidrobiológicos para el levantamiento de línea base de estudios ambientales e instrumentos de gestión ambiental complementarios o para monitoreos hidrobiológicos previstos en dichos documentos Diario Oficial El Peruano (2020). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-lineamientos-para-la-autorizacion-decreto-supremo-n-013-2020-produce-1874804-2/>
- De Zwart, D. (1995). *Monitoring Water Quality in the Future*. Volume 3: Biomonitoring. <https://core.ac.uk/download/pdf/58766765.pdf>
- Durán, C., & Pardos, M. (2007). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Ministerio de Medio Ambiente. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf

- EPA (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Streams and Rivers*. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-02/documents/rapid-bioassessment-streams-rivers-1999.pdf>
- EPA (2011). *A Primer on Using Biological Assessments to Support Water Quality Management*. Office of Science and Technology. Office of Water, Washington, DC. EPA 810-R-11-01. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-10/documents/primer-using-biological-assessments.pdf>
- EPA (2020). National Rivers and Streams Assessment 2013–2014: A Collaborative Survey. EPA 841-R-19-001. Washington, DC. <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/nrsa>
- Feio, M. J., Hughes, R. M., Callisto, M., Nichols, S. J., Odume, O. N., Quintella, B. R., Kuemmerlen, M., Aguiar, F. C., Almeida, S. F. P., Alonso-EguíaLis, P., Arimoro, F. O., Dyer, F. J., Harding, J. S., Jang, S., Kaufmann, P. R., Lee, S., Li, J., Macedo, D. R., Mendes, A., ... Yates, A. G. (2021). The biological assessment and rehabilitation of the world's rivers: An overview. *Water*, 13(3), p. 371. <http://dx.doi.org/10.3390/w13030371>
- Flores, D. & Huamantico, A. (2017). *Desarrollo de una Herramienta de Vigilancia Ambiental Ciudadana basada en Macroinvertebrados Bentónicos en la Cuenca del Jequetepeque (Cajamarca, Perú)*. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n2/a05v16n2.pdf>
- IDEAM, & INVEMAR (2017). *Protocolo de Monitoreo del Agua*. Bogotá, D. C. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MONITOREO_AGUA_IDEAM.pdf
- Lopez, E.; Sedeño, J. (2015). *Biological Indicators of Water Quality: The Role of Fish and Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality*. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. DOI: 10.1007/978-94-017-9499-2_37
- Matus, J. (s.f.). *Panorama de las causas de los conflictos por el agua en México: nuevas líneas de investigación para su prevención y resolución*. https://www.crim.unam.mx/web/sites/default/files/Retos_de_la_investigacion_Parte_IV.pdf
- MINAM (2011). *Inventario y Evaluación del Patrimonio Natural en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba*. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/226>
- MINAM (2012). *Inventario y Evaluación del Patrimonio Natural en los Ecosistemas de Selva Alta Parque Nacional Yanachaga Chamillén*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/11907/Inventario-de-Ecosistemas-de-Selva-Alta-Yanachaga.pdf>
- MINAM (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf>
- MINAM (2018). *Guía para la elaboración de Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental-SEIA*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/10/Guia-Linea-Base.pdf>
- MMayA (2012). *Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática Mediante el índice BMWP/Bol*. <https://docplayer.es/35231521-Guia-para-la-evaluacion-de-la-calidad-acuatica-mediante-el-indice-bmwp-bol.html>

ANÁLISIS CRÍTICO DEL USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS
COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA NACIONAL
DE GESTIÓN AMBIENTAL

- OEFA (2018). *Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. 2018*. <https://hdl.handle.net/20.500.12788/178>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqmchap11.pdf?ua=1
- Roldan, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col*. Editorial Universidad de Antioquia. https://books.google.com.pe/books/about/Bioindicaci%C3%B3n_de_la_calidad_del_agua_en.html?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Sallenave, R. (2015). *Stream Biomonitoring Using Benthic Macroinvertebrates*. New Mexico State University. Nuevo México. https://aces.nmsu.edu/pubs/_circulars/CR677.pdf
- UNESCO (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- US National Park Service (2016) *Protocol Implementation Plan for Benthic Macroinvertebrate Monitoring in the Eastern Rivers and Mountains Network*. <https://irma.nps.gov/DataStore/DownloadFile/553139>