


**COMENTARY / COMENTARIO****SOCIAL NEED FOR ENVIRONMENTAL PROTOCOLS WITH FISH REGARDING BIO-MONITORS OF HEAVY METALS IN AQUATIC ECOTOXICOLOGY****NECESIDAD SOCIAL DE PROTOCOLOS AMBIENTALES CON PECES COMO BIO-MONITORES DE METALES PESADOS EN ECOTOXICOLOGÍA ACUÁTICA****George Argota-Pérez^{1,2*}**

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

² Grupo de Investigación "One-Health-Una Salud". Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú.

* Corresponding author: george.argota@gmail.com

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

ABSTRACT

The purpose of the study was to describe the social need for environmental protocols with fish as bio-monitors of heavy metals in aquatic ecotoxicology. It is considered that the regulatory standards for environmental pollution do not allow the analysis of the effects of heavy metals on aquatic biota. Because of this limitation, it is recognized that some organisms such as fish are used as bio-monitors, as they contribute to evaluating the anthropogenic damages generated in the aquatic ecosystem. Despite the advantages of bio-monitors, the regulatory standards still do not consider comparative patterns of the bio-accumulation potential of heavy metals in fish as a bio-monitoring organism. Any bio-monitoring with fish, being a scientifically based system, will allow environmental monitoring to preserve the sustainability of aquatic ecosystems.

Keywords: aquatic biota – environmental protocol – environmental regulation – fish – heavy metals

RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir la necesidad social de protocolos ambientales con peces como bio-monitores de metales pesados en ecotoxicología acuática. Se considera que las normas reguladoras de la contaminación ambiental no permiten analizar los efectos de los metales pesados sobre la biota acuática. Ante esta limitación, se reconoce que algunos organismos como los peces se utilizan en su condición de bio-monitor, pues contribuyen a evaluar los daños antropogénicos generados en el ecosistema acuático. A pesar, de las ventajas de los bio-monitores, todavía las normas de regulación

Este artículo es publicado por la revista *Neotropical Helminthology* de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú auspiciado por la Asociación Peruana de Helmintología e Invertebrados Afines (APHIA). Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.



DOI: <https://dx.doi.org/10.24039/rnh20231711572>

no consideran patrones comparativos del potencial de bioacumulación de metales pesados en los peces como organismo bio-monitor. Todo bio-monitoreo con peces al ser un sistema con base científica permitirá la vigilancia ambiental para conservar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: biota acuática – metales pesados – regulación ambiental – peces – protocolo ambiental

El crecimiento poblacional para el progreso económico ejerce una mayor presión sobre las demandas de los recursos hídricos locales y esta acción genera estrés ambiental y ecológico sobre la salud de los ecosistemas (Kumar *et al.*, 2020; Ramírez *et al.*, 2020; Carere *et al.*, 2021). Varios contaminantes que se vierten en el medio acuático, causan graves efectos biológicos y ambientales (Bai *et al.*, 2021). Entre los contaminantes se encuentran los metales pesados (MP). La contaminación por MP en los ecosistemas acuáticos es una preocupación ambiental debido a los efectos de toxicidad que provocan en la biota acuática (Sarkar *et al.*, 2016; Mahmuda *et al.*, 2020; Shahjahan *et al.*, 2019, 2021). Cuando los MP están presente en el medio acuático se compromete la supervivencia porque influyen de manera negativa en la fisiología de los peces (Islam *et al.*, 2020; Suchana *et al.*, 2021), ocurren deficiencias histopatológicas en las branquias, alteraciones del sistema digestivo, daños hepáticos y musculares (Monteiro *et al.*, 2013; Abdel *et al.*, 2020).

