

Biotempo (Lima)



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

FOURTH DIMENSION DURING THE USE OF THE BIOECOTOXIMONITOR IN AQUATIC ECOTOXICOLOGY


CUARTA DIMENSIÓN DURANTE EL USO DEL BIOECOTOXIMONITOR EN ECOTOXICOLOGÍA ACUÁTICA

George Argota-Pérez^{1,2*}

¹ Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Ica, Perú. george.argota@gmail.com

² Grupo de investigación One Health-Uni Salud, Universidad Ricardo Palma, Lima.

* Corresponding author: george.argota@gmail.com

George Argota-Pérez:  <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

ABSTRACT

The objective of the study was to describe the fourth dimension in the use of bioecotoxic monitors in aquatic ecotoxicology. Between January and June 2024, a methodology was designed that integrated four dimensions into the analysis: three spatial (length, width, and depth) and one temporal (time), to assess the effects of pollutants on aquatic ecosystems. The results showed that each dimension, by considering the distribution of pollutants and their effects at different depths and over time, provides a detailed and holistic view of environmental health. The spatial dimension allows for the identification of critical contamination hotspots, while the temporal dimension offers insight into seasonal variability and long-term trends. The discussion highlighted that the combination of spatial and temporal dimensions is crucial for a comprehensive evaluation, enabling the detection of seasonal patterns and differences in acute and chronic toxicity. However, the lack of extended monitoring limits the complete identification of these patterns. It is concluded that the integration of these dimensions significantly enhances the capability of bioecotoxic monitors to provide a precise and dynamic assessment of aquatic ecosystems, facilitating more effective environmental management strategies.

Keywords: aquatic ecotoxicology – bioecotoximonitor – dimension – space – time

RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir la cuarta dimensión en el uso del bioecotoximonitor en ecotoxicología acuática. Entre enero y junio de 2024, se diseñó un protocolo que integró cuatro dimensiones en el análisis: tres espaciales (largo, ancho y profundidad) y una temporal (tiempo), para evaluar los efectos de los contaminantes en los ecosistemas acuáticos. Los resultados mostraron que cada dimensión, al considerar la distribución de contaminantes y sus efectos en diferentes profundidades y a lo largo del tiempo, proporciona una visión detallada y holística de la salud ambiental. La dimensión espacial permite identificar focos críticos de contaminación, mientras que la temporal ofrece perspectiva



sobre la variabilidad estacional y las tendencias a largo plazo. La discusión destacó que la combinación de dimensiones espaciales y temporales es crucial para una evaluación exhaustiva, permitiendo detectar patrones estacionales y diferencias en la toxicidad aguda y crónica. Sin embargo, la falta de monitoreo prolongado limita la identificación completa de estos patrones. Se concluye que, la integración de estas dimensiones mejora significativamente la capacidad de los bioecotoximonitores para ofrecer una evaluación precisa y dinámica de los ecosistemas acuáticos, facilitando estrategias de gestión ambiental más efectivas.

Palabras clave: bioecotoximonitor – dimensión – espacio – ecotoxicidad acuática – tiempo

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, la humanidad busca comprender su entorno mediante la observación, experimentación y la formulación de teorías, métodos que son fundamentales para adquirir conocimiento (Bartlett *et al.*, 2023). En el ámbito de la ecotoxicología acuática, estas mismas metodologías evolucionan para abordar la complejidad de los ecosistemas acuáticos, donde los programas de bioevaluación son herramientas clave para la predicción temprana del estado ambiental de estos sistemas (Alssgeer *et al.*, 2022; Argota *et al.*, 2023a; Orton *et al.*, 2023). Cuando se utilizan organismos propios que habitan en los ambientes naturales, entonces existe una contribución adecuada para interpretar las condiciones de equilibrio ecológico (Marin *et al.*, 2023; Nunes *et al.*, 2023).

