

UNA REVISIÓN SOBRE EL BIOMONITOREO ACUÁTICO PARTICIPATIVO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

A review of participatory aquatic biomonitoring in Latin America and the Caribbean

Jeymmy WALTEROS^{1a*} .

¹ Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia jeymmywalteros@gmail.com

* For correspondence: jeymmywalteros@gmail.com

Received: 28th September 2022. **Returned for revision:** 12th December 2022. **Accepted:** 1st February 2023.

Associate Editor: Eugenia Zandona

Citation/ citar este artículo como: Walteros, J.M. (2023). Una revisión sobre el biomonitoring acuático participativo en América Latina y el Caribe. *Acta Biol Colomb*, 28(2), 178-188. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n2.104017>

RESUMEN

El biomonitoring acuático participativo en América Latina y el Caribe, aún está en una etapa inicial. Este artículo revisa las experiencias registradas por investigadores e interesados en el tema, quienes atendieron la encuesta difundida por la red Macrolatinos@, además de ampliar la información a través de consulta en diferentes fuentes. La mayoría de las experiencias se han desarrollado a partir del 2010, principalmente en México y Colombia. Algunas son investigaciones y otras son requerimiento de consultorías. Es importante consolidar alianzas estratégicas, que generen solidez y credibilidad ante las entidades financieras. Una vez se tenga estabilidad y reconocimiento, y se cuenten con la participación tanto de académicos, científicos, gestores y ciudadanos, es fundamental mantener el mayor rigor técnico-científico. Todas las partes interesadas deberán destacar el potencial de los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas, así como su importancia ecológica y social, con el fin de democratizar la ciencia y reducir la brecha que se tiene con la sociedad.

Palabras clave: educación, gestión científica, monitoreo acuático, participación ciudadana, relaciones humano-naturaleza

ABSTRACT

Participatory aquatic biomonitoring in Latin America and the Caribbean is still in the initial stage. This article reviews the experiences registered by researchers and those interested in the subject, who attended the survey disseminated by the Macrolatinos@ network, in addition to expanding the information through consultation with different sources. Most of the experiences have been developed since 2010, mainly in Mexico and Colombia. Mainly are investigations and consulting requirements. It is important to consolidate strategic alliances, which generate solidity and credibility for funding agencies. Once stability and recognition is achieved, and participation of academics, scientists, managers, and citizens must maintain the maximum technical-scientific rigor. Stakeholders should highlight the potential of freshwater aquatic ecosystems, as well as their ecological and social importance, to democratize science and reduce the gap with society.

Keywords: aquatic monitoring, education, citizen involvement, human-nature-relationships, scientific management

INTRODUCCIÓN

El biomonitoring de los ecosistemas dulceacuícolas en América Latina y el Caribe ha ido incrementado durante las últimas dos décadas (Buss et al., 2015; Ramírez y Gutiérrez-Fonseca 2020), debido a la necesidad no solo de conocer el estado actual de estos ambientes, sino también de entender su capacidad de respuesta frente a una serie de estresores ambientales tales como la deforestación, minería, agricultura, ganadería, expansión urbana, alteraciones hidrológicas, cambio climático, invasión de especies exóticas, entre otros más (Encalada et al., 2019; Ríos-Touma y Ramírez, 2019; Walteros y Ramírez, 2020; Vadas et al., 2022). El biomonitoring también ha permitido conocer sobre la biodiversidad acuática, su dinámica y funcionamiento (Feio et al., 2021; Ríos-Touma et al., 2022), incluso ha potencializado el concepto de integridad ecológica (Karr et al., 2022).

Establecer programas de biomonitoring acuático puede ser un buen referente, no solo para continuar las investigaciones espaciotemporales, sino también para comprender los factores que determinan las dinámicas actuales y evaluar tendencias que permitan una adecuada gestión de los ecosistemas acuáticos (Buss et al., 2015; Flores-Díaz et al., 2018; Pareja et al., 2018; Encalada et al., 2019; Kuemmerlen et al., 2022), así como para reconocer los beneficios y servicios ecosistémicos que éstos proveen a las sociedades (Callisto et al., 2019; Quintas-Soriano et al., 2022). Por tanto, debe ser considerado una herramienta y no un fin, que contemple la cooperación de diversos actores con distintos niveles de incidencia (política, técnica y económica), incluso con la participación y apropiación de las comunidades locales (Vallejo y Gómez, 2017).

Algunas investigaciones priorizan el biomonitoring en ecosistemas acuáticos en áreas protegidas o zonas donde existen fuertes intervenciones, como la minería (Pareja et al., 2018; Llambí et al., 2019; Mercado-García et al., 2019; Rico et al., 2022). Otros consideran integrar datos y realizar adaptaciones para diferentes áreas (Acosta et al., 2009; Buss et al., 2015; Flores-Díaz et al., 2018; Rodríguez y Ramírez, 2018; Cornejo et al., 2019; Ríos-Touma y Ramírez, 2019; Thornhill et al., 2019; Rodríguez-Olarte et al., 2020; Ruaro et al., 2020; Feio et al., 2021 y Karr et al., 2022). El enfoque biótico se centra principalmente en los macroinvertebrados acuáticos, por sus ventajas y costos en el muestreo (Buss et al., 2015; Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2020), así como referente en procesos de transferencia de conocimiento y apropiación social (Eriksen et al., 2021; Vadas et al., 2022).

En la actualidad es fundamental avanzar en la consolidación de alianzas entre científicos y/o académicos, consultores ambientales y comunidades locales para acordar su participación en diversos procesos, especialmente en la recolección y análisis de información, ya sea como voluntario (França et al., 2019; Pinto et al., 2020), o como un paso hacia la consolidación de programas de ciencia ciudadana

(Dickinson et al., 2012; Thornhill et al., 2019; Walker et al., 2021; Kirschke et al., 2022). Sin embargo, también es importante compartir y/o construir el conocimiento en colectivo, especialmente en los procesos de diagnóstico y toma de decisiones (Roque et al., 2021; Soria et al., 2021), además de implementar estrategias de alfabetización científica (Thornhill et al., 2019; Walker et al., 2021).

De acuerdo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: agua limpia y saneamiento y diversas políticas públicas es fundamental apoyar y fortalecer las capacidades locales, así como mejorar la gobernanza del agua y de los ecosistemas acuáticos en América Latina y el Caribe (Encalada et al., 2019 y Torremorell et al., 2021). Por tanto, esta revisión busca no solo reconocer el estado actual de las experiencias de biomonitoring acuático participativo, sino también resaltar las brechas, desafíos y oportunidades para la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se preparó una encuesta con 22 preguntas a través de un formulario de Google, para recopilar información sobre interés, experiencias, proyectos, limitaciones entre otros sobre biomonitoring acuático participativo en América Latina y el Caribe (Anexo 1). Para mayor difusión, este instrumento se compartió entre miembros de la red Macrolatinos@ (www.macrolatinos.net). La encuesta estuvo disponible entre 2016 a 2020, con algunos ajustes durante este período, con el fin de motivar la participación y ampliar la cobertura.