Los MP son contaminantes muy preocupantes para la comunidad científica internacional (Ali *et al.*, 2019), e incluso a nivel de trazas causan significación biológica adversas (Moiseenko & Gashkina, 2020). Según, el registro de funciones biológicas los MP se clasifican en dos grupos: esenciales y no esenciales. Por ejemplo, en el primer grupo se encuentran el Cu, Zn, Fe, Cr, Co, Ni, Fe, mientras que, en el segundo, están el Cd, Al, Pb, Sn y Hg. En ambos casos cuando sus concentraciones superan el límite permisible, entonces aumenta la toxicidad (Saffari *et al.*, 2018; Akter *et al.*, 2021; Ghazi *et al.*, 2021).

Al acumularse y concentrarse en los tejidos de los organismos acuáticos supone un riesgo a la salud humana cuando se consume el pescado (Fernandes *et al.*, 2008; Ezemonye *et al.*, 2019; Sarkar *et al.*, 2021), y este alimento está considerado como uno de los productos más demandado para la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo (FAO, 2014, 2020).

Múltiples factores influyen en la biodisponibilidad y absorción de los MP por los peces. Entre ellos destacan

la concentración, interacciones con otros MP, las propiedades físico-químicas de la matriz receptora, edad y condiciones del desarrollo biológico, cinética de desintoxicación, los regímenes alimentarios y las condiciones del metabolismo. La toxicidad de los MP en los peces varía de acuerdo a los cambios fisiológicos y bioquímicos que suceden a nivel molecular y celular (Khalesi *et al.*, 2017; Phoonaploy *et al.*, 2019).

En la actualidad, sigue siendo muy compleja la analítica sobre las biotransformaciones que muestran los MP en la biota (Ng *et al.*, 2019; Handy *et al.*, 2022), aunque se labora en la evaluación potencial de bioacumulación desde un nuevo documento orientativo por la Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo: OECD (Rasmussen *et al.*, 2019).

Por otra parte, una de las principales limitaciones en las evaluaciones ambientales de los ambientes acuáticos ante la exposición a MP es la comparación con los límites máximos permisibles que dicta determinada norma de regulación siendo una dificultad conocer, los posibles efectos e impactos que ocasionan en la biota y sus transferencias a otras matrices incluyendo la salud humana (Argota & Iannacone, 2014; Argota & González, 2018). Asimismo, los MP son de naturaleza estable, poca biodegradabilidad, alta persistencia y cuando existen exposiciones prolongadas pueden acumularse muy rápidamente en los tejidos de los organismos vivos (Adel *et al.*, 2016; Shahsavani *et al.*, 2017; Fakhri *et al.*, 2018).

Ante estas características mencionadas se necesita considerar, que las normas oficiales de control ambiental incorporen análisis con bio-monitores donde se permita la comparación, regulación y/o vigilancia ambiental para la adecuada toma de decisiones. Las determinaciones de parámetros físico-químicos de calidad ambiental que de manera común se realizan, solo puede entenderse para la gestión del agua, según el uso, extracción, disposición, consecuencias de las infraestructuras y el funcionamiento tecnológico (Bawa *et al.*, 2018, Ramírez *et al.*, 2020).

Cualquier, parámetro físico-químico es muy variable en el tiempo e impide todo reconocimiento de las implicaciones en el medio acuático (Argota *et al.*, 2015, Kumari & Maiti, 2019). Es decir, los parámetros físico-químicos y su combinación con las concentraciones de contaminantes significan una información insuficiente para la descripción de la biodisponibilidad, ecotoxicidad y los efectos biológicos que se inducen en los organismos (Van der Oost *et al.*, 1996). Por tanto, se requiere un enfoque integrado multidisciplinar en las evaluaciones ambientales y la aplicación de programas sustentados en el bio-monitoreo es una excelente decisión (Kannel *et al.*, 2007; Bebianno *et al.*, 2015).

