

Water pollution and its impact on aquatic organisms. A literature review

Digna Marianela Huaman-Flores¹; Miguel Barboza-Palomino²

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, N00436785@upn.pe, mbarbozapalomino@outlook.com.pe

Abstract– The study aimed to analyze findings from recent research on water pollution and its impact on aquatic organisms. Fourteen scientific articles published between 2017 and 2024 in journals indexed in the SciELO Online Electronic Library, a database widely recognized in Latin America, were selected and reviewed. The information from the articles included in the review was organized in a synthesis matrix that allowed the identification of trends regarding general characteristics of publications, study locations and methodologies, types of contaminants, and effects of pollution on aquatic organisms. Results revealed a predominance of publications in 2023, with women as first authors in most articles. Analysis of corresponding authors' affiliations showed a concentration in institutions from Mexico and Colombia. These countries, along with Costa Rica, also stood out for editing journals with the highest number of publications on the topic. The weighted average of authors per article was 3.71, with a high proportion of multiple authorship (.93). While collaboration was evident, it was exclusively national. Mexico and Colombia were also the locations where more than 50% of the reviewed research was conducted. The analyzed studies primarily employed toxicity assays to evaluate the effects of contaminants and atomic absorption spectrophotometry to determine their concentration in aquatic organisms. Adverse effects on aquatic species were reported, including microplastics in fish and crustaceans, bioaccumulation of heavy metals in tissues, and toxic effects of agrochemicals. In conclusion, the review evidenced a trend in publications investigating the impact of water pollution on aquatic organisms.

Keywords– water pollution, aquatic organisms, literature review, SciELO.

La contaminación hídrica y su impacto en los organismos acuáticos. Una revisión de literatura

Digna Marianela Huaman-Flores¹; Miguel Barboza-Palomino²

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, N00436785@upn.pe, mbarbozapalomino@outlook.com.pe

Resumen– El estudio tuvo como objetivo analizar los hallazgos de investigaciones recientes sobre la contaminación hídrica y su impacto en los organismos acuáticos. Fueron seleccionados y revisados 14 artículos científicos publicados entre 2017 y 2024 en revistas indexadas en la Biblioteca Electrónica en Línea SciELO, una base de datos ampliamente reconocida en América Latina. La información de los artículos incluidos en la revisión se organizó en una matriz de síntesis que permitió la identificación de tendencias sobre las características generales de las publicaciones, la localización y metodología de los estudios, los tipos de contaminantes y efectos de la contaminación en los organismos acuáticos. Los resultados revelaron una predominancia de publicaciones en 2023, con mujeres como primeras autoras en la mayoría de los artículos. El análisis de filiación de los autores corresponsales mostró una concentración en instituciones de México y Colombia. Estos países, junto con Costa Rica, también se destacaron por editar las revistas con mayor número de publicaciones sobre el tema. La media ponderada de autores por artículo fue de 3.71, con una alta proporción de autoría múltiple (.93). Si bien, se evidenció colaboración, esta fue exclusivamente nacional. México y Colombia también fueron los lugares en los que se ejecutaron más del 50% de las investigaciones revisadas. Los estudios analizados emplearon principalmente ensayos de toxicidad para evaluar los efectos de los contaminantes y espectrofotometría de absorción atómica para determinar su concentración en organismos acuáticos. Se reportaron efectos adversos en especies acuáticas como microplásticos en peces y crustáceos, metales pesados bioacumulados en tejidos, y efectos tóxicos de agroquímicos. En conclusión, la revisión evidencia una tendencia de las publicaciones que han indagado en el impacto de la contaminación hídrica en organismos acuáticos.

Palabras clave– contaminación hídrica, organismos acuáticos, revisión de literatura, SciELO.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha incrementado la demanda de bienes y servicios, lo cual ha provocado un mayor uso y contaminación del agua [1]. Las actividades domésticas, agrícolas e industriales generan grandes cantidades de residuos líquidos que afectan la salud pública y el medio ambiente [2]. Además, el manejo inadecuado de los residuos contribuye de forma significativa a la contaminación hídrica [3].

La contaminación hídrica se define como la presencia de sustancias químicas, desechos y contaminantes en ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas. Esta situación degrada los ecosistemas acuáticos y representa un riesgo para la salud humana y la biodiversidad [4]. Los organismos acuáticos, que habitan en el agua durante todo o gran parte de su ciclo vital, son fundamentales para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y se ven particularmente afectados por la contaminación [5].

El problema de la contaminación del agua adquiere mayor relevancia en los países en vías de desarrollo, donde existen serias deficiencias en la calidad del recurso hídrico [6, 7]. En América Latina, la situación se agrava debido a la explotación minera, que genera drenaje ácido, y al tratamiento inadecuado de las aguas residuales [8]. Actualmente, en América Latina y el Caribe, solo el 35% de las aguas residuales recibe tratamiento adecuado [9]. Esta deficiencia se debe a los altos costos de infraestructura y mantenimiento de las tecnologías de tratamiento de aguas, los presupuestos gubernamentales insuficientes y el incumplimiento de las normativas vigentes [7].

Investigaciones recientes de tipo revisión han abordado diversos aspectos de la contaminación hídrica. Así se ha reportado que los relaves mineros tienen un impacto medioambiental, sobre todo en el deterioro de las aguas superficiales y subterráneas [10]. También, se ha destacado que la toxicidad de los nitratos afecta negativamente a las especies acuáticas, lo cual provoca la alteración en la natación, retraso del crecimiento y la muerte [11].