Las respuestas de opción múltiple se contaron y analizaron en función de las frecuencias. En cuanto a las respuestas abiertas y/o comentarios, fueron considerados e incluidos en la narrativa realizada por países. Para esto también se tuvo como referente siete tópicos base (propósito del biomonitoring acuático, componentes evaluados, métodos implementados, actores involucrados, divulgación de la información, funcionamiento y barreras). La información adicional o ampliación de algunos datos, fue obtenida por medio de una revisión de información en bases de datos especializadas, así como de literatura gris y páginas en línea que abordaban la temática.

RESULTADOS

Se recibieron en total 75 respuestas, entre investigadores-profesores (38 %), profesores (31 %), estudiantes (18 %), técnicos (10 %) y consultores (3 %), de 18 países en América Latina y el Caribe quienes manifestaron su interés por el tema, además de registrar algunas experiencias (Fig. 1). Este número de respuestas corresponde al 15 % aproximadamente de miembros de Macrolatinos@. De estos, 33 investigadores reportaron información sobre sus experiencias, en su mayoría asumiendo el rol como coordinadores o investigadores. El país que registró mayor número de experiencias fue México (8), seguido de Colombia (5), Argentina (4) y Perú (4) (Fig.

2). De las experiencias registradas, seis se han desarrollado entre los años 2000 a 2010. A partir del 2010 incrementó el interés y alrededor de 21 experiencias se mantienen activas (material suplementario, Anexo 2).

En general las experiencias tienen como propósito principal la evaluación de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, aunque algunas destacan el interés por potenciar la educación ambiental y la ciencia ciudadana, especialmente con el fin de solventar carencias del monitoreo oficial de la administración pública. Otras están direccionaladas a la integración de comunidades locales, con fines de conservación y veeduría de sus recursos naturales, debido a los diferentes conflictos locales que existen.

Todas las experiencias responden a requerimientos de biomonitoring acuático en sistemas lóticos (ríos y quebradas), donde el principal referente de comunidades bióticas son los macroinvertebrados acuáticos; algunas experiencias incluyen el biomonitoring de peces, algas o incluso vegetación de ribera (Fig. 3). Existe también interés por valorar aspectos biofísicos de las corrientes, el bosque de ribera, así como parámetros fisicoquímicos.

Los métodos más comunes para transferir el conocimiento a las comunidades locales son los talleres educativos y los entrenamientos en espacios naturales. Algunos realizan recorridos guiados por áreas de especial interés, principalmente franjas de protección fluvial urbanas; otros reconocen la necesidad de diálogos o entrevistas como complemento.

La manera de divulgar la información generada son los espacios de socialización con las comunidades participantes,

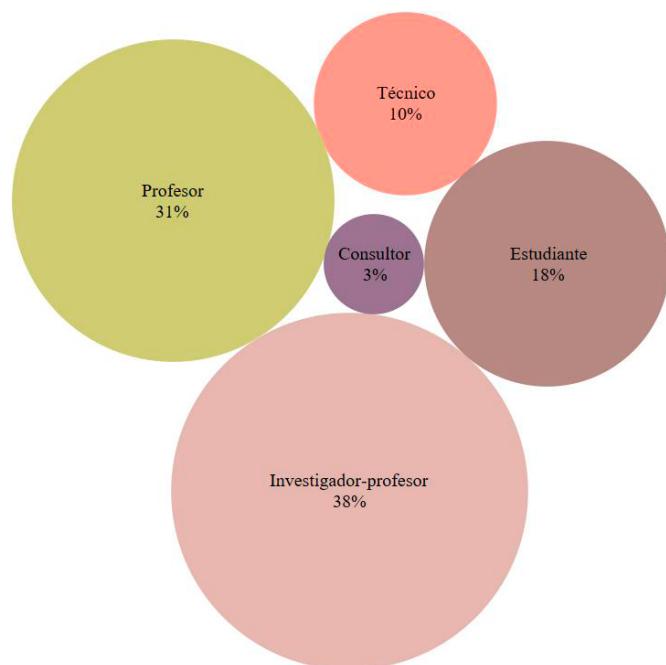


Figura 1. Representación porcentual de tipo de miembro interesado en la red de colaboración de biomonitoring acuático participativo y/o registro de experiencia

preferiblemente en el territorio. Adicionalmente se generan informes o reportes técnicos, otras veces son trabajos de grado o resultados de consultorías. Más del 30 % de la información se sistematiza, aunque no siempre son datos abiertos. Algunos suben la información en plataformas donde es validada por expertos (<10%). Es común la difusión de resultados en páginas web o en redes sociales.

En general las experiencias están orientadas a zonas urbanas. El 22 % de las respuestas mencionan que trabajan con grupos comunitarios, en particular con mujeres y niños de escuelas, en otros casos se realizan entrenamientos a profesores y ciudadanos ribereños; pocas experiencias mencionan la necesidad de incluir baquianos o técnicos locales.

Las fuentes de financiación son diversas, se encuentran entre fondos provenientes de universidades (40 %), del gobierno nacional (11 %), Organizaciones No Gubernamentales-ONG's (9 %); también existen fuentes de financiación mixta (36 %) (Fig. 4). Algunos proyectos han buscado estrategias de alianzas con administraciones públicas, universidades o colaboración con expertos; otros han incluido la participación de instituciones educativas, con profesores de área como ecología y biología. En otros casos ha sido importante la participación de estudiantes de posgrado y posdoctorados, para fortalecer el equipo y generar nuevas fuentes de financiación. Sólo un 30 % de las respuestas aseguran tener recursos que les permiten mantenerse activos. En general, no se generan incentivos económicos entre los participantes, por el contrario, se menciona que es necesario promover la donación de conocimiento y tiempo, por lo que se valora el trabajo de voluntariado o *ad-honorem*.

Otras dificultades para la continuidad es el alcance geográfico, así como temas de inseguridad, e incluso la falta de interés, pérdida de confianza y/o continuidad del proceso. El aislamiento social durante la pandemia de COVID-19, fue una razón más para no continuar.

Todos los participantes destacan la necesidad de transferir el conocimiento a un lenguaje sencillo y de fácil comprensión, en lugar de mantener la comunicación en un lenguaje técnico; esto favorece la atención, participación y continuidad de las comunidades locales. También se menciona la importancia de reconocer y valorar el territorio donde se interviene, así como los procesos y conflictos socioambientales, en caso de presentarse.

A continuación, se amplía la información sobre algunas experiencias y enfoque del biomonitoring acuático participativo, para algunos países de América Latina y El Caribe.