El bio-monitoreo representa el uso de las propiedades de un organismo o parte de este para registrar y evaluar ciertas características del ambiente donde se desarrolla. No solo los bio-monitores identifican las características sobre los nichos donde habitan, sino que proveen información cuantitativa y/o cualitativa de los cambios ambientales provocados por la actividad antropogénica (Market *et al.*, 2003). Los bio-monitores pueden concentrar contaminantes en proporción a su presencia en el medio ambiente (Rainbow & Phillips, 1993; Conlan, 1994; Tlili & Mouneyrac, 2019). Finalmente, la información en los bio-monitores ante la exposición a MP puede estar asociada a diferentes niveles de la organización biológica como pueden ser: molecular, bioquímico, fisiológico, histológico, morfológico y conductual (Depledge, 1984; Dalzochio *et al.*, 2016). Entre las principales ventajas que muestran los métodos con bio-monitores para el ambiente acuático se encuentran:

- Por lo general, la determinación analítica de los MP refiere a su concentración total y esta información no permite entender, algunos daños en el ecosistema. En consecuencia, medir la concentración de MP en un organismo vivo significa, que el mismo está disponible y este dato resulta más importante que los contenidos totales. Sin embargo, debe mencionarse que no resulta válido las comparaciones de concentraciones absolutas de metales acumulados en los bio-monitores de forma interespecífica, aunque las comparaciones interespecíficas de los órdenes de clasificación admiten correlaciones cruzadas de biodisponibilidades relativas de MP para diferentes bio-monitores en los mismos sitios. Por tanto, hay la necesidad de identificar bio-monitores que sean cosmopolitas generalizados con lo cual, se puedan realizar comparaciones intraespecíficas

de biodisponibilidad entre áreas geográficas (Rainbow, 1995).

- Cuando se analiza la bioacumulación de MP en un bio-monitor durante un periodo de tiempo, entonces este resultado permite ofrecer la temporalidad posible de la biodisponibilidad. Esta información no se tendría cuando se hace un análisis instantáneo en el agua. Es decir, todo bio-monitoreo representa una herramienta de visión histórica de los procesos de contaminación (Truchet *et al.*, 2022).
- Al bioconcentrar MP los bio-monitores, entonces pueden biomagnificar las concentraciones en su hábitat y luego, las determinaciones analíticas serían más simples.
- Los bio-monitores permiten una conceptualización superior como ser bioecotoximonitor. Esto significaría la evaluación analítica asociada con algún organismo cohabitante. Por ejemplo, especies de parásitos en su condición de indicadores de la contaminación dentro del pez.
- Los bio-monitores facilitan cualquier programa de monitoreo ambiental porque siempre están presentes en las zonas de estudio y en algunos casos, no se tendrían que usar tecnologías costosas para la recolección de la información.
- Los bio-monitores garantizan la vigilancia histórica (puede transcurrir por varios años) de los ecosistemas, además que permiten comprobar, si las técnicas de manejo y conservación de los ecosistemas son exitosas.

La principal limitación del estudio fue no considerar una propuesta básica de protocolo ambiental y se recomienda para un comentario posterior. Se concluye, que la exposición a MP en los ecosistemas acuáticos ocasiona preocupación sobre la biota acuática y asociada donde las normas ambientales de regulación, no permiten revelar la calidad del agua desde la toxicidad. Por tal motivo, se realizan pruebas de laboratorio estandarizadas con modelos biológicos sensibles para medir el impacto ambiental y en múltiples ocasiones se combinan con informaciones cuantitativas que posibilitan la evaluación de la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos (Bawa *et al.*, 2018). Sin embargo, debe comprenderse que la mayoría de estos bioensayos tienen como desventaja que no habitan en los ambientes acuáticos donde se pretende la evaluación.