De otro lado, se ha informado que los microplásticos afectan los ecosistemas acuáticos porque comprometen la alimentación, desarrollo y reproducción de los organismos que lo habitan [12]. A su vez, se ha documentado la presencia de microplásticos en organismos acuáticos en la región de América Latina y el Caribe. Además, se ha ubicado a Brasil como el país que aporta la mayor cantidad de estudios seguido de Chile, Argentina y México [13]. Por último, se han situado al índice de calidad del agua (WQI) e índice de contaminación (WPI) como métodos útiles para evaluar y categorizar la calidad de los cuerpos de agua [14].

La relevancia de investigar la contaminación hídrica y su impacto en los organismos acuáticos radica en la creciente amenaza que representa para los ecosistemas acuáticos la contaminación producto de actividades industriales, urbanas, mineras y agrícolas [15]. Esta contaminación afecta todos los niveles de las redes tróficas acuáticas y reduce la población de los organismos acuáticos, lo cual pone en riesgo su supervivencia y capacidad reproductiva. En este contexto, el objetivo de esta investigación es analizar los hallazgos de estudios recientes sobre la contaminación hídrica y su impacto en los organismos acuáticos.

II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión de literatura [16] que incluyó una muestra de 14 artículos científicos publicados en el período 2017-2024. Estas investigaciones indagaron la temática del impacto de la contaminación hídrica en los organismos acuáticos.

La búsqueda de los artículos se llevó a cabo mediante la Biblioteca Electrónica en Línea SciELO (Scientific Electronic Library Online). La elección de esta base de datos se fundamentó en su amplia cobertura principalmente de revistas científicas editadas en América Latina [17].

La estrategia de búsqueda se definió a partir de una lluvia de ideas. Aquí, se plantearon palabras clave como “contaminación hídrica”, “contaminación del agua”, “organismos acuáticos” y “fuentes de contaminación”. Finalmente, con base en el criterio de ruido y silencio documental, se empleó como fórmula de búsqueda: contaminación AND organismos acuáticos. La mayoría de los artículos recuperados mediante esta fórmula correspondieron al área temática de Ciencias Biológicas. La selección inicial de los documentos se realizó a partir de la lectura de títulos y resúmenes, lo que permitió descartar aquellos que no se ajustaban con el objetivo de la revisión.

Después de esta selección inicial, se procedió a la lectura completa de los artículos relevantes. Se aplicaron criterios de inclusión: 1) investigaciones originales, y 2) investigaciones publicadas a partir del 2017. Como resultado de este proceso, fueron seleccionados 14 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión. Esta actividad fue realizada en octubre de 2024.

Para el análisis de información, se elaboró una matriz de síntesis en Microsoft Excel en la cual se consideró los siguientes aspectos: título del artículo, género del primer autor, número de autores, autor/es, año de publicación, revista, institución de filiación del autor corresponsal, colaboración nacional, colaboración internacional, objetivo, método, localización del estudio y principales resultados. La información analizada se organizó en tres categorías: 1) características generales de las publicaciones, 2) localización de los estudios y metodología, y 3) tipos de contaminantes y sus efectos en los organismos acuáticos.

La Figura 1 muestra con detalle el flujo del proceso realizado para la identificación, selección e inclusión de los artículos.

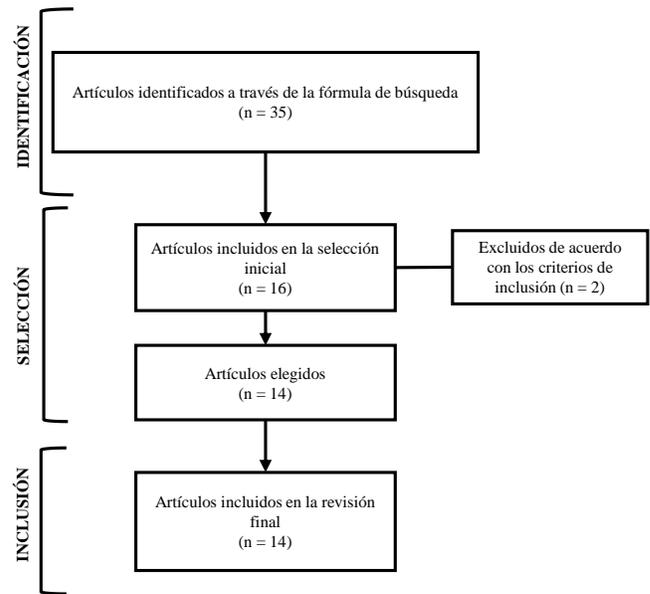


Fig. 1 Diagrama de flujo de la revisión de literatura

III. RESULTADOS

Los resultados fueron organizados en 3 categorías: A) características generales de las publicaciones, B) localización de los estudios y metodología, y C) tipos de contaminantes y sus efectos en los organismos acuáticos.

A. Características generales de las publicaciones

De acuerdo con el año de publicación, se observó que la mayoría de los estudios revisados fueron publicados el 2023. Por otra parte, no se ubicaron artículos publicados el 2018. La Fig. 2 presenta la distribución de artículos por año de publicación.