La ecotoxicología acuática reconoce desde hace tiempo que diversas variables, como la temperatura del agua, la densidad poblacional, la disponibilidad alimentaria, la presencia de depredadores y el nivel de contaminación, influyen en la dinámica de los organismos naturales, como por ejemplo en los peces (Hertika *et al.*, 2022; Eguiraun & Martínez, 2023). La interpretación de estas variables es un proceso complejo, que rara vez puede ser abordado de manera exhaustiva mediante métodos tradicionales. En este contexto, el uso del bioecotoximonitor surge como una herramienta avanzada que facilita una evaluación analítica cualitativa y cuantitativa del estado de conservación de los ecosistemas acuáticos (Argota, 2023). La incorporación de la “cuarta dimensión”, que considera el tiempo además de las dimensiones espaciales, añade una capa de análisis crucial para comprender cómo los efectos de los contaminantes varían no solo en el espacio, sino también en el tiempo, afectando la precisión y eficacia de las evaluaciones ecotoxicológicas (Chuiko *et al.*, 2022; Schoenfuss & Kolok, 2023).

A pesar de los avances en la formación conceptualizada sobre qué es un bioecotoximonitor (Argota *et al.*, 2023b;

Argota *et al.*, 2023c; Argota *et al.*, 2023d; Argota *et al.*, 2023e; Argota, 2024), aún persisten grandes desafíos en su aplicación práctica. La falta de validación empírica y la complejidad inherente a los factores ambientales involucrados plantean interrogantes sobre la capacidad de estos monitores para proporcionar una evaluación realista del estado de los ecosistemas acuáticos. Las variables temporales, como la variabilidad estacional y la evolución de las comunidades biológicas, complican aún más este escenario. Además, la necesidad de monitoreo continuo o en diferentes intervalos temporales resalta las limitaciones de los enfoques actuales, que a menudo no distinguen adecuadamente entre los efectos agudos y crónicos de los contaminantes, lo que podría conducir a una interpretación errónea de la salud ambiental y, en última instancia, a decisiones de gestión subóptimas (Welker, 2017).

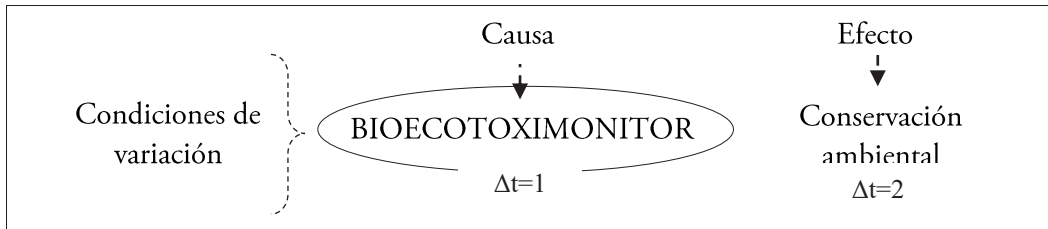
Incorporar la cuarta dimensión en el uso de bioecotoximonitores representa un avance significativo en la ecotoxicología acuática, al permitir un análisis más dinámico y preciso de los impactos de los contaminantes. Este enfoque holístico no solo mejora la capacidad de los bioecotoximonitores para reflejar con mayor fidelidad la realidad ecológica, sino que también fortalece la base científica necesaria para la gestión y protección ambiental. Como cualquier herramienta metodológica avanzada, el bioecotoximonitor ofrece un enfoque más robusto y multidimensional, facilitando la implementación de medidas de mitigación que se adapten a la complejidad dinámica de los ecosistemas acuáticos (Kahl & Kschischo, 2021; Ogidi *et al.*, 2024). La comprensión de estas dimensiones espacio-temporales es crucial para promover una educación y concienciación continua en la gestión ambiental, que reconozca y mitigue las limitaciones inherentes a su uso, contribuyendo a una comprensión más completa de la dinámica ecológica y la calidad del agua (Cao *et al.*, 2024).

El objetivo del estudio fue describir la cuarta dimensión durante el uso del bioecotoximonitor en ecotoxicología acuática.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre enero y junio de 2024, considerando como premisa para el diseño metodológico que el bioecotoximonitor no es solo un argumento en la bioevaluación, sino una regla, ya sea desde una

perspectiva monista, pluralista o instrumentalista. Por tanto, se considera crucial para interpretar los efectos de los contaminantes en los ecosistemas acuáticos, ya sea desde una visión unificada, múltiple o práctica, asegurando así una evaluación exhaustiva y rigurosa del impacto ambiental (Figura 1).