Los MP afectan el desarrollo y crecimiento de los peces (Jahan *et al.*, 2021; Rohani *et al.*, 2022), la reproducción (Ando *et al.*, 2014, 2018), y genética entre otros parámetros de la vida donde el bio-monitoreo como método sencillo, rápido y económico permite valorar el grado de afectación que origina la contaminación antropogénica en el tiempo. Por ejemplo, la *Gambusia punctata* (Poey, 1854), es una especie larrívora que ha sido utilizada aproximadamente, por una década en Cuba para la evaluación ambiental ante la contaminación de MP en el ecosistema acuático San Juan (Santiago de Cuba) y sus posibles efectos en la biología (Argota *et al.*, 2012; Argota *et al.*, 2013; Argota & Iannacone, 2014; Argota *et al.*, 2015; Argota *et al.*, 2016; Argota & Iannacone, 2017; Argota & Gonzáles, 2018; Argota *et al.*, 2019; Argota & Iannacone, 2021), donde en cualquier momento este bio-monitoreo al ser, un sistema de base científica permitirá iniciar acciones de manejo y conservación ambiental (Siddiqui & Saher, 2022).

Author contributions: 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

- Abdel, K.A.A., Badran, S.R., & Marie, M.A.S. (2020). The efficient role of rice husk in reducing the toxicity of iron and aluminum oxides nanoparticles in *Oreochromis niloticus*: hematological, bioaccumulation, and histological endpoints. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-15.
- Adel, M., Conti, G.O., Dadar, M., Mahjoub, M., Copat, C., & Ferrante, M. (2016). Heavy metal concentrations in edible muscle of whitecheek shark, *Carcharhinus dussumieri* (elasmobranchii, chondrichthyes) from the Persian Gulf: a food safety issue. *Food and Chemical Toxicology*, 97, 135-140.
- Akter, S., Jahan, N., Rohani, M.F., Akter, Y., & Shahjahan, M. (2021). Chromium supplementation in diet enhances growth and feed utilization of striped satfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biological Trace Element Research*, 199, 4811-4819.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal Chemistry*, 2019, 1-14.
- Ando, H., Ogawa, S., Shahjahan, M., Ikegami, T., Doi, H., Hattori, A., & Parhar, I. (2014). Diurnal and circadian oscillations in expression of kisspeptin, kisspeptin receptor and gonadotrophin-releasing hormone 2 genes in the grass puffer, a semilunarsynchronised spawner. *Journal Neuroendocrinol*, 26, 459-467.
- Ando, M., Shahjahan, M., & Kitahashi, T. (2018). Periodic regulation of expression of genes for kisspeptin, gonadotropin-inhibitory hormone and their receptors in the grass puffer: implications in seasonal, daily and lunar rhythms of reproduction. *General and Comparative Endocrinology*, 265, 149-153.
- Argota, P.G., & Gonzáles, P.Y. (2018). Contradicción no incorporada en protocolos ambientales sobre monitoreo histórico con biomonitores acuáticos como problema social. *Campus*, 23, 29-38.
- Argota, P.G., & Iannacone, J. (2014). Problemas sociales de la ciencia y su interpretación ambiental cognoscitiva hacia biomonitores en ecotoxicología acuática. *The Biologist (Lima)*, 12, 349-361.
- Argota, P.G., & Iannacone, J. (2017). Predicción cuantitativa mediante biomarcadores de uso permanente como nuevo criterio para biomonitores en ecotoxicología acuática. *The Biologist (Lima)*, 17, 141-153.
- Argota, P.G., Iannacone, J., & Fimia, D.R. (2013). Características de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática en Cuba. *The Biologist (Lima)*, 11, 229-236.