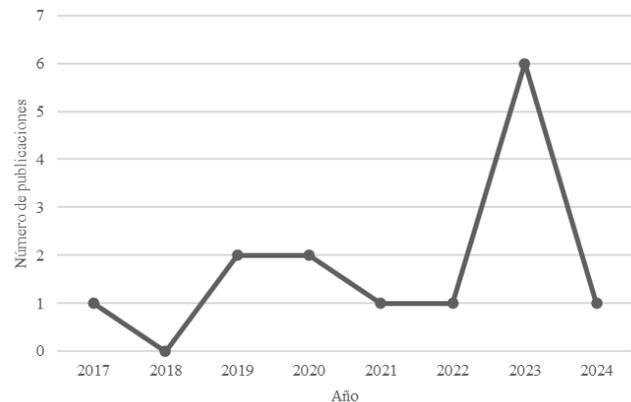


Fig. 2 Distribución de publicaciones por año

En lo que corresponde al género del primer autor, se ubicaron 8 (57%) artículos firmados por mujeres y 6 (43%) por hombres. En cuanto a la institución de filiación de los autores corresponsales, destacó el Instituto Tecnológico de Boca del Río (Veracruz, México) con 3 firmas. Además, se identificaron otras 2 instituciones mexicanas que contribuyeron con una firma: Universidad Autónoma de Aguascalientes y la Universidad Nacional Autónoma de México.

Colombia también tuvo una presencia significativa con 3 instituciones que aportaron una firma cada una: Universidad de la Guajira, Universidad del Valle y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Asimismo, se localizaron instituciones de Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, Nigeria y Venezuela, que contribuyeron de manera similar con una firma cada una.

En lo que respecta a las revistas que publicaron los artículos analizados, destacaron: Revista de Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology and Conservation) y la Revista Internacional de Contaminación Ambiental. La primera revista es editada por la Universidad de Costa Rica y la segunda por la Sección Editorial del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cada una contribuyó con 4 publicaciones, lo cual representa en conjunto más del 50% de los artículos revisados.

Las otras revistas en las que se publicó una contribución fueron: Acta Biológica Colombiana, Cuadernos de Investigación UNED (Costa Rica), Hidrobiológica (México), Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia (Colombia), Revista de Producción Animal (Cuba), Revista Tecnología en Marcha (Costa Rica).

Tal como se ha expuesto, México y Colombia se destacaron por sus contribuciones tanto de autores corresponsales como de revistas que publicaron los artículos analizados. Por su parte, Costa Rica sobresalió principalmente por las revistas que publicaron varios de los estudios. La Fig. 3 ilustra la distribución de autores corresponsales y revistas por país.

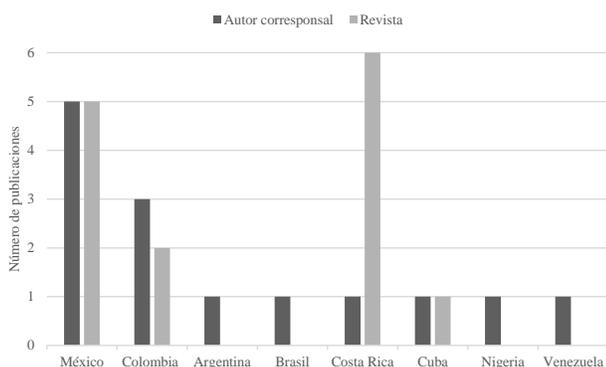


Fig. 3 Distribución de los autores corresponsales y revistas por país

Para analizar la colaboración durante el periodo de estudio, se calcularon los índices de Lawani [18] y Subramanyam [19]. El índice de Lawani arrojó un valor de 3.71, lo que representa la media ponderada de autores por artículo. Por otro lado, el índice de Subramanyam alcanzó un valor de .93, el cual indica la proporción de publicaciones con autoría múltiple. Este último índice tiene un valor máximo posible de 1.

Del total de las publicaciones analizadas, 5 (35.71%) involucraron colaboración entre instituciones del mismo país. Específicamente, 2 estudios fueron realizados por instituciones mexicanas, mientras que Colombia, Costa Rica y Nigeria contribuyeron con un estudio cada uno. Por su parte, no se identificaron investigaciones que hayan implicado colaboración internacional.

B. Localización de los estudios y metodología

México y Colombia fueron los principales países donde se realizaron las investigaciones analizadas, con 5 y 3 contribuciones respectivamente. En conjunto, estos 2 países representaron más del 50% de los lugares de ejecución de investigaciones revisadas. La Fig. 4 presenta la cantidad de estudios realizados por país.



Fig. 4 Distribución geográfica de los artículos analizados

El método más utilizado para evaluar los efectos tóxicos de los contaminantes fue el bioensayo de toxicidad, mencionado en 7 (50%) de los artículos revisados. Este método permite analizar en qué concentraciones los contaminantes generan efectos subletales o letales en las especies estudiadas. Específicamente, 5 estudios emplearon el bioensayo de toxicidad aguda. La digestión química fue el segundo método más utilizado, mencionado en 2 publicaciones. Otros métodos empleados incluyeron la digestión ácida, reportada al menos una vez. Es importante señalar que tres artículos no indicaron el método utilizado, mientras que otro no aplicó ningún método en particular. La Fig. 5 presenta la distribución de los métodos utilizados en los artículos revisados.