México. Este país cuenta con una experiencia de biomonitoring acuático participativo desde el 2005, en el marco del programa internacional Global Water Watch (GWW). El protocolo contempla el biomonitoring de macroinvertebrados acuáticos, algas bentónicas, peces y

macrofitas. Los resultados se complementan con el Índice Hábitat Fluvial (IHF), el de Bosque de Ribera (QBR) y pretenden la integridad ecológica a partir del protocolo de Acosta et al. (2009). Desde el 2010 vienen participando diferentes comunidades locales de los estados de Veracruz y Michoacán, principalmente de la cuenca del río Balsas. Este programa busca consolidar comités de vigilancia ambiental participativa y cuenta con el apoyo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

Otra experiencia para destacar es la red de monitoreo comunitario del agua en la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, ubicada entre los estados de Michoacán y de México. Conformada desde el 2011, cuenta con el apoyo de organizaciones gubernamentales como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la organización internacional dedicada a la conservación de la naturaleza, en inglés conocida como World Wildlife Foundation (WWF). Esta red desarrolla actividades en las cuencas Lerma-Toluca y Cutzamala, en 33 sitios de biomonitoring, donde implementan los protocolos del GWW (Flores-Díaz et al., 2018), además de realizar procesos de alfabetización científica con comunidades locales.

En el orden nacional, el país cuenta con un programa de monitoreo de la calidad del agua, operado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que busca dar cumplimiento a los objetivos de calidad basados en parámetro fisicoquímicos y microbiológicos, principalmente. Sin embargo, Perevochtchikova et al (2016), consideran que este proceso que adelanta la autoridad en más de 2500 sitios de monitoreo en todo el país ha permitido que las comunidades locales reconozcan la labor de los técnicos que llegan a sus territorios y se interesen por participar de los procesos. Esto es un paso valioso, especialmente en lugares donde existe una diversidad cultural alta.

Por su parte, el Instituto Politécnico Nacional de México realiza investigaciones en las Reservas de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, Sierra Gorda y área natural protegida del río Bobos, así como en Puebla y Oaxaca. Cuenta con el apoyo del Gobierno de México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y en cooperación con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Algunos de los actores sociales que participan son guardaparques e integrantes de la comunidad indígena, principalmente. Actualmente han logrado registrar datos de más de 90 familias de macroinvertebrados acuáticos reconocidas para las áreas, además de adaptar el índice biótico BMWP. Periódicamente realizan talleres enfocados a la vigilancia y conservación de los recursos hídricos, en compañía de las autoridades ambientales y la academia. Cuentan con una aplicación tecnológica conocida como *Aneneztli*.

Otros investigadores y/o profesores de las universidades de Querétaro y Guerrero registran experiencias con comunidades locales de diferentes estados, realizando



Figura 2. Países en América Latina y el Caribe donde se registraron experiencias de biomonitoring acuático participativo en la red de Macrolatinos@

procesos de investigación y formación académica, tomando como referente los macroinvertebrados acuáticos y los aspectos biofísicos de las corrientes.

Costa Rica. El programa de Observaciones y Aprendizaje Global para Mejorar el Ambiente (por sus iniciales en inglés GLOBE), promueve y apoya estudiantes, profesores y científicos para que colaboren en investigaciones basadas en indagación y el monitoreo acuático. En Costa Rica, inicio desde 1998, con apoyo del Ministerio de Educación Pública (MEP) y uno de los enfoques es el biomonitoring acuático. Para los talleres de entrenamiento con comunidades y escuelas, cuentan con las guías fotográficas para la identificación de las principales familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en estas áreas, además de instrucciones para aplicar el índice BWMP-CR (Springer, 2010).

Se destaca el programa nacional liderado por la asociación ANAI y que cuenta con el apoyo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID). Este programa comenzó en el 2001 y se desarrolla en la región de Talamanca, Bocas del Toro y el complejo de conservación La Amistad. Cuentan con un protocolo de biomonitoring de corrientes adaptado de la propuesta original de Mainspring Conservation Trust, así

como el hábitat basado en la adaptación del protocolo de valoración visual de corrientes (en inglés Stream Visual Assessment Protocol-SVAP), adaptado por Esselman (2001) para esta región. La guía implementada contempla el protocolo para estimar los índices BMWP-CR y SVAP (Mafla, 2005). La asociación ANAI trabaja con comunidades locales vulnerables, con quienes exalta la importancia de salvaguardar la salud ecosistémica de los ríos de la región; de esta manera combinan el conocimiento local, así como de profesionales, para las valoraciones rápidas.

Recientemente el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2020), con apoyo del Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo (PNUD), puso en marcha la Política Nacional para salvaguardar áreas de protección de ríos y nacientes. Este programa pretende afianzar la participación de los ciudadanos en todos los procesos.

Panamá. Cuenta con un protocolo reciente de biomonitoring y vigilancia que hace alusión al trabajo con comunidades locales. Esta guía es producto de un trabajo liderado por profesionales del Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES), y con el apoyo del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y los Ministerios de Ambiente y Salud. Está orientado a gestores ambientales, así como a ONGs, grupos comunitarios, centros educativos, investigadores y consultores interesados

en fortalecer las evaluaciones de la salud de las cuencas hidrográficas del país. Es parte de un esfuerzo conjunto con investigadores del Instituto Politécnico Nacional de México, así como del Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Católica de Temuco en Chile y del Organismo Internacional de Energía Atómica (Cornejo et al., 2019). Es importante destacar la participación de las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAAR), con quienes se evaluó la calidad ecológica de sus fuentes de abastecimiento de agua, además de adaptar el indicie BMWP-PAN. También cuentan con la herramienta tecnológica llamada *AquaNet*.

Colombia A nivel nacional se han documentado alrededor de 50 experiencias en la macrocuenca Magdalena-Cauca en diferentes ecosistemas acuáticos (lénticos, lóticos, salobres y/o artificiales), con el fin de reconocer y valorar la biodiversidad acuática, así como la salud ecosistémica y gobernanza del agua (Batista et al., 2020). Aunque la mayoría de las experiencias se asocian con peces y calidad del agua, el grupo de los macroinvertebrados acuáticos ha cobrado importancia por sus ventanas como bioindicadores de la calidad del agua (Giraldo, 2022). Estos organismos también han sido reconocidos dentro del protocolo de monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM e INVEMAR, 2021), así como en el Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua (PIRMA), que orienta estrategias