- Argota, P.G., Argota, C.H., & Iannacone, J. (2015). Costo ambiental sostenible relativo a la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba, Cuba. *The Biologist (Lima)*, 14, 219-232.
- Argota, P.G., Argota, C.H., & Iannacone, J. (2016). Exposición bioacumulativa en las especies *Gambusia punctata* y *Gambusia puncticulata* del ecosistema Almendares, La Habana-Cuba. *The Biologist (Lima)*, 14, 339-350.
- Argota, P.G., Iannacone, J., & Fimia, D.R. (2019). Exposición ecotoxicológica al plomo en sedimentos e influencia del factor de bioconcentración ante la variación de la temperatura sobre la actividad acetilcolinesterasa cerebral en la especie *Gambusia punctata*. *The Biologist (Lima)*, 17, 315-325.
- Argota, P.G., González, P.Y., Argota, C.H., Fimia, D.R., & Iannacone, J. (2012). Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. *Revista Electrónica Veterinaria*, 13, 1-12.
- Argota, P.G., & Iannacone, J. (2021). Axiología basada en la experiencia mediante el biorregulador larvario *Gambusia punctata* (Poey, 1854) durante el periodo 2011-2021. *Neotropical Helminthology*, 15, 193-198.
- Bai, W., Takao, Y., & Kubo, T. (2021). First evaluation of genotoxicity of strong bases and zwitterions in treated household effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 1-8.
- Bawa, U., Abdullahi, M.I. & Ibraim, H. (2018). Assessment of water quality using biological monitoring working party (BMWP) and average score per taxon (ASPT) score at Kanye and Magaga dams, Kano. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 11, 210-218.
- Bebiano, M.J., Pereira, C.G., Rey, F., Cravo, A., Duarte, D., D'Errico, G., & Regoli, F. (2015). Integrated approach to assess ecosystem health in harbor areas. *Science of the Total Environment*, 514, 92-107.
- Carere, M., Antoccia, A., Buschini, A., Frenzilli, G., Marcon, F., Andreoli, C., Gorbi, G., Suppa, A., Montalbano, S., Prota, V., De Battistis, F., Guidi, P., Bernardeschi, M., Palumbo, M., Scarcelli, V., Colasanti, M., D'Ezio, V., Persichini, T., Scalici, M., Sgura, A., Spani, F., Udroui, I., Valenzuela, M., Lacchetti, I., di Domenico, K., Cristiano, W., Marra, V., Ingelido, A.M., Iacovella, N., De Felip, E., Massei, R., & Mancini, L. (2021). An integrated approach for chemical water quality assessment of an urban river stretch through effect-based methods and emerging pollutants analysis with a focus on genotoxicity. *Journal of Environmental Management*, 300, 113549.
- Conlan, K.E. (1994). Amphipod crustaceans and environmental disturbance: a review. *Journal of Natural History*, 28, 519-554.
- Dalzochio, T., Simões, R., Airton, L., Santos de Souza, M., Prado, R.G.Z., Petry, I.E., Andriguetti, N.B., Silva, H., Gláucia, J., Günther, G., & Basso da Silva, L. (2017). Water quality parameters, biomarkers and metal bioaccumulation in native fish captured in the ilha river, southern brazil. *Chemosphere*, 189, 609-618.
- Depledge, M.H. (1984). Disruption of circulatory and respiratory activity in shore crabs (*Carcinus maenas* L.) exposed to heavy metal pollution. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 78, 445-459.
- Ezemonye, L.I., Adebayo, P.O., Enuneku, A.A., Tongo, I. & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicological Reports*, 6, 1-9.
- Fakhri, Y., Mohseni, B.A., Conti, G.O., Ferrante, M., Cristaldi, A., Jeihooni, A.K., Dehkordi, M.K, Alinejad, A., Rasoulzadeh, H., & Mohseni, S.M. (2018). Systematic review and health risk assessment of arsenic and lead in the fished shrimps from the Persian Gulf. *Food and Chemical Toxicology*, 113, 278-286.
- FAO. (2014). *The State of the World Fisheries and Aquaculture*. 223. <http://www.fao.org/news/story/en/item/231522/icode/>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229>