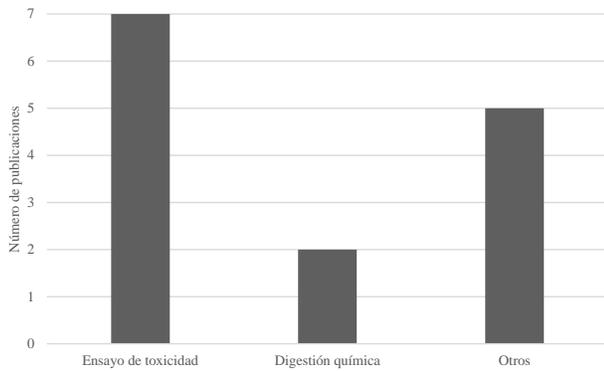


Fig. 5 Métodos utilizados para el análisis de contaminantes

El análisis de la concentración de los contaminantes en los organismos acuáticos se realizó mediante diferentes técnicas. La espectrofotometría de absorción atómica destacó como el método más utilizado, reportada en 7 (50%) artículos revisados. Esta técnica es ideal para determinar la concentración de trazas de metales pesados en muestras biológicas. En un caso específico, se aplicó la espectrofotometría de absorción atómica directa para la determinación de mercurio total. Además, se emplearon otras técnicas como la observación por microscopio estereoscópico y el ensayo inmunoenzimático (ELISA). La Fig. 6 muestra la distribución de las técnicas utilizadas para la determinación de la concentración de los contaminantes.

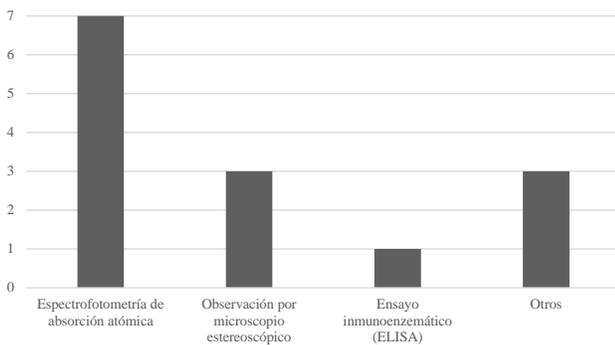


Fig. 6 Técnicas utilizadas para la determinación de contaminantes

C. Tipos de contaminantes y sus efectos en los organismos acuáticos

El análisis de los artículos revisados reveló que los metales pesados fueron los contaminantes más frecuentemente estudiados, mencionados en 7 (50%) publicaciones. Entre estos, se identificaron principalmente zinc (Zn), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe), cadmio (Cd), aluminio (Al) y cromo (Cr). Un estudio también mencionó las formas cromo VI y cromo III. Los microplásticos fueron el segundo contaminante más estudiado, reportado en 2 artículos. La Fig. 7 presenta la distribución de los tipos de contaminantes analizados en las publicaciones revisadas.

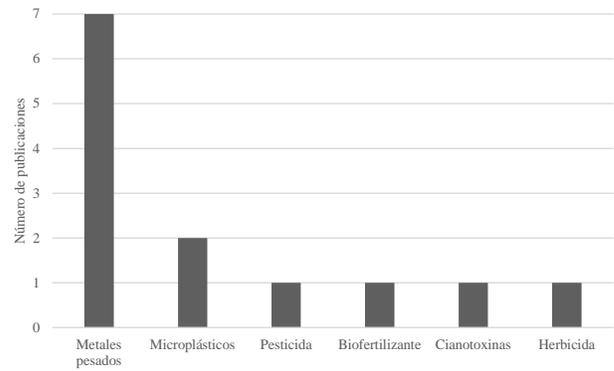


Fig. 7 Distribución de los tipos de contaminantes analizados

Varios estudios examinaron la presencia de dos o más metales pesados en los organismos acuáticos. El análisis de frecuencia de mención de estos contaminantes en los artículos revisados reveló que el plomo fue el más estudiado, reportado en 4 artículos. El zinc ocupó el segundo lugar, con menciones en 3 artículos. Mercurio, cobre y cadmio se reportaron en 2 estudios cada uno. La Fig. 8 muestra la distribución de los metales pesados analizados según el número de artículos en los que se mencionaron.

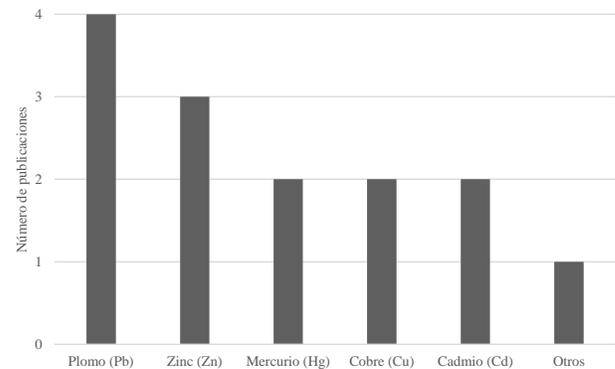


Fig. 8 Distribución de metales pesados analizados según número de artículos.

Los artículos analizados examinaron diferentes contaminantes que afectan a los organismos acuáticos, como metales pesados, microplásticos (Mps), pesticidas, entre otros. Estos contaminantes debido a sus propiedades fisicoquímicas tienden a bioacumularse en diferentes especies y provocan efectos adversos en su salud, reproducción y supervivencia. En este contexto, una investigación [20] evaluó la influencia de la calidad de agua en la región Andina de Colombia sobre la presencia de la familia Elmidae (escarabajos de los rápidos). El estudio reveló que las aguas contaminadas con altos niveles de sólidos suspendidos y fósforo total afectaron negativamente la diversidad de esta especie, en comparación con aguas de arroyos protegidos y con bosques ribereños.