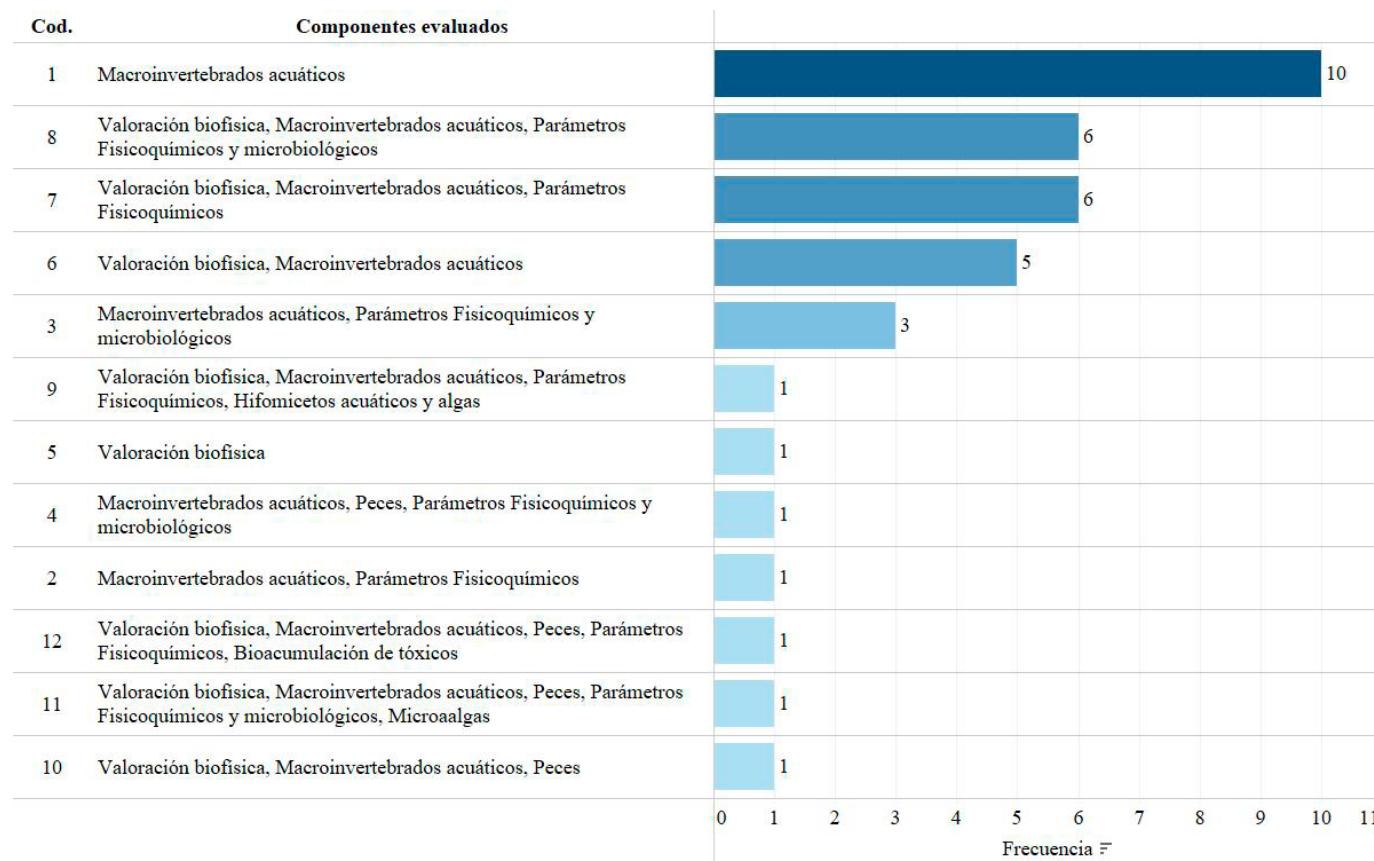


Figura 3. Componentes evaluados en las experiencias registradas de biomonitoring acuático participativo en América Latina y el Caribe

y acciones para fortalecer las capacidades regionales y el monitoreo participativo (Llambí et al., 2019).

El Programa Integral Red Agua PIRAGUA (<https://piragua.corantioquia.gov.co/piragua/>), reconocido a nivel nacional por su trayectoria desde el 2011 es una de las experiencias más relevantes. PIRAGUA es producto de una alianza entre la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) y la Universidad de Antioquia (2023; cuenta con la participación de más de 3000 voluntarios, en 119 zonas rurales de Antioquia. Se encargan de tomar y registrar datos de calidad y cantidad de agua, así como de macroinvertebrados acuáticos. Los “piragüeros”, como se les conoce a los participantes, reciben capacitaciones sobre técnicas y protocolos para toma y registro de datos en la plataforma abierta que tiene el programa.

Una experiencia similar es la Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá-Medellín RedRío, implementada desde el 2003, aunque con algunos períodos intermitentes de actividad. Esta es liderada por la administración pública del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad de Antioquia.

El programa Manos al Agua-Gestión inteligente del Agua es otra experiencia notable. Fue liderado por el Centro Nacional del Café (CENICAFE) (https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/proyecto_gia_manos_al_agua), contó con una alianza entre el Ministerio Holandés de Relaciones Exteriores, la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional (APC Colombia), las compañías Nestlé y Nespresso y la universidad holandesa Wageningen. Inició en el 2015, y tuvo una duración de cinco años. Involucró más de 11000 familias cafeteras en 25 microcuencas de los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Nariño y Valle del Cauca. Su propósito, además de crear redes de monitoreo y manejo del agua en el gremio, también era sensibilizar al caficultor en el buen uso del agua, a partir de propuestas para reducir la contaminación y monitorear sus microcuencas.

Otra experiencia está en las cuencas de los ríos Otún y Consota, donde la academia y la empresa prestadora de servicio de acueducto y alcantarillado adelantan un proceso para sensibilizar a los ciudadanos, frente a la importancia de valorar sus ríos urbanos. Actualmente el grupo focal son las comunidades educativas cercanas a estos ríos (Walteros et al., 2020), aunque se han adelantado procesos con grupos scout, líderes comunitarios y funcionarios de la empresa (Walteros, 2019).

Ecuador. En el marco del proyecto de cuencas transfronterizas de Construyendo Diálogos para la Buena Gobernanza del Agua (por sus iniciales en inglés - BRIDGE), y con el respaldo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), se cuenta con una guía metodológica que incluye los macroinvertebrados acuáticos como el grupo referente de estudios de biomonitoring acuático participativo (Rodrigo et al., 2018).

En el orden nacional, el Plan de Acción Nacional para la Biodiversidad (2015-2020) consideró la bioindicación como un soporte clave para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos (Feio et al., 2021) y aunque es necesario definir un programa de biomonitoring oficial (Nolivos et al., 2015), la Ley orgánica de recursos hídricos y aprovechamiento del agua, presentada por el Ministerio de Ambiente, ha reconocido la necesidad de aplicar un enfoque ecosistémico en la conservación, restauración y manejo de los ecosistemas acuáticos (Torremorell et al., 2021).

Se destaca el programa de saneamiento ambiental de la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento en la ciudad de Quito, el cual ha incursionado con diferentes estrategias de participación ciudadana, con el fin de resaltar la importancia de la biodiversidad acuática, especialmente los macroinvertebrados acuáticos y la vegetación de ribera (da Cruz e Souza y Ríos-Touma, 2018).

Perú. En el marco de la gobernanza del agua, el programa BRIDGE ha incorporado múltiples actores, que facilitan el intercambio de información técnica, lecciones claves y compromisos en el marco de propuestas de calidad, cantidad y biomonitoring (UICN, s.f.).

