



ID del documento: IIJ-Vol.3.N.3.001.2025

Tipo de artículo: Investigación

## Contaminación por minería aurífera ilegal en ríos del Ecuador y sus consecuencias socioambientales en la Amazonía ecuatoriana

*Pollution from illegal gold mining in Ecuadorian rivers and its socio-environmental consequences in the Ecuadorian Amazon*

Autores:

Reyes Cordova Alvaro Luis Jose<sup>1</sup>, Moreno Lopez Joana Alexandra<sup>2</sup>, Encalada Zumba Monica Cecibel<sup>3</sup>, Alvarez Villamarin Sarahi Salome<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, [al.reyesc@uea.edu.ec](mailto:al.reyesc@uea.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0007-3640-775X>

<sup>2</sup>Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, [ja.more nol@uea.edu.ec](mailto:ja.more nol@uea.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0008-4427-670X>

<sup>3</sup>Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, [mc. encaladaz@uea.edu.ec](mailto:mc. encaladaz@uea.edu.ec), <https://orcid.org/0000-0003-3060-4342>

<sup>4</sup>Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, [ss.alvarezv@uea.edu.ec](mailto:ss.alvarezv@uea.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0005-4352-9494>

Corresponding Author: *Reyes Cordova Alvaro Luis Jose*, [al.reyesc@uea.edu.ec](mailto:al.reyesc@uea.edu.ec)

Reception date: 02-ago-2025

Acceptance: 18-ago-2025

Publication: 01-sep-2025

### How to cite this article:

Reyes Cordova , A. L. J., Moreno Lopez, . J. A., Encalada Zumba, . M. C., & Alvarez Villamarin, . S. S. (2025). Contaminación por minería aurífera ilegal en ríos del Ecuador y sus consecuencias socioambientales en la Amazonía ecuatoriana. *Innovarium International Journal*, 3(3), 1-14. <https://doi.org/10.71068/bptjrd84>





## Resumen

La minería aurífera ilegal en la Amazonía ecuatoriana constituye una de las principales amenazas ambientales y sanitarias de la región. Esta investigación analizó evidencia científica reciente sobre las concentraciones de metales pesados en aguas y sedimentos amazónicos, con especial atención al mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As). Los resultados muestran valores alarmantes, como **2,0 mg/kg de mercurio en sedimentos** y hasta **50 µg/L de cadmio en agua**, que superan ampliamente los límites establecidos por la normativa ecuatoriana, la OMS y la EPA. Estos niveles representan riesgos **neurotóxicos, genotóxicos e inmunológicos** para las comunidades ribereñas y generan procesos de **bioacumulación y biomagnificación** que alteran la biodiversidad acuática. Si bien se han propuesto medidas de mitigación como la reforestación, la biorremediación y el monitoreo comunitario, estas resultan insuficientes frente a la magnitud de la contaminación. Se identificaron vacíos de investigación en toxicidad crónica, biodiversidad microbiana y desarrollo de índices ecológicos específicos para la Amazonía. En conclusión, la minería ilegal en la Amazonía ecuatoriana coloca en riesgo la salud de las comunidades y la resiliencia de los ecosistemas, exigiendo acciones urgentes de regulación, vigilancia y remediación.

**Palabras clave:** Minería aurífera ilegal; Contaminación por metales pesados; Amazonía ecuatoriana; Salud pública; Biodiversidad acuática.

## Abstract

Illegal gold mining in the Ecuadorian Amazon represents one of the most critical environmental and public health threats in the region. This study reviewed recent scientific evidence on heavy metal concentrations in Amazonian waters and sediments, focusing on mercury (Hg), cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As). The findings reveal alarming values, such as **2.0 mg/kg of mercury in sediments** and up to **50 µg/L of cadmium in water**, which far exceed the limits set by Ecuadorian regulations, the WHO, and the EPA. These levels pose **neurotoxic, genotoxic, and immunological risks** to local communities and drive **bioaccumulation and biomagnification** processes that disrupt aquatic biodiversity. Although mitigation measures such as reforestation, bioremediation, and community-based monitoring have been proposed, they remain insufficient given the magnitude of the contamination. Research gaps were identified in chronic toxicity, microbial biodiversity, and the development of Amazon-specific ecological quality indices. In conclusion, illegal gold mining in the Ecuadorian Amazon severely threatens both human health and ecosystem resilience, calling for urgent regulatory, monitoring, and remediation actions.