Las investigaciones centradas en microplásticos también han reportado consecuencias significativas. De esta forma, un estudio [21] analizó la presencia de microplásticos en el sistema digestivo de peces y jaibas en un parque nacional de Costa Rica. Los resultados mostraron que el 89% de los pelágicos y el 76% de los crustáceos contenían fibras de plástico predominantes. Los MPs más abundantes fueron de color azul y negro, con un tamaño promedio de aproximadamente 1mm. El estudio también destacó que la deficiente gestión de residuos sólidos afecta a las especies incluso en zonas de conservación.

De igual modo, un estudio [22] realizado en Sucre (Venezuela) reveló la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de *Sardinella aurita*, un pez clupeiforme. Las fibras y fragmentos predominaron entre los microplásticos encontrados, con una mayor abundancia de fibras negras. A pesar de la alta concentración de estas partículas plásticas, no se observaron efectos significativos en el peso o el índice gonadosomático de los peces. Sin embargo, dado el papel fundamental de la *Sardinella aurita* en la cadena trófica marina, la presencia de microplásticos en su organismo podría tener consecuencias graves para otras especies del ecosistema marino que dependen de ella como fuente de alimento.

Las investigaciones sobre contaminantes metálicos se enfocaron principalmente en metales pesados que suelen acumularse en los tejidos de diversas especies acuáticas. Un estudio [23] en la Guajira (Colombia), evaluó la bioconcentración de Zn, Hg, Pb en los tejidos de las especies *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis*. Los hallazgos revelaron niveles de Hg > Zn > Pb en el hígado y riñón de los peces, aunque estos valores no superaron los límites máximos permitidos por instituciones internacionales, lo que sugiere un riesgo mínimo para el ecosistema.

Otra investigación [24] en un lago de Nigeria analizó la concentración de metales pesados en los riñones de peces escamosos y no escamosos. Las concentraciones encontradas siguieron el patrón Zn>Fe>Cu>Pb>Cd en todos los especímenes. *Mormyrus rume* presentó las concentraciones más altas de Zn, *Rhinogobius ocellatus* de Fe y *Tilapia zillii* de Cu. Los metales Pb y Cd fueron los que obtuvieron las concentraciones más bajas en todos los peces. A pesar de estos hallazgos, las cantidades de metales detectadas en los peces se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el consumo humano.

Un estudio [25] en la Amazonia brasileña reportó concentración de Hg más altas en larvas de *Eustrongylides* sp. que en los tejidos de sus hospedadores *Hoplias malabaricus* y *Pygocentrus nattereri*. Aunque se evidenció una alta concentración, la reproducción de *Eustrongylides* sp. en los hospedadores no se vio afectada. Por su parte, una investigación [26] en Veracruz (México) encontró que bajas concentraciones de Cu, Pb y Cd producen efectos letales en *Ceriodaphnia cornuta*, mientras que altas concentraciones de Cr y Al solo alteran su comportamiento.

Otro estudio [27] evaluó la bioconcentración de óxido de zinc (ZnO) en *Biomphalaria glabrata*. A las 48h de exposición, se registró una acumulación significativa de zinc en los tejidos de la especie, sin inducir neurotoxicidad ni daño macromolecular, pero sí una reducción de glutatión (GSH). En la misma línea, una investigación [28] demostró que el cromo hexavalente Cr VI es más tóxico que el cromo trivalente (Cr III) para la *Lecane* papuana. En concentraciones de toxicidad crónica, el Cr III afectó el crecimiento intrínseco, mientras que el Cr VI afectó la fecundidad de la especie.

Una investigación [29] realizó bioensayos para evaluar la transferencia de plomo mediante cadenas tróficas: microalga (*Nannochloropsis oculata*), rotífero (*Brachionus plicatilis*) y langostino (*Macrobrachium rosenbergii*). La microalga *Nannochloropsis oculata* exhibió toxicidad y una reducción en su tasa de crecimiento cuando se expuso al plomo. El rotífero *Brachionus plicatilis* mostró signos de toxicidad y una disminución en su peso seco al alimentarse de microalgas contaminadas, posiblemente debido a la descamación de su capa protectora. El langostino *Macrobrachium rosenbergii* presentó signos de contaminación solo al consumir microalgas expuestas al plomo, pero no al alimentarse de rotíferos contaminados. Estos resultados sugieren que el plomo puede transferirse y concentrarse a través de la ingestión directa de productores primarios, pero no mediante el consumo de invertebrados, probablemente debido a los mecanismos de detoxificación de estos últimos.

Algunos estudios evaluaron los efectos de aguas contaminadas y agroquímicos en organismos acuáticos. Entre estas, una investigación [30] que analizó muestras de agua de la cuenca del Lago Tota (Colombia), reveló que *Daphnia magna* no presentó mortalidad, mientras que *Hydra attenuata* mostró efectos subletales y letales en dos zonas de la cuenca. Aunque el porcentaje de letalidad fue bajo, el uso intensivo de plaguicidas en actividades agropecuarias podría alterar la composición y función de las comunidades hidrobiológicas.

De igual forma, otra investigación [31] señaló que la exposición de tilapias juveniles y postlarvas de langostino a un herbicida no provocó cambios en su apariencia, pero las tilapias exhibieron comportamientos anómalos como movimientos mínimos y natación boca arriba. Los langostinos demostraron mayor sensibilidad al herbicida. Otro estudio similar [32] reveló que el bioproducto activado IHPLUS® no resultó peligroso para larvas de *Artemia salina* en concentraciones letales medias, pero se volvió tóxico en condiciones de pH ácido.