Esto en el orden nacional, y como respuesta al cumplimiento de la Ley Ambiental de Perú (Ministerio de Ambiente de Perú, 2005), es obligación establecer mecanismos de participación y veeduría ciudadana. Por tanto, la mayoría de las experiencias que contemplan el biomonitoring acuático participativo ha sido realizado por empresas mineras, como respuesta a esta ley nacional (Mercado-García et al., 2019). Generalmente se asocian

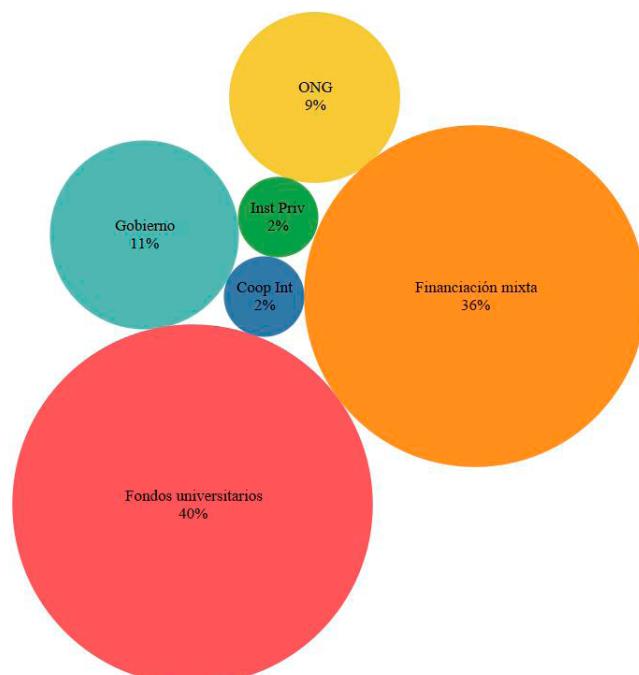


Figura 4. Relación porcentual de los tipos de financiación de las experiencias de biomonitoring acuático participativo reportadas

a zonas con conflictos por uso del agua, siendo en su mayoría consultorías ambientales (Pareja et al., 2018), y otras corresponden a programas de vigilancia y monitoreo respaldadas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA de Perú, adscrito al Ministerio de Ambiente.

En cuanto al programa que adelanta el Centro Amazónico de Educación e Investigación Ambiental (reconocido en inglés como Amazon Center for Environmental Education and Research - ACEER) (<https://aceer.org/es/>), se destaca la alianza lograda entre universidades, escuelas, ONG y comunidades locales de la Amazonía peruana. Allí han implementado el programa de biomonitordeo acuático participativo, basado en la iniciativa de red de paquete de hojarasca (en inglés Leaf Pack Network), del Centro de Investigación del Agua Stroud (por su nombre en inglés Stroud Water Research Center) de Estados Unidos.

Otras experiencias como la de Flores y Huamantinco (2017), se destaca por su trabajo con Juntas de Regantes de Canales, de usuarios y Administradoras de Servicio y Saneamiento (JASS), con el apoyo del Gobierno Regional de Cajamarca y las Universidades del Norte y Nacional de Cajamarca. El protocolo se basa en el CERA (Acosta et al., 2009), así como la valoración con el índice BMWP/Col.

Brasil. El programa internacional Adopta un río de FreshWater Watch (por sus iniciales en inglés FWW) está presente en ciudades como Curitiba, São Paulo y Río de Janeiro. Se enfoca en valorar las condiciones ambientales, así como la calidad del agua y la densidad algal en ecosistemas poco monitoreados; la alianza la conforman la Universidad de São Paulo, el instituto Earthwatch, el sector público, ONG y privado (Cunha et al., 2017). Entre 2013-2015 participaron más de 600 voluntarios, quienes obtuvieron datos bimestrales de 80 ríos en Brasil. Estos voluntarios fueron entrenados con protocolo estándar internacionales, para la toma de datos y registro en la plataforma en línea, de consulta abierta.

En el orden nacional, el Consejo Nacional de Medio Ambiente (por sus siglas en portugués CONAMA), tiene definido el programa de monitoreo del agua, donde el componente biológico está referido en los macroinvertebrados acuáticos, principalmente. Cuenta con una alianza conformada por cuatro ministerios, la Sociedad Brasileña de Limnología (ABLIMNO), la Agencia Nacional del Agua (ANA), agencias ambientales estatales e instituciones académicas de 12 estados. Se monitorean alrededor de 3000 sitios/ríos. Se destaca la participación de estudiantes de secundaria, pregrado y posgrado, quienes han logrado consolidar un proceso participativo y contributivo desde la toma de datos, hasta el análisis de información y sensibilización ambiental (Buss et al., 2015).

Experiencias como las de França et al. (2019), son importantes destacar por la continuidad que ha logrado. Desde el 2013 vienen entrenando profesores y estudiantes de 54 escuelas de secundaria del Área Metropolitana de

Belo Horizonte, con quienes monitorean los ríos urbanos. Se tiene establecido un protocolo basado en valoración del hábitat fluvial, así como en muestreo de calidad con parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos. Son más de 1810 estudiantes y 155 profesores a quienes han impactado.

Argentina. La experiencia de biomonitordeo de la cuenca del río Negro y Neuquén en la Patagonia, liderado por la Universidad Nacional de Río Negro, es un referente (<https://biomci.ar/>). Desde el 2014 se adelantan estudios técnicos y de biomonitordeo educativo para evaluar el efecto de los contaminantes sobre el ecosistema, así como para definir el estado ambiental de esta cuenca, basado en macroinvertebrados acuáticos y índice BMWP-RN. Cuenta con protocolos rápidos aplicados por gestores locales, aunque se está trabajando en el empoderamiento de ciudadanos para apoyar estos procesos, enfocado en estudiantes y profesores de secundaria. Se cuenta una aplicación móvil (Machii y Maestroni, 2020).

Otra experiencia está al noroeste argentino, en la cuenca Salí-Dulce donde permanentemente se ha realizado el biomonitordeo acuático con peces, macroinvertebrados acuáticos, plantas acuáticas y vegetación de ribera. También han realizado una adaptación al índice BMWP, además de realizar la valoración participativa con herramientas tecnológicas como Agüita (Domínguez et al., 2020) y AppEAR (Aplicación móvil para Evaluar los Ambientes Ribereños) (Cocheros, 2018). Cuentan con la colaboración de investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Tucumán, del Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN) y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Otras alianzas entre el IBN, el Ministerio de Educación de la Provincia de Tucumán, CONICET y la asociación civil Hermanos de la Tierra, han hecho posible la transferencia social del conocimiento a profesores y estudiantes de escuelas rurales, quienes se entrenaron en toma de muestra de macroinvertebrados acuáticos e identificación de los grupos más representativos (Reynaga y Dos Santo, 2020).

Este país cuenta con la Ley General del Ambiente que establece que las cuencas hidrográficas son la unidad ambiental indivisible para la gestión y conservación de los recursos naturales (Torremorell et al., 2021), donde es fundamental el criterio biológico para evaluar la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos (Arias et al., 202), así como otros criterios de calidad definidos para cada provincia (Feio et al., 2021).

DISCUSIÓN

En general, los estudios de biomonitordeo acuático participativo se perfilan hacia la definición de la salud ecosistémica de los ríos (Buss et al., 2015; Pinto et al., 2020; Karr et al., 2022; Maasri et al., 2022), en las zonas

urbanas, por temas logísticos principalmente; sin embargo, también es fundamental afianzar los estudios en áreas importantes de un territorio, donde no siempre es posible que esté todo el tiempo un investigador. Esto implica seguir vinculando ciudadanos voluntarios para el registro de información sencilla (p.e. de hábitat o la calidad del agua, a partir de observaciones), o más compleja y cuantitativa (p.e. parámetros fisicoquímicos, toma de muestras de agua y de organismos, incluso con nociones básicas para la identificación taxonómica).