Fuente: Argota *et al.* (2023c).

Figura 1. Teorización causal de los bioecotoximonitores en ecotoxicología acuática.

Se propone cuatro dimensiones fundamentales en el análisis ecotoxicológico acuático: tres dimensiones espaciales (largo, ancho y profundidad) y una cuarta dimensión temporal (tiempo). Estas dimensiones son esenciales para comprender la complejidad y variabilidad de los efectos

de los contaminantes en los ecosistemas acuáticos. Cada tipo de dimensión muestra su descripción para la aplicación del bioecotoximonitor y su interpretación en el ecosistema acuático (Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones fundamentales para la aplicación del bioecotoximonitor en ecotoxicología acuática.

Dimensión	Tipo	Descripción	Aplicación del bioecotoximonitor	Interpretación
Espacial	Largo	Análisis a lo largo de un gradiente longitudinal del río, desde el origen hasta la desembocadura		
	Ancho	Análisis de variaciones a lo largo del ancho del río, incluyendo márgenes y centro del río		
	Profundidad	Análisis de la distribución de contaminantes a diferentes profundidades (superficie, media profundidad, fondo)		
Temporal	Tiempo	Monitoreo temporal para evaluar la variabilidad de los contaminantes y sus efectos en diferentes estaciones del año		

Aspectos éticos: el uso correcto del parafraseo correspondió al análisis de la información científica para sustentar la mejora sobre el paradigma conceptual del bioecotoximonitor en los estudios de ecotoxicología acuática. Además, de justificar como derecho nuevas formas teóricas del concepto, igualmente existe el deber,

de reconocer su limitación en práctica social desde un programa de análisis y vigilancia ambiental mediante la bioevaluación.

RESULTADOS

La dimensión, descripción, aplicación del bioecotoxímonitor e interpretación, se consideraron para proporcionar una comprensión completa y detallada de cómo se evalúan los contaminantes en un ecosistema acuático. Cada componente cumple una función específica para abordar diferentes aspectos del análisis ecotoxicológico. Por ejemplo, la dimensión define los aspectos específicos del análisis ecotoxicológico, distinguiendo (importancia) el marco dentro del cual se realiza la evaluación, diferenciando entre dimensiones espaciales (largo, ancho, profundidad) y la dimensión temporal (tiempo). Esta categorización es crucial para estructurar el estudio y entender cómo cada aspecto del ecosistema afecta la distribución y el impacto de los contaminantes.

La descripción proporciona una explicación detallada de cada dimensión, ofreciendo una visión clara de qué se está evaluando y cómo se estructura el análisis dentro de cada categoría. Esta información es vital para establecer el contexto y la relevancia de cada aspecto evaluado, facilitando la comprensión de cómo los contaminantes se distribuyen y afectan el ecosistema. En el caso de la aplicación del bioecotoxímonitor detalla cómo se utilizan estos organismos indicadores en cada dimensión del estudio. Este enfoque muestra el papel práctico y funcional del bioecotoxímonitor, describiendo cómo se emplea para recoger datos y evaluar los efectos de los contaminantes en diferentes aspectos del ecosistema acuático. Esto destaca la importancia del bioecotoxímonitor en la monitorización y análisis de la salud del ecosistema.

Finalmente, la interpretación ofrece un análisis más profundo sobre lo que significa cada dimensión en el contexto del estudio. Su importancia ayuda a entender las implicaciones de las variaciones observadas, proporcionando un contexto adicional sobre cómo las diferencias en largo, ancho, profundidad y tiempo afectan la bioacumulación de contaminantes y la salud del ecosistema. La interpretación es esencial para extraer conclusiones significativas y formular recomendaciones basadas en el análisis de los datos recopilados.