Por último, otro estudio [33] determinó la bioacumulación de cianotoxinas en tres tipos de peces (*Goodea atripinnis*, *Poeciliopsis gracilis* y *Oreochromis niloticus*) que habitan en la presa Santa Catarina (México). Los resultados revelaron concentraciones superiores de Microcistinas (MCYSTs) en todos los tejidos de los peces, y, en la mayoría de las muestras, las concentraciones fueron mayores en el hígado y vísceras que en el músculo.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El objetivo de esta revisión fue analizar los hallazgos de investigaciones recientes sobre la contaminación hídrica y su impacto en organismos acuáticos. A partir de los resultados, se ha logrado evidenciar una predominancia de investigaciones realizadas en México y Colombia. Así también, estos países se han destacado, junto con Costa Rica, por editar el mayor número de revistas que han publicado sobre el tema. Por otra parte, se han localizado trabajos en colaboración, pero exclusivamente de tipo nacional. Además, se ha revelado el uso preferente de los ensayos de toxicidad y espectrofotometría para la preparación de las muestras y el análisis de la concentración de contaminantes. Finalmente, los estudios revisados informan la presencia de microplásticos, bioacumulación de metales pesados en tejidos y toxicidad de agroquímicos en diferentes organismos acuáticos.

Los resultados muestran una concentración de autores corresponsales afiliados a instituciones latinoamericanas, lo cual es correspondiente con la cobertura principalmente regional de la Biblioteca Electrónica en Línea SciELO [17]. Sin embargo, la distribución de contribuciones entre los países de la región no es homogénea, con una predominancia de México y Colombia. Esta disparidad podría reflejar diferencias en la capacidad de investigación, financiamiento o priorización de estudios sobre contaminación hídrica entre los países. Sobre este punto, es necesario señalar que esta es una observación que se fundamenta exclusivamente en los artículos publicados en revistas indexadas en SciELO, y podría no representar completamente el panorama de la investigación sobre el tema en la región.

Los valores de los índices de Lawani y Subramanyam evidencian una tendencia hacia la autoría múltiple en los estudios revisados, lo que sugiere la existencia de un trabajo colaborativo para realizar investigaciones sobre el tema. Pero, esta es exclusivamente nacional y por ello resulta llamativo la ausencia de colaboraciones internacionales. Esta falta de colaboración internacional podría indicar una oportunidad perdida para el intercambio de conocimientos, recursos y competencias entre investigadores e instituciones de varios países.

Los estudios analizados también fueron realizados principalmente en México y Colombia. Sobre este hallazgo, es particularmente notorio que no se hayan realizado estudios en otros países latinoamericanos que cuentan con importantes reservas hídricas, como Perú [34], que posiblemente enfrentan desafíos similares en cuanto a la contaminación del agua. Esta disparidad en la representación geográfica de las contribuciones puede atribuirse a dos posibles escenarios. Por una parte, es posible que las investigaciones relevantes de estos países se hayan publicado en revistas indexadas a otras bases de datos no incluidas en este análisis, lo que subraya la necesidad de ampliar el alcance de futuras revisiones. Por otro lado, esta brecha podría indicar la ausencia de investigaciones sobre el tema en estos países, por lo cual sería necesario fomentar

estudios sobre los efectos de la contaminación hídrica en países con recursos hídricos significativos, pero subrepresentados en la literatura científica actual.

Los artículos revisados revelan que los bioensayos de toxicidad son los métodos predominantes para evaluar el impacto de contaminantes en organismos acuáticos como *Daphnia magna*, *Hydra attenuata* y *Artemia sp.* Aunque estos ensayos se realizan bajo condiciones controladas, lo que puede limitar su aplicabilidad directa a ecosistemas naturales, proporcionan información fundamental para evaluar los efectos que causan los contaminantes [35]. Complementariamente, la espectrofotometría por absorción atómica se ha consolidado como una técnica esencial para cuantificar la acumulación de metales pesados en los tejidos de las especies analizadas.

Los metales pesados son los contaminantes más comúnmente estudiados, debido a su alta toxicidad y capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los tejidos de los organismos. Este proceso afecta la cadena trófica y puede impactar la salud humana a través del consumo de especies contaminadas [36]. Resulta llamativo el escaso número de estudios sobre agroquímicos, si se toma en cuenta que la agricultura es una actividad predominante en América Latina y el Caribe, lo que implica un uso extensivo de agrotóxicos con impactos negativos en la biodiversidad [37]. Estos contaminantes pueden ingresar a los ecosistemas acuáticos a través de la escorrentía superficial o la filtración del suelo, para posteriormente interactuar con aguas subterráneas [38].

Los resultados de esta revisión corroboran y amplían las investigaciones previas sobre contaminación hídrica y sus efectos en organismos acuáticos. Se confirma que los relaves mineros deterioran las aguas superficiales y subterráneas, como se ha señalado en un estudio previo [10]. Además, se evidencia que los microplásticos, presentes en alta proporción en peces y crustáceos, comprometen la alimentación, desarrollo y reproducción de los organismos acuáticos, tal como informa una investigación previa [12]. También, el estudio en Costa Rica [21] demuestra que el problema se presenta incluso en áreas protegidas, lo que resalta la posible gravedad de la situación en América Latina.