- Fernandes, C., Fontainhas, F.A., Cabral, D., & Salgado, M.A. (2008). Heavy metals in water, sediment and tissues of *Liza saliens* from Esmoriz-Paramos lagoon, Portugal. *Environmental Monitoring Assessment*, 136, 267-275.
- Ghazi, S., Diab, A.M., Khalafalla, M.M. & Mohamed, R.A. (2021). Synergistic effects of selenium and zinc oxide nanoparticles on growth performance, hematobiochemical profile, immune and oxidative stress responses, and intestinal morphometry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biological Trace Element Research*, 200, 364-374.
- Handy, R.D., Clark, N.J., Boyle, D., Vassallo, J., Green, C., Nasser, F., Botha, T.L., Wepener, V., van den Brink, N.W. & Svendsen, C. (2022). *The bioaccumulation testing strategy for nanomaterials: correlations with particle properties and a meta-analysis of in vitro fish alternatives to in vivo fish tests*. *Environmental Science: Nano*, 9, 684-701.
- Islam, S.M.M., Rohani, M.F., Zabed, S.A., Islam, M.T., Jannat, R., Akter, Y., & Shahjahan, M. (2020). Acute effects of chromium on hemato-biochemical parameters and morphology of erythrocytes in striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Toxicology Reports*, 7, 664-670.
- Jahan, N., Islam, S.M.M., Rohani, M.F., Hossain, M.T., & Shahjahan, M. (2021). Probiotic yeast enhances growth performance of rohu (*Labeo rohita*) through upgrading hematology, and intestinal microbiota and morphology. *Aquaculture*, 545, 1-8.
- Kannel, P.R., Lee, S., Kanel, S.R. & Khan, S.P. (2007). Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, 582, 390-399.
- Khalesi, K., Abeli, Z., Behrouzi, S., & Eskandari, S.K. (2017). Haematological, blood biochemical and histopathological effects of sublethal cadmium and lead concentrations in common carp. *Bulgarian Journal Veterinary Medicine*, 20, 141-150.
- Kumar, P., Avtar, R., Dasgupta, R., Johnson, B.A., Mukherjee, A., Ahsan, M.dN., Nguyen, D.C.H., Nguyen, H.Q., Shaw, R., & Mishra, B.K. (2020). Socio-hydrology: A key approach for adaptation to water scarcity and achieving human well-being in large riverine islands. *Progress in Disaster Science*, 8, 1-8.
- Kumari, P., & Maiti, S.K. (2019). Health risk assessment of lead, mercury, and other metal (loid) s: A potential threat to the population consuming fish inhabiting, a lentic ecosystem in Steel City (Jamshedpur), India. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25, 2174-2192.
- Mahmuda, M., Rahman, M.H., Bashar, A., Rohani, M.F., & Hossain, M.S. (2020). Heavy metal contamination in tilapia, *Oreochromis niloticus* collected from different fish markets of Mymensingh District. *Journal of Agriculture, Food and Environment*, 1, 1-5.
- Market, B., Breure, A., & Zechmester, H.G. (2003). *Bioindicators and biomonitors: principles, concepts and applications*. Editorial Elsevier S.
- Moiseenko, T.I., & Gashkina, N.A. (2020). Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: Influence of the aquatic environment and climate. *Environmental Research Letters*, 15, 1-20.
- Monteiro, D.A., Thomaz, J.M., Rantin, F.T., & Kalinin, A.L. (2013). Cardiorespiratory responses to graded hypoxia in the neotropical fish matrinxã (*Brycon amazonicus*) and traíra (*Hoplias malabaricus*) after waterborne or trophic exposure to inorganic mercury. *Aquatic Toxicology*, 140, 346-355.
- Ng, D.Q., Chu, Y., Tan, S.W., Wang, S.L., Lin, Y.P., Chu, C.H., Soo, Y.L., Song, Y.F., & Chem, P.J. (2019). In vivo evidence of intestinal lead dissolution from lead dioxide (PbO₂) nanoparticles and resulting bioaccumulation and toxicity in medaka fish. *Environmental Science: Nano*, 6, 580-591.
- Phoonaploy, U., Tengjaroenkul, B., & Neeratanaphan, L. (2019). Effects of electronic waste on cytogenetic and physiological changes in snakehead fish (*Channa striata*). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 1-11.
- Rainbow, P.S., & Phillips, D.J.H. (1993). Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 26, 593-601.
- Rainbow, P.S. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 183-192.