La Tabla 2 muestra un análisis detallado de la aplicación del bioecotoxímonitor en ecotoxicología acuática, considerando las tres dimensiones espaciales y la dimensión temporal. Cada dimensión (largo, ancho, profundidad y tiempo), se aborda con precisión, proporcionando una visión integral de cómo los contaminantes afectan el ecosistema acuático y cómo el bioecotoxímonitor puede ser utilizado para evaluar estos impactos. La dimensión espacial destaca cómo el análisis

a lo largo, ancho y profundidad del ecosistema acuático revela la distribución y acumulación de contaminantes en diferentes áreas. Este enfoque espacial es esencial para identificar zonas críticas de contaminación y entender las variaciones locales en la distribución de contaminantes. La aplicación del bioecotoxímonitor en estas dimensiones permite detectar focos de contaminación y evaluar cómo las características físicas del ecosistema influyen en la bioacumulación.

En el caso de la dimensión temporal señala que el monitoreo a lo largo del tiempo ofrece una perspectiva adicional sobre la variabilidad y evolución de la toxicidad de los contaminantes. Evaluar los cambios en la bioacumulación y los efectos tóxicos en diferentes estaciones del año ayuda a distinguir entre impactos agudos y crónicos, así como a identificar patrones estacionales en la toxicidad. Esta dimensión temporal es crucial para comprender cómo los efectos de los contaminantes se desarrollan y cambian, proporcionando información valiosa para la gestión ambiental y la planificación a largo plazo.

DISCUSIÓN

La descripción sobre la cuarta dimensión durante el uso del bioecotoxímonitor en ecotoxicología acuática ofrece un análisis integral de la aplicación con el concepto del bioecotoxímonitor mediante una evaluación multidimensional de la contaminación. Sin embargo, para garantizar la validez, a partir de entender una conclusión utilitaria para la bioevaluación, es necesario adoptar un enfoque crítico tanto interno como externo. Internamente, es fundamental que los métodos utilizados para medir las dimensiones espaciales (largo, ancho, profundidad) y temporales sean rigurosos y consistentes. La validez y precisión de los datos deben ser verificadas para evitar sesgos que puedan comprometer la interpretación. La metodología del bioecotoxímonitor debe aplicarse de manera coherente para asegurar que refleje adecuadamente la dinámica de los contaminantes en el ecosistema (Brooks *et al.*, 2019; Waclawek *et al.*, 2022).

Desde una perspectiva externa, los resultados deben contextualizarse dentro del marco más amplio de la ecotoxicología acuática. Es crucial evaluar cómo estos hallazgos se integran con investigaciones previas y cómo contribuyen al conocimiento general sobre la toxicidad acuática. Además, la interpretación debe considerar factores externos como las condiciones estacionarias, las prácticas de manejo y conservación del ecosistema y las políticas de regulaciones ambientales, principalmente

Tabla 2. Interpretación sobre la aplicación del bioecotoximonitor, a partir de la descripción sobre las dimensiones en ecotoxicología acuática.

Dimensión	Tipo	Descripción	Aplicación del bioecotoximonitor	Interpretación
Espacial	Largo	Análisis a lo largo de un gradiente. Por ejemplo, longitudinal del río, desde el origen hasta la desembocadura	Evaluación de la acumulación de contaminantes en biomonitores a lo largo del río, identificando puntos críticos de contaminación	El largo permite detectar cómo los contaminantes se desplazan y se acumulan a lo largo del ecosistema, revelando tendencias y focos de contaminación a medida que se avanza desde las fuentes de agua hacia su desembocadura
	Ancho	Análisis de variaciones a lo largo del ancho del río, incluyendo márgenes y centro del río	Comparación de los niveles de contaminantes en biomonitores ubicados en diferentes puntos a lo ancho del río (márgenes y centro)	Esta dimensión muestra cómo los contaminantes pueden distribuirse de manera desigual entre las áreas centrales y periféricas del río, influenciados por corrientes, vegetación ribereña y otras características locales
	Profundidad	Análisis de la distribución de contaminantes a diferentes profundidades (superficie, media profundidad, fondo)	Evaluación de cómo los biomonitores en diferentes profundidades acumulan contaminantes, reflejando variaciones en las condiciones ambientales (como oxígeno y luz)	La profundidad ofrece una visión del impacto de los contaminantes en diferentes estratos del ecosistema acuático, donde las condiciones físicas y químicas cambian, afectando la bioacumulación de manera diferenciada
Temporal	Tiempo	Monitoreo temporal para evaluar la variabilidad de los contaminantes y sus efectos en diferentes estaciones del año	Monitoreo de cambios en la bioacumulación y efectos tóxicos en biomonitores a lo largo del tiempo, identificando patrones estacionales o a largo plazo de toxicidad	El tiempo permite comprender cómo los efectos de los contaminantes se desarrollan y cambian, ofreciendo una perspectiva crucial sobre la toxicidad aguda versus crónica y los impactos estacionales en el ecosistema