En cuanto a los metales pesados, los estudios revelan su bioacumulación en tejidos de diversas especies acuáticas, aunque generalmente dentro de los límites permitidos para el consumo humano. Sin embargo, se observan efectos subletales y alteraciones en el comportamiento de algunas especies, como en el caso de *Ceriodaphnia* [26]. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar no solo los efectos letales, sino también los subletales en la evaluación de la contaminación hídrica. Asimismo, los estudios sobre agroquímicos y cianotoxinas demuestran su potencial tóxico para diversas especies acuáticas, lo que concuerda con la preocupación expresada en una investigación previa [11] sobre la toxicidad de los nitratos en ecosistemas acuáticos.

El estudio no está exento de limitaciones. En primer lugar, la búsqueda y selección de artículos científicos considero exclusivamente la Biblioteca Electrónica en Línea SciELO. Esto podría constituir un sesgo en la representación de los resultados, por lo que resulta necesario ampliar la consulta de otras bases de datos en próximos estudios para contrastar las tendencias observadas. En segundo lugar, la selección y registro de los artículos finalizó en octubre de 2024. Por lo tanto, es posible que se hayan excluido algunos documentos publicados e indexados posteriores a la fecha señalada.

En conclusión, los hallazgos de la revisión revelan una tendencia de las investigaciones que han abordado las consecuencias de la contaminación hídrica en los organismos acuáticos. Conviene resaltar que varios estudios informan la presencia de microplásticos, metales pesados y agroquímicos que no solo afectan la salud y el comportamiento de los organismos acuáticos, sino que también tienen el potencial de perturbar el equilibrio de ecosistemas enteros. Sin acciones decisivas, es probable que los daños a los ecosistemas acuáticos y la salud humana se intensifiquen, lo que resalta la importancia crítica de la investigación continua en este campo.

REFERENCIAS

- [1] C. E. Boyd, *Water quality: An introduction*. Springer, 2020.
- [2] H. A. Milquez Sanabria and J. C. Montagut, "Impacto de los contaminantes emergentes en el entorno acuático y los tratamientos para el control y remoción en los cuerpos hídricos: Revisión literaria," *Ingeniería y competitividad*, vol. 25, no. 3, p. e-30412551, 2023.
- [3] N. Rivera Gironas, C. A. Garnica Gonzalez, B. I. Salvatierra Terrazas, L. Villafuerte Philippsborn, and A. Agramont Akiyama, "Contaminación hídrica y derecho a la seguridad alimentaria de comunidades indígenas andino-bolivianas del Titicaca en la cuenca Katari," *Revista Economía y Política*, no. 39, pp. 136-158, 2024.
- [4] R. Guadarrama-Tejas, J. Kido-Miranda, G. Roldan-Antunez, and M. Salas-Salgado, "Contaminación del agua," *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 2, no. 5, pp. 1-10, 2016.
- [5] P. Hanson, M. Springer, and A. Ramírez, "Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos," *Revista de Biología Tropical*, vol. 58, Suppl. 4, pp. 3-37, 2010.
- [6] J. L. Marín-Muñiz and M. Vidal Álvarez, "Crisis del agua ante la contingencia ambiental por la COVID-19," in *El SARS-COV-19 y su impacto político, social y ambiental: Reflexiones panorámicas*, M. C. Celis Pérez and M. R. Mijares Sánchez, Eds. Dirección Editorial de la Universidad Veracruzana y Biblioteca Digital de Humanidades, 2020, pp. 82-87.
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Aguas residuales. El recurso desaprovechado*. UNESCO, 2017.
- [8] P. Martínez, "La contaminación del agua en la minería," *Observatorio económico latinoamericano*, 2021. [Online]. Available: <https://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineria>
- [9] Organización Panamericana de la Salud (OPS), "338 millones de personas en América Latina y el Caribe aún no disponen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura," *OPS*, 2024. [Online]. Available: <https://www.paho.org/es/noticias/19-11-2024-338-millones-personas-america-latina-caribe-aun-no-disponen-servicios>
- [10] J. Menéndez and S. Muñoz, "Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros," *PAIDEIA XXI*, vol. 11, no. 1, pp. 141-154, 2021.
- [11] P. Banerjee et al., "A critical review on the effect of nitrate pollution in aquatic invertebrates and fish," *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 234, no. 333, 2023.
- [12] D. K. Nanthini, P. Raju, P. Santhanam, and P. Perumal, "Impacts of microplastics on marine organisms: Present perspectives and the way forward," *Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 48, no. 3, pp. 205-209, 2022.
- [13] C. Orona-Návar et al., "Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives," *Journal of Environmental Management*, vol. 309, p. 114698, 2022.
- [14] J. L. Ariza Restrepo, Y. J. Rodríguez Díaz, and H. C. Oñate Barraza, "Water quality indices (WQI) and contamination indices (WPI): A bibliographic review," *Tecnura*, vol. 27, no. 77, pp. 121-140, 2023.
- [15] M. Landos, M. Lloyd Smith, and J. Immig, "Los contaminantes acuáticos en océanos y pesquerías," *Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN)*, 2021. [Online]. Available: https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-fisheries-v1_6aw-es.pdf
- [16] M. J. Grant and A. Booth, "A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies," *Health Information and Libraries Journal*, vol. 26, no. 2, pp. 91-108, 2009.
- [17] T. D. Marín-Velásquez and D. D. J. Arrojas-Tocuyo, "Revistas científicas de América Latina y el Caribe en SciELO, Scopus y Web of Science en el área de Ingeniería y Tecnología: su relación con variables socioeconómicas," *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 44, no. 3, p. e301, 2021.
- [18] S. M. Lawani, "Some bibliometric correlates of quality in scientific research," *Scientometrics*, vol. 9, no. 1-2, pp. 13-25, 1986.
- [19] K. Subramanyam, "Bibliometric studies of research collaboration: A review," *Journal of Information Science*, vol. 6, no. 1, pp. 33-38, 1983.
- [20] M. González-Córdoba, J. Chará, M. del C. Zúñiga, L. P. Giraldo, and Y. P. Ramírez, "Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y la calidad fisicoquímica del agua en ambientes lóticos de los Andes colombianos," *Revista de Biología Tropical*, vol. 68, no. 2, pp. 601-622, 2020.
- [21] A. Astorga-Pérez, K. Ulate-Naranjo, and L. Abarca-Guerrero, "Presencia de microplásticos en especies marinas del Parque Nacional Marino las Baulas," *Tecnología en Marcha*, vol. 35, no. 2, pp. 27-38, 2022.
- [22] J. J. López-Marcano, E. A. García Marciano, and I. M. Fermín, "Microplásticos en la sardina *Sardinella aurita* (Teleostei: Clupeidae) en Sucre, Venezuela," *Revista de Biología Tropical*, vol. 71, no. 1, p. e5510, 2023.
- [23] C. D. Argumedo, "Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis* en el río Ranchería, Norte de Colombia," *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, vol. 68, no. 2, pp. 124-136, 2021.
- [24] O. D. Owolabi and O. Awodele, "Heavy metal bioaccumulation in the kidneys of scaly and non-scaly fishes from Epe Lagoon, Nigeria," *UNED Research Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 201-211, 2019.
- [25] L. Lima Corrêa, H. Mota Atayde, S. L. Ferreira Sarrazin, and R. Bezerra de Oliveira, "Mercury concentration in larvae of Eustrongylides sp. (Nematoda: Dioctophymatoidea) from fish of the Brazilian Amazon," *Revista de Biología Tropical*, vol. 71, no. 1, p. e55913, 2023.
- [26] I. A. Pérez-Legaspi, M. Garatachia-Vargas, A. M. García-Villar, and I. Rubio-Franchini, "Evaluación de la sensibilidad del Cladócero tropical *Ceriodaphnia cornuta* a metales pesados," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 33, no. 1, pp. 49-56, 2017.
- [27] O. P. Ghiglione, M. del C. Martínez, N. R. Verrengia Guerrero, and A. C. Cochón, "Comparative study of bioconcentration potential and biomarkers in *Biomphalaria glabrata* exposed to ZnO nanoparticles and bulk ZnO," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 40, pp. 403-413, 2024.
- [28] C. V. Garza-León et al., "Efectos diferenciales en la toxicidad y bioconcentración de Cromo hexavalente y trivalente en el rotífero *Lecane papuana* (Murray, 1913) (Monogononta: Lecanidae): Efectos diferenciales del cromo en el rotífero *Lecane papuana*," *HIDROBIOLÓGICA*, vol. 33, no. 3, pp. 329-338, 2023.
- [29] N. C. Benítez-Fernández, I. A. Pérez-Legaspi, and I. Rubio-Franchini, "Transfer of lead through different trophic levels: Microalgae (*Nannochloropsis oculata*), rotifer (*Brachionus plicatilis*), and prawn (*Macrobrachium rosenbergii*)," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 39, pp. 405-416, 2023.