Una herramienta holística y un poco menos técnica son las valoraciones biofísicas o de hábitat fluvial, las cuales facilitan la participación de ciudadanos sin experiencia (Rodríguez y Ramírez, 2014), y que pueden ser entrenados rápidamente. Sus observaciones y percepciones además de definir una condición de calidad ecológica, les permite reconocer la importancia y funcionalidad de las franjas ribereñas, así como las necesidades de restaurar (da Cruz e Sousa y Ríos-Touma, 2018; Encalada et al., 2019), en los casos que corresponda.

Para el caso de actividades o propósitos que impliquen la toma de datos cuantitativos, es fundamental que se definan entrenamientos periódicos respaldados por investigadores o técnicos, buscando la manera de no ser tan limitado (Thornhill et al., 2019; Eriksen et al., 2021). Lo clave es la consolidación de bases de datos y el procesamiento de estos; también el alcance de la información. Existen experiencias donde la información recolectada de manera sistémica ha permitido ajustes y/o modificaciones de índices regionales (Buss et al., 2015; Ruaro et al., 2020), incluso adaptaciones de herramientas tecnológicas, visualización de datos, simuladores, recursos en línea, hasta acceso a registros fotográficos que pueden servir de referentes (Buss et al., 2015; Kelly-Quinn et al., 2022). Estos procesos aseguran la calidad y confiabilidad de la información, incluso la consolidación de procesos de ciencia ciudadana (Kirschke et al., 2022).

A pesar de que en América Latina y el Caribe, el biomonitorio acuático no es homogéneo (Feio et al., 2021), si existen un interés general de investigadores y académicos de aumentar el conocimiento (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2020) y la participación de comunidades locales. De acuerdo con Buss et al. (2015), Kuemmerlen et al. (2022) y Maasri et al. (2022) es prioridad trabajar por la consolidación de un protocolo sistemático y efectivo, que incluya la participación pública y las buenas prácticas con la ciencia (Encarnação, Teodósio y Moraes, 2021).

En la región se destacan los esfuerzos de la Red Iberoamericana de Investigación en Múltiples Estresores de los Ecosistemas Dulceacuícolas (IBESTRESOR), quienes compilaron diferentes metodologías para un biomonitorio efectivo, con el objetivo de una inter-calibración entre países de Suramérica (Rodríguez-Olarte et al., 2020); así como el esfuerzo de investigadores de países como México, Costa Rica, Panamá, Argentina y Uruguay, quienes conforman la

Red Analítica de Latinoamérica y el Caribe (RALACA), donde se promueve el enfoque participativo y transferencia social del conocimiento (Macchi y Maestroni, 2020), tomando como referencia los macroinvertebrados acuáticos.

Las colaboraciones entre investigadores pueden ser beneficioso para el crecimiento y desarrollo de estas experiencias, incluso para lograr consolidar modelos de proyectos a largo plazo o programas. Estas alianzas también son necesarias para asegurar la cofinanciación, ya que es otro reto que debe asumirse. De acuerdo con Cunha et al. (2017), el cofinanciamiento es un elemento clave en la sostenibilidad del proyecto y puede ser una alternativa interesante para los países de América Latina y el Caribe, en especial cuando la experiencia tiene enfoque de ciencia ciudadana. También es clave para las agencias gubernamentales y no gubernamentales, ya que favorecen el flujo de información, el compromiso, la retroalimentación y el control de calidad de la información. En general, las alianzas son claves para compartir costos, buscar cofinanciación, abordar problemáticas similares, incluso para ganar visibilidad y lograr difundir y divulgar mejor los resultados.

La participación en espacios públicos han reducido la brecha entre conocimientos y saberes, y han permitido el intercambio de experiencias de académicos, científicos, gestores y ciudadanos, quienes buscan exaltar el valor y potencial de los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas, así como su importancia ecológica y social (Encalada et al., 2019), además de compartir y apropiar este conocimiento científico con la sociedad (Pocock et al., 2018; Callisto et al., 2019; Azevedo-Santos et al. 2020; Kuemmerlen et al., 2022). Por tanto, el biomonitorio acuático participativo es una herramienta potente que ha logrado acercarnos más a los ríos y riberas, reconociendo estos espacios como aulas vivas de aprendizajes y convivencias y de esta manera ha sido posible democratizar la ciencia y reducir la brecha que se tiene con la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la red Macrolatinos®, en especial a N. Rodríguez, A. Jiménez-Fretes, C. Ramos y O. Jiménez por su entusiasmo en la creación de la Red de colaboración de Biomonitorio Participativo | Macrolatinos®. A N. Rodríguez por el diseño y difusión de la encuesta y a N. Castro por el apoyo con las figuras. Especial agradecimiento a los revisores y editores por sus recomendaciones y comentarios. Gracias a la Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión de la UTP por apoyar el proyecto con código 2-21-1 de apropiación social, el cual se soporta con este estado del arte.

REFERENCIAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad

- ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35-64. <https://doi.org/10.23818/limn.28.04>
- Arias A, Macchi P, Abrametto M, Solimano P, Migueles N, Rivas F, Funes A, Calabrese G, Soricetti M, Bernardis A, Baggio R, Labaut Y, Marcovecchio J. (2022). Negro River Environmental Assessment. In: Torres A, Campodónico V (Eds) *Environmental Assessment of Patagonia's Water Resources*. Springer Nature, Switzerland. pp 96-126. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-89676-8>
- Batista, A., Roa, M., Sánchez, L. Londoño, M. Soto, C., Santos, A..., y Alonso, J. (2020). Monitoreo de ecosistemas acuáticos. En: Moreno, L. y Andrade, G. (Eds.). *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35569>
- Buss, D., Carlisle, D., Chon, T., Culp, J., Harding, J., Keizer-Vlek, H., Robinson, W., Strachan, S., Thirion, C., y Hughes, R. (2015). Stream biomonitoring using macroinvertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. *Environ Monit Assess*, 187(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4132-8>
- Callisto, M., Solar, R., Silveira, F. A., Saito, V. S., Hughes, R. M., Fernandes, G. W., F., J., Leitão, R. P., Massara, R. L., Macedo, D. R., Neves, F. S., y Alves, C. B (2019). A Humboldtian approach to mountain conservation and freshwater ecosystem services. *Front Environ Sci*, 7:195. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00195>
- Cochero, J. (2018). Appear: Una aplicación móvil de ciencia ciudadana para mapear la calidad de los hábitats acuáticos continentales. *Ecología Austral*, 28, 467-479. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.2.0.686>
- Cornejo, A., López-López, S., y Ruiz-Picos, R. A. (2019). *Protocolo de biomonitoramiento para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá*. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de Salud, Ministerio del Ambiente, Panamá.
- Cunha, D., Marques, J., Resende, J., Falco, P, Souza, C. y Loiselle, S. (2017). Citizen science participation in research in the environmental sciences: key factors related to projects' success and longevity. *An Acad Bras Cienc*, 89, 2229-2245. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160548>
- da Cruz e Sousa, R. y Ríos-Touma, B. (2018). Stream restoration in Andean cities: learning from contrasting restoration approaches. *Urban Ecosyst*, 21(2), 281-290. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0714-x>
- Dickinson, J., Shirk, J., Bonter, D., Bonney, R., Crain, R. L... y. Purcell, K. (2012). The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Front Ecol Environ*, 10, 291-297. <https://doi.org/10.1890/110236>
- Domínguez, E., Romero, F., Fernández, H. R., y Cuezzo, M. G. (2020). Aplicación de indicadores biológicos en el Noroeste Argentino: el caso de la cuenca Salí-Dulce. En: Domínguez, E., Giorgi, A. y N. Gómez (Eds.) 2020. *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Editorial Eudeba. <https://ibn.conicet.gov.ar/libro-la-bioindicacion-en-el-monitoreo-y-evaluacion-de-los-sistemas-fluviales-de-la-argentina-bases-para-el-analisis-de-la-integridad-ecologica/>
- Encalada, A., Flecker, A., Poff, N., Suárez, E., Herrera-R, G., Ríos-Touma, B. y Anderson, E. P. (2019). A global perspective on tropical montane rivers. *Science*, 365(6458), 1124-1129. <https://doi.org/10.1126/science.aax1682>
- Encarnação, J., Teodósio, M. A., y Morais, P. (2021). Citizen science and biological invasions: a review. *Front Environ Sci*, 8, 602980. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.602980>
- Eriksen, T., Brittain, J., Søli, G., Jacobsen, D., Goethals, P., y Friberg, N. (2021). A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico, and Southern Asia. *Ecol Indic*, 126, 107609. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107609>
- Esselman, P. (2001). *The Monkey River baseline study: basic and applied research for monitoring and assessment in southern Belize* (Doctoral dissertation, University of Georgia). <https://esploro.libs.uga.edu/esploro/outputs/graduate/The-Monkey-River-baseline-study-basic/9949334491202959>
- Feio, M., Hughes, M., Callisto, M., Nichols, S., Odume, O., Quintella, B., Kuemmerlen, M., ... y Yates, A. (2021). The biological assessment and rehabilitation of the world's rivers: An overview. *Water*, 13(3), 371. <https://doi.org/10.3390/w13030371>
- Flores, D. y Huamantinco, A. (2017). Desarrollo de una herramienta de vigilancia ambiental ciudadana basada en macroinvertebrados en la Cuenca del Jequetepeque (Cajamarca, Perú). *Ecología Aplicada*, 16(2), 105-114. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1014>
- Flores-Díaz, A., Quevedo, A., Páez, R., Ramírez, M. y Larrazábal, A. (2018). Community-based monitoring in response to local concerns: Creating usable knowledge for water management in rural land. *Water*, 10(5), 542. <https://doi.org/10.3390/w10050542>
- França, J., Solar, R., Hughes, R. y Callisto, M. (2019). Student monitoring of the ecological quality of neotropical urban streams. *Ambio*, 48(8), 867-878. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1122-z>
- Giraldo, D., (2022). *Ánalisis de las variables determinantes en los procesos de monitoreos hidrobiológicos participativos en Colombia*. [Trabajo de grado profesional, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia].
- Instituto de Investigaciones Marinas – IDEAM e Instituto de Investigaciones Costeras José Benito Vives de Andrés - INVEMAR(2021). *ProtocolodeMonitoreo y Seguimiento del Agua*.

- Bogotá, D. C., 2021. 631 páginas. <http://documentacion.ideal.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoysiguimiento delagua.pdf>
- Karr, J., Larson, E., y Chu, E. (2022). Ecological integrity is both real and valuable. *Conserv Sci Pract*, 4(2). <https://doi.org/10.1111/csp2.583>
- Kelly-Quinn, M., Biggs, J., Brooks, S., Fortuño, P., Hegarty, S., Jones, J., y Regan, F. (2022). Opportunities, approaches, and challenges to the engagement of citizens in filling small water body data gaps. *Hydrobiologia*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04973-y>
- Kirschke, S., Bennett, C., Ghazani, A. B., Franke, C., Kirschke, D., Lee, Y., ... y Nath, S. (2022). Citizen science projects in freshwater monitoring. From individual design to clusters?. *J Environ Manage*, 309, 114714. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114714>
- Kuemmerlen, M., Batista-Morales, A., Bruder, A., Turak, E., y de Oliveira, F. (2022). Conservation of Latin America freshwater biodiversity: beyond political borders. *Biodivers Conserv*, 31(4), 1427-1433. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02380-2>
- Llambí, L., Becerra, M., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M., y Díaz, L. (2019). Monitoring biodiversity and ecosystem services in Colombia's high Andean ecosystems: Toward an integrated strategy. *Mt Res Dev*, 39(3), A8-A20. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-19-00020.1>
- Maasri, A., Jähnig, S. C., Adamescu, M. C., Adrian, R., Baigun, C., Baird, D. J., ... y Worischka, S. (2022). A global agenda for advancing freshwater biodiversity research. *Ecol Lett*, 25(2), 255-263. <https://doi.org/10.1111/ele.13931>
- Macchi, P. y Maestroni, B. (2020). *Biomonitoring of freshwater ecosystems: research and citizen participation in the Upper Valley of Río Negro and Neuquén* (Patagonia, Argentina). <https://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/8259>
- Mafra, M. (2005). *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamancas, Costa Rica*. Serie Técnica. Manual técnico/CATIE; número 61. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2267/Guia_para_evaluaciones_ecologicas_rapidas_con_indicadores_biologicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mercado-García, D., Beeckman, E., Van Butsel, J., Arroyo, N., Sánchez, M., Van Buggenhoudt, C. y Goethals, P. (2019). Assessing the freshwater quality of a large-scale mining watershed: The need for integrated approaches. *Water*, 11(9), 1797. <https://doi.org/10.3390/w1109179>
- Ministerio de Ambiente y Energía- MINAE. (2020). *Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes, 2020-2040*. San José, Costa Rica. 72pp. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2020/09/Politica-Nacional-de-Areas-de-Proteccion_2020-40.pdf
- Ministerio del Ambiente de Perú. (2005). Ley General del Ambiente N° 28611. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Nolivos, I., Villacís, M., Vázquez, R. F., Mora, D. E., Domínguez-Granda, L., Hampel, H., y Velarde, E. (2015). Challenges for a sustainable management of Ecuadorian water resources. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.02.002>
- Pareja, C., Honey-Rosés, J., Kunz, N. C., Fraser, J., y Xavier, A. (2018). What participation? Distinguishing water monitoring programs in mining regions based on community participation. *Water*, 10(10), 1325. <https://doi.org/10.3390/w1010132>
- Perevochtchikova, M., Aponte Hernández, N., Zamudio-Santos, V., y Sandoval-Romero, G. E. (2016). Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 5-23. <https://doi.org/>
- Pinto, P., Oliveira-Junior, J. M. B., Leitão, F., Morais, M. M., Chícharo, L., Vaz, P., ... y Teodósio, M. A. (2020). Development of a metric of aquatic invertebrates for volunteers (MAIV): A simple and friendly biotic metric to assess ecological quality of streams. *Water*, 12(3), 654. <https://doi.org/10.3390/w1203065>
- Pocock, M. J., Chandler, M., Bonney, R., Thornhill, I., Albin, A., August, T., ... y Danielsen, F. (2018). *A vision for global biodiversity monitoring with citizen science*. In *Advances in ecological research* (Vol. 59, pp. 169-223). Academic Press. <http://www.monitoringmatters.org/publications/Pocock%20et%20al.%202018.%20Adv%20Ecol%20Res.pdf>
- Quintas-Soriano, C., Brandt, J., Baxter, C., Requena, J. y Castro, A. (2022). A framework for assessing coupling and de-coupling trajectories in river social-ecological systems. *Sustain Sci*, 17(1), 121-134. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01048-0>
- Ramírez, A. y Gutiérrez-Fonseca, P.E. (2020). Freshwater research in Latin America: Current research topics, challenges, and opportunities. *Rev Biol Trop*, 68(Suppl. 2), S1-S12. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44328>
- Reynaga, M. C., y Dos Santos, D. A. (2020). Los indicadores biológicos como herramienta de educación: Experiencias en Argentina. En: Domínguez, E., Giorgi, A. y N. Gómez (Eds.) *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Editorial Eudeba. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/146376>
- Rico-Sánchez, A., Rodríguez-Romero, A., Sedeño-Díaz, J., López-López, E., y Sundermann, A. (2022). Aquatic macroinvertebrate assemblages in rivers influenced by mining activities. *Scientific Reports*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06869-2>
- Ríos-Touma, B., y Ramírez, A. (2019). Multiple stressors in the Neotropical region: Environmental impacts in biodiversity hotspots. En: Sabater, S., Elosegi, A. y R. Ludwig (Eds.) *Multiple stressors in river ecosystems*, 205-220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811713-2.00012-1>