locales, que pueden influir en la distribución y efectos de los contaminantes. Este enfoque asegura que los resultados no solo sean válidos dentro del estudio, sino que también sean relevantes para la gestión protectora de los ecosistemas acuáticos en un contexto más amplio (Abatan *et al.*, 2024).

La dimensión temporal y la dimensión espacial representan enfoques distintos, pero complementarios en la ecotoxicología acuática. La dimensión espacial se enfoca en el análisis de cómo los contaminantes se distribuyen en diferentes áreas y profundidades del ecosistema acuático. Esto

incluye el análisis desde lo largo, ancho y profundidad del hábitat, permitiendo identificar variaciones geográficas en la concentración y el impacto de los contaminantes. En contraste, la dimensión temporal se centra en el análisis de cómo los efectos de los contaminantes cambian a lo largo del tiempo (Yuanyi *et al.*, 2019; Dongshao *et al.*, 2024). Esto implica evaluar cómo la toxicidad y la bioacumulación evolucionan debido a factores estacionales, la degradación de contaminantes y cambios en el ecosistema a través de distintos períodos.

La importancia de considerar la dimensión temporal radica en la variabilidad de los efectos de los contaminantes

que no siempre se manifiestan de manera uniforme. Los contaminantes pueden tener efectos diferentes en distintas estaciones del año, y su toxicidad puede variar con el tiempo debido a cambios en las condiciones ambientales y biológicas. Sin un análisis temporal, se corre el riesgo de pasar por alto patrones estacionales y tendencias a largo plazo en la toxicidad de los contaminantes, así como la diferencia entre efectos agudos y crónicos (Comber *et al.*, 2020; Adnan *et al.*, 2021). La toxicidad aguda puede ser evidente a corto plazo, mientras que los efectos crónicos pueden acumularse y manifestarse lentamente, requiriendo un monitoreo prolongado para su detección.

La falta de inclusión de la dimensión temporal en la evaluación puede tener implicaciones significativas para la comprensión y gestión del impacto de los contaminantes. Sin un monitoreo a largo plazo, es difícil identificar cómo las concentraciones de contaminantes y sus efectos varían con el tiempo, lo que limita la capacidad para desarrollar estrategias de gestión ambiental efectivas (Bushra *et al.*, 2023). Además, no evaluar las variaciones temporales puede resultar en una comprensión incompleta de la dinámica de los contaminantes y sus impactos en el ecosistema acuático, afectando la capacidad de implementar medidas de mitigación adecuadas y oportunas (Morón, 2021; Nakoh & Enright, 2023).

La dimensión temporal añade una capa crucial de análisis que complementa la perspectiva espacial, proporcionando una visión más completa de cómo los contaminantes afectan a los ecosistemas acuáticos. Incluir tanto las dimensiones espaciales como temporales en la evaluación permite una comprensión más robusta de la distribución y el impacto de los contaminantes, facilitando una gestión ambiental más efectiva y basada en datos extensivos (Bushra *et al.*, 2023; Tosadori *et al.*, 2024).

La principal limitación del estudio obedece a la falta de monitoreo a largo plazo desde la identificación de una especie como bioecotoximonitor, lo que impide una evaluación exhaustiva de cómo las concentraciones y efectos de los contaminantes varían temporalmente, limitando la identificación de patrones estacionales y tendencias prolongadas.