- [30] J. A. Barrera H., A. J. Espinosa R., and J. P. Álvarez S., "Contaminación en el Lago de Tota, Colombia: toxicidad aguda en *Daphnia magna* (Cladocera: Daphniidae) e *Hydra attenuata* (Hydroida: Hydridae)," *Revista de Biología Tropical*, vol. 67, no. 1, pp. 11–23, 2019.
- [31] D. Gil Díaz, G. Navarrete Rodríguez, M. del R. Castañeda Chávez, I. Galaviz Villa, and C. A. Sosa Villalobos, "Toxicidad aguda del herbicida Paraquat en *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) y *Macrobrachium olfersii* (Palaemonidae)," *Acta Biológica Colombiana*, vol. 26, no. 2, pp. 178–185, 2021.
- [32] M. Seijo Wals et al., "Evaluación toxicológica del bioproducto IHPLUS® activado en larvas de *Artemia* sp.," *Revista de Producción Animal*, vol. 36, no. 1, 2024.
- [33] C. A. Garita-Alvarado, M. P. Bermúdez-González, M. G. Bojorge-García, and E. A. Cantoral Uriza, "Cyanotoxins bioaccumulation by fish in an anthropized reservoir in central Mexico," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 40, pp. 215–230, 2024.
- [34] Grupo Banco Mundial, "Brasil, Colombia y Perú, entre los países que más agua tienen en el mundo," 2015. [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/03/10/brasil-colombia-peru-paises-mas-agua-tienen-en-el-mundo>
- [35] A. Ronco, C. M. Díaz Báez, and Y. Pica Granados, "Conceptos generales," in *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*, G. Castillo Morales, Ed. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, 2004, pp. 17–22. [Online]. Available: <https://idrc-rd.ca/sites/default/files/openebooks/147-7/index.html>
- [36] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, "Metales pesados," [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.html
- [37] R. González Forero, "Status of soil pollution in Latin America and the Caribbean," in *Global assessment of soil pollution: Report*, FAO & UNEP, Eds. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4060/cb4894en>
- [38] AQUAE fundación, "Los 8 principales contaminantes del agua," 2021. [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-residuos-que-mas-contaminan-el-agua/>