- Ríos-Touma, B., Villamarín, C., Jijón, G., Checa, J., Granda-Albuja, G., Bonifaz, E., y Guerrero-Latorre, L. (2022). Aquatic biodiversity loss in Andean urban streams. *Urban Ecosyst*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01248-1>
- Rodríguez, N. y Ramírez, A. (2018). *Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico* (versión 2). <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6118793.v1>
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios, M., Caputo, L., Fierro, P., Jiménez-Prado, P., Navarro, E., Macchi, P., Mojica, J. I., Molinero, J., Montoya, J. V., Pantoja, A., Pompéo, M., Ríos-Touma, B., Teixeira de Mello, F., Tobón, F., Torremorell, A., Villalba, A., Villamarín, C. (2020). Criterios para la evaluación de estresores y parámetros en la estimación del estado ecológico de ríos en Suramérica. *Serie Publicaciones Especiales*. Museo de Ciencias Naturales. Universidad Centro-occidental Lisandro Alvarado, Venezuela. 68 pp. ISBN 978-980-320-146-3. https://www.cyted.org/sites/default/files/ibepecor_criterios_evaluacion_rios_suramerica_2020.pdf
- Rodrigo, C., Pacheco, P., Piñeiro, M., y Cobo, E. (2018). *Guía de monitoreo participativo de la calidad de agua*. Unión Internacional Para La Conservación de La Naturaleza (UICN), 73. <https://pdf4pro.com/cdn/gu-237-a-de-monitoreo-participativo-de-la-iucn-63ace5.pdf>
- Roque, A., Wutich, A., Quimby, B., Porter, S., Zheng, M., Hossain, M. J., y Brewis, A. (2022). Participatory approaches in water research: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(2), e1577. <https://doi.org/10.1002/wat2.1577>
- Ruaro, R., Gubiani, E. A., Hughes, R. M., y Mormul, R. P. (2020). Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. *Ecol Indic*, 110, 105862. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105862>
- Springer, M. (2010). Capítulo 3: Biomonitoring acuático. *Rev Biol Trop*, 58 (Suppl. 4), 53-59. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.20082>
- Thornhill, I., Loiselle, S., Clymans, W., y Van Noordwijk, C. G. E. (2019). How citizen scientists can enrich freshwater science as contributors, collaborators, and co-creators. *FreshwSci*, 38(2), 231-23. <https://doi.org/10.1086/70337>
- Torremorell, A., Hegoburu, C., Brandimarte, A. L., Rodrigues, E. H. C., Pompéo, M., da Silva, S. C., ... y Navarro, E. (2021). Current and future threats for ecological quality management of South American freshwater ecosystems. *Inland Waters*, 11(2), 125-140. <https://doi.org/10.1080/20442041.2019.1608115>
- Soria, M., Bonada, N., Ballester, A., Verkaik, I., Jordà-Capdevila, D., Solà, C., ... y Cid, N. (2021). Adapting participatory processes in temporary rivers management. *Environ Sci Policy*, 120, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.005>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN. (s.f.). BRIDGE Andes: Construyendo diálogos para una mejor gobernanza del agua. https://www.iucn.org/sites/default/files/content/documents/nuevo_formato_bridge_web.pdf
- Vadas, R., Hughes, R., Bae, Y., Baek, M., González, O., Callisto, M. y Yoder, C. O. (2022). Assemblage-based biomonitoring of freshwater ecosystem health via multimetric indices: A critical review and suggestions for improving their applicability. *Water Biol Secur*, 100054. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100054>
- Vallejo, M. y D. Gómez. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/32946>
- Walker, D. W., Smigaj, M., y Tani, M. (2021). The benefits and negative impacts of citizen science applications to water as experienced by participants and communities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(1), e1488. <https://doi.org/10.1002/wat2.1488>
- Walteros, J. (2019). Biomonitoring acuático participativo, una estrategia para promover la ciencia ciudadana. *Bio-grafía*, 1235-1245. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/11071>
- Walteros, J. y Ramírez, A. (2020). Urban streams in Latin America: Current conditions and research needs. *Revista de Biología Tropical*, 68, 13-28. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44330>
- Walteros, J., Suárez, S., Arroyave, A. y Castaño, J. (2020). Lisbrán un laboratorio vivo para la investigación y la educación ambiental. En: *Investigación ambiental, foco de transformación social*. Universidad Tecnológica de Pereira. ISBN: 978-958-722-498-6. <https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/06029813-8d44-47e6-9cbe-b7dded2adb69/download>

**Disponible en:**

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319079993003>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Jeymmmy WALTEROS

**UNA REVISIÓN SOBRE EL BIOMONITOREO ACUÁTICO
PARTICIPATIVO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
A review of participatory aquatic biomonitoring in Latin
America and the Caribbean**

Acta Biológica Colombiana

vol. 28, núm. 2, p. 178 - 188, 2023

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias,
Departamento de Biología,

ISSN: 0120-548X

ISSN-E: 1900-1649

DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v28n2.104017>