Se concluye que, la integración de dimensiones espaciales y temporales desde la bioevaluación teórica con un bioecotoximonitor en ecotoxicología acuática es fundamental para una evaluación completa. La dimensión espacial permite identificar la distribución y acumulación de contaminantes en el ecosistema, mientras que la dimensión temporal ofrece perspectiva sobre cómo estos efectos cambian con el tiempo. Esta combinación

proporciona una visión más holística de la toxicidad y bioacumulación de contaminantes, mejorando la capacidad para desarrollar estrategias de gestión ambiental más efectivas y fundamentadas en datos extensivos. Sin un enfoque temporal, se corre el riesgo de pasar por alto patrones críticos y tendencias a largo plazo que son esenciales para una comprensión completa y una respuesta adecuada.

Author contribution: CRediT (*Contributor Roles Taxonomy*)

GAP = George Argota-Pérez

Conceptualization: GAP

Data curation: GAP

Formal Analysis: GAP

Funding acquisition: GAP

Investigation: GAP

Methodology: GAP

Project administration: GAP

Resources: GAP

Software: GAP

Supervision: GAP

Validation: GAP

Visualization: GAP

Writing – original draft: GAP

Writing – review & editing: GAP

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatan A., Obaigbena, A., Ugwuanyi, E.D., Jacks, B.S., Uchenna, J.U., Daraojimba, O.H., & Lottu, O.A. (2024). Integrated simulation frameworks for assessing the environmental impact of chemical pollutants in aquatic systems. *Engineering Science & Technology Journal*, 5, 543-554.
- Adnan, N.A., Halmi, M.I.E., Abd Gani, S.S., Zaidan, U.H., & Abd-Shukor, M.Y. (2021). Comparison of joint effect of acute and chronic toxicity for combined assessment of heavy metals on photobacterium sp.NAA-MIE. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 6644.
- Alssgeer, H.M.A., Amri K.M.K., Samah, M.A.A., Toriman, M.E., Barzani, G.M., Hanafiah, M.M., Alubyad, L.O.M., Saudi, A.S.M., Maulud, K.N., Wahab, N.A., Bati, S.N.A., & Erhayem, M. (2022). Spatial and temporal variations of