- Ramírez, A.N.A., de Pablo J., & Roca, E. (2020). Exploring alternative practices in urban water management through the lens of circular economy—A case study in the Barcelona metropolitan area. *Journal of Cleaner Production*, 329, 1-1.
- Rasmussen, K., Rauscher, H., Kearns, P., González, M., & Riego, S.J. (2019). Developing OECD test guidelines for regulatory testing of nanomaterials to ensure mutual acceptance of test data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 104, 74-83.
- Rohani, M.F., Islam, S.M., Hossain, M.K., Ferdous, Z., Siddik, M.A., Nuruzzaman, M., Padeniya, U., Brown, C., & Shahjahan, M. (2022). Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish. *Fish and Shellfish Immunology*, 120, 569-589.
- Saffari, S., Keyvanshokoo, S., Zakeri, M., Johari, S.A., Pasha, Z.H. & Mozanzadeh, M.T. (2018). Effects of dietary organic, inorganic, and nanoparticulate selenium sources on growth, hemato-immunological, and serum biochemical parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 44, 1087-1097.
- Sarkar, M., Islam, J.B., & Akter, S. (2016). Pollution and ecological risk assessment for the environmentally impacted Turag River, Bangladesh. *Journal Materials Environmental Science*, 7, 2295-2304.
- Sarkar, M.M., Rohani, M.F., Hossain, M.A.R., & Shahjahan, M. (2021). Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. *Biological Trace Element Research*, 200, 844-854.
- Shahjahan, M., Islam, S.M., Bablee, A.L., Siddik, M.A.B., & Fotedar, R. (2021). Sumithion usage in aquaculture: benefit or forfeit? *Review Aquaculture*, 13, 2092-2111.
- Shahjahan, M., Mahman, M.S, Islam, S.M.M., Uddin, M.H. & Al-Emran, M. (2019). Increase in water temperature increases acute toxicity of sumithion causing nuclear and cellular abnormalities in peripheral erythrocytes of zebrafish *Danio rerio*. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 36903-36912.
- Shahsavani, A., Fakhri, Y., Ferrante, M., Keramati, H., Zandsalimi, Y., Bay, A., Hosseini, P.S.R, Moradi, B., Bahmani, Z., & Mousavi, K.A. (2017). Risk assessment of heavy metals bioaccumulation: fished shrimps from the persian gulf. *Toxin Reviews*, 36, 322-330.
- Siddiqui, S., & Saher, U.N. (2022). Effects of intrinsic and extrinsic factors on the heavy metal influx in fiddler crab (*Austruca iranica*) inhabiting the marine environment of Pakistan. *Continental Shelf Research*, 246, 104809.
- Suchana, S.A., Ahmed, M.S., Islam, S.M.M., Rahman, M.L., Rohani, M.F., Ferdusi, T., Ahmmad, A.K.S., Fatema, M.K., Badruzzaman, M., & Shahjahan, M. (2021). Chromium exposure causes structural aberrations of erythrocytes, gills, liver, kidney, and genetic damage in striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Biological Trace Element Research*, 199, 3869-3885.
- Tlili, S., & Mouneyrac, C. (2019). The wedge clam *Donax trunculus* as sentinel organism for Mediterranean coastal monitoring in a global change context. *Regional Environmental Change*, 19, 995-1007.
- Truchet, D.M., Buzzi, N.S., Negrin, V.L., Botté, S.E., & Marcovecchio, J.E. (2022). First long-term assessment of metals and associated ecological risk in subtidal sediments of a human-impacted SW Atlantic estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113235.
- Van der Oost, R., Opperhuizen, A., Satumalay, K., Heida, H., & Vermeulen, N.P.E. (1996). Biomonitoring aquatic pollution with feral eel (*Anguilla anguilla*) I. bioaccumulation: biota-sediment ratios of PCBs, OCPs, PCDDs and PCDFs. *Aquatic Toxicology*, 35, 21-46.

Received March 19, 2023.

Accepted May 11, 2023.