- river water quality using multivariate statistical techniques. *Desalination and Water Treatment*, 269, 106-122.
- Argota, P.G. (2023). Necesidad social de protocolos ambientales con peces como biomonitores de metales pesados en ecotoxicología acuática. *Neotropical Helminthology*, 17, 85-89.
- Argota, P.G. (2024). Semántica en la interpretación fáctica sobre el concepto de verdad aproximada del bioecotoximonitor. *Neotropical Helminthology*, 18, 19-24.
- Argota, P.G., Rodríguez, S.M.A., & Iannacone, J. (2023a). Causalidad de los bioecotoximonitores: perspectivas en ecotoxicología acuática. En: *Causalidad y lógica de los bioecotoximonitores: perspectivas en ecotoxicología acuática*. pp. 6
- Argota, P.G., Rodríguez, S.M.A., & Iannacone, J. (2023b). Paradigma de transformación de los biomonitores a la calidad de bioecotoximonitores en ecotoxicología acuática. *The Biologist (Lima)*, 21, 195-201.
- Argota, P.G., Iannacone, J., & Rodríguez, S.M.A. (2023c). Metafísica en la teorización lógica del concepto bioecotoximonitor: reflexiones. *Neotropical Helminthology*, 17, 259-264.
- Argota, P.G., Rodríguez, S.M.A., & Iannacone, J. (2023d). Teleología de los bioecotoximonitores en ecotoxicología acuática. *Neotropical Helminthology*, 17, 271-275.
- Argota, P.G., Rodríguez, S.M.A., & Iannacone, J. (2023e). Teleología crítica epistemológica de los bioecotoximonitores en ecotoxicología acuática. *Biotempo*, 21, 105-109.
- Bartlett, L.K., Pirrone, A., Javed, N., & Gobet, F. (2023). Computational scientific discovery in psychology. *Perspectives on Psychological Science*, 18, 178-189.
- Brooks, A.C., Foudoulakis, M., Schuster, H.S., & Wheeler, J.R. (2019). Historical control data for the interpretation of ecotoxicity data: are we missing a trick? *Ecotoxicology*, 28, 1198-1209.
- Bushra, B., Bazneh, L., Deka, L., Wood, P.J., McGowan, S., & Das, D. (2023). Temporal modelling of long-term heavy metal concentrations in aquatic ecosystems. *Journal of Hydroinformatics*, 25, 1188-1209.
- Cao, Z., Wu, M., Wang, D., Wan, B., Jiang, H., Tan, X., & Zhang, Q. (2024). Space-time cube uncovers spatiotemporal patterns of basin ecological quality and their relationship with water eutrophication. *Science of The Total Environment*, 916, 170195.
- Chuiko, G.M., Tomilina, I.I., & Kholmogorova, N.V. (2022). Methods of biodiagnostics in aquatic ecotoxicology. *Toxicological Review*, 30, 315-322.
- Comber, S.D.W., Gardner, M.J., & Ellor, B. (2020). Seasonal variation of contaminant concentrations in wastewater treatment works effluents and river waters. *Environmental Technology*, 41, 2716-2730.
- Dongshao, W., Min, C., Wei, G., Guowei, C., Zhongzhao, D., Hou, X., & Zhang, Y. (2024). Spatial-temporal source apportionment of nitrogen and phosphorus in a high-flow variable river. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101839.
- Eguiraun, H., & Martinez, I. (2023). Non-linear analyses of fish behaviours in response to aquatic environmental pollutants-A review. *Fishes*, 8, 311.
- Hertika, A.M.S., Arfiati, D., Lusiana, E.D., & Putra, R.B.D.S. (2022). Effect of environmental factors on blood counts of *Gambusia affinis* caught at Brantas River watershed, Indonesia. *F1000Research*, 10, 1169.
- Kahl, D., & Kschischo, M. (2021). Searching for errors in models of complex dynamic systems. *Frontiers Physiology*, 11, 612590.
- Marin, V., Arranz, I., Grenouillet, G., & Chucherosset, J. (2023). Fish size spectrum as a complementary biomonitoring approach of freshwater ecosystems. *Ecological Indicator*, 146, 1-8.
- Morón, L.J. (2021). A holistic water monitoring approach for an effective ecosystem management. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 21, 549-554.
- Nakoh, E., & Enright, E. (2023). *In situ* sensor-based monitoring strategies for biogeochemical reactions in mine tailings environments. *ARPHA Conference*, 6, 108130.
- Nunes, L.S., Lund, A.L., & Guiarizzo, T. (2023). A multi-tissues comparison of biomarkers in *Serrasalmus rhombeus* (Teleostei: Serrasalminidae) and *Prochilodus nigricans* (Teleostei: Prochilodontidae) from two Amazonian rivers with distinct levels of pollution. *Ecological Indicator*, 147, 1-11.

- Ogidi, O.I., Onwuagba, C.G., & Richard, N.N. (2024). Biomonitoring tools, techniques and approaches for environmental assessments. In: Izah, S.C., Ogwu, M.C., Hamidifar, H. (eds). *Biomonitoring of Pollutants in the Global South*. Springer.
- Orton, F., Rhodes, B.R., Whatley, C., & Tyler, C.R. (2023). A review of non-destructive biomonitoring techniques to assess the impacts of pollution on reproductive health in frogs and toads. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262, 115163.
- Schoenfuss, H.L., & Kolok, A.S. (2023). An ecotoxicologically relevant approach to water quality monitoring for contaminants of emerging concern. *Frontier in Water*, 5, 1-6.
- Tosadori, A., Di, G.A., & Finizio, A. (2024). Spatial distributions and temporal trends (2009-2020) of chemical mixtures in streams and rivers across Lombardy region (Italy). *Science of The Total Environment*, 919, 170839.
- Wacławek, M., Świsłowski, P., & Rajfur, M. (2022). The biological monitoring as a source of information on environmental pollution with heavy metals. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology*, 27, 53-78.
- Welker, R.W. (2017). Justifying a continuous monitoring system. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 13, 286-304.
- Yuanyi, H., Beihai, Z., Nan, L., Yumeng, L., Ruru, H., Jianchuan, Q., Xiaohui, L., Shuo, L., Cuiyang, F., & Sai, L. (2019). Spatial-temporal analysis of selected industrial aquatic heavy metal pollution in China. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117944.

Received August 29, 2024.

Accepted November 30, 2024.