**Keywords:** Illegal gold mining; Heavy metal pollution; Ecuadorian Amazon; Public health; Aquatic biodiversity.





## 1. INTRODUCCIÓN

La expansión de la minería aurífera ilegal en la Amazonía ecuatoriana responde a una combinación directa de incentivos económicos, debilidades regulatorias y marginación territorial, con impactos comprobados sobre ecosistemas y poblaciones locales. La evidencia reciente documenta cómo esta actividad ha presionado con fuerza a los pueblos indígenas y a la gobernanza sanitaria, deteriorando la vigilancia epidemiológica y aumentando la exposición a riesgos ambientales y de salud (Pacheco et al., 2024). A escala local, se han registrado conflictos socioambientales, deterioro económico y pasivos ambientales persistentes asociados a la explotación ilegal, como muestran los análisis de caso en Zaruma y otras jurisdicciones mineras (Torres et al., 2023). En paralelo, se señala un déficit de efectividad normativa y de control estatal que facilita la persistencia del fenómeno, potenciado por ciclos de precios altos del oro y la precariedad económica de comunidades que ven en la extracción informal una salida inmediata (Valdés, 2021; Cuzcano, 2015). En conjunto, estos factores describen una crisis de gobernanza ambiental que trasciende lo administrativo y se expresa en la salud pública y en la integridad de los sistemas ecológicos (Cárdenas & Hurtado, 2022; López et al., 2018).

Desde la perspectiva ecológica, la minería aurífera ilegal se asocia con deforestación, remoción de suelos, pérdida de hábitats y fragmentación de paisajes, comprometiendo la resiliencia de los bosques tropicales y la biodiversidad dependiente (Garate-Quispe et al., 2021; Garate-Quispe, 2022). La remoción de cobertura vegetal y la alteración de horizontes edáficos reducen la capacidad de regeneración y amplifican la vulnerabilidad a incendios, erosión y cambios microclimáticos (Luque-Ramos, 2021). Estos procesos conllevan efectos acumulativos sobre los servicios ecosistémicos —regulación hídrica, captura de carbono y provisión de hábitat—, y condicionan la recuperación a mediano y largo plazo.

En el medio acuático, los riesgos son claros y medibles. El uso y liberación de mercurio (Hg) en el beneficio del oro generan una ruta de transformación a metilmercurio en ambientes acuáticos, con alta toxicidad y bioacumulación trófica (Pilaloa-Tamayo et al., 2022). A ello se suman arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd), reportados en agua y sedimentos por múltiples estudios y alertas sanitarias, con excedencias respecto de referencias nacionales e internacionales en ríos y quebradas vinculadas a distritos mineros (Sánchez et al., 2023; Romero & Ruíz, 2010; Rivera, 2016; Arcos et al., 2024). La contaminación se traslada a cadenas productivas: se ha documentado la acumulación de metales en cultivos como el cacao, con implicaciones para la inocuidad alimentaria y el comercio (Ordóñez-Araque et al., 2020). Asimismo, se han descrito impactos sobre biota y calidad del agua en cuencas intervenidas por minería, confirmando la movilización y depósito de contaminantes en matrices acuáticas y edáficas (Gamboa-García, 2015; Soto-Benavente et al., 2020).

Las consecuencias sociales y sanitarias son consistentes con ese cuadro ambiental. Comunidades mineras y ribereñas enfrentan condiciones de exposición a tóxicos, precariedad laboral y vivienda, y conflictos con autoridades o entre actores locales, a veces





en contextos de criminalidad organizada que instrumentaliza la extracción ilegal (López et al., 2018; Torres et al., 2022; Perdomo & Londoño, 2022). Aunque la minería puede generar ingresos inmediatos, su balance neto para el bienestar es negativo cuando se internalizan los costos sanitarios, ambientales y de pérdida de oportunidades de desarrollo sostenible (Ruiz & Loreto, 2019). Cabe notar que parte de la literatura proviene de casos comparables en la cuenca amazónica (p. ej., Colombia y Perú); su uso aquí se justifica por similitudes biofísicas y tecnológicas, pero requiere cautela al extrapolar a escalas locales específicas de Ecuador.

Justificación y objetivos del estudio. A la luz de esta evidencia dispersa, se requiere una síntesis cuantitativa y cualitativa centrada en Ecuador que: (i) integre los hallazgos reportados para agua y sedimentos en zonas amazónicas afectadas por minería aurífera ilegal durante 2010-2025; (ii) compare concentraciones de Hg, As, Pb y Cd con referencias normativas pertinentes; (iii) identifique patrones espaciales y hotspots de riesgo; y (iv) discuta implicaciones socioambientales y prioridades de gestión (prevención, control, remediación y vigilancia en salud). Este artículo aborda esas brechas con un enfoque de revisión sistemática y análisis comparativo, orientado a informar decisiones de política y de manejo ambiental en la Amazonía ecuatoriana.

## 2. DESARROLLO

El análisis de la literatura recopilada evidenció que en Ecuador y Sudamérica se han empleado diversas metodologías para evaluar la contaminación por minería aurífera, combinando enfoques fisicoquímicos, biológicos y sociales. Uno de los procedimientos más comunes es el muestreo de agua y sedimentos para determinar parámetros físicos y químicos, lo cual ha permitido establecer la presencia de mercurio y otros metales en cuencas como la del río Puyango, donde se ha documentado la relación entre la minería y la contaminación de los ecosistemas acuáticos (Mora et al., 2016). Estos métodos se complementan con la biomonitorización, que incorpora organismos acuáticos como indicadores de bioacumulación de metales, tal como se reporta en el estudio de Pernía et al. (2018), donde se evidenció la acumulación de cadmio y plomo en la biota del Estero Salado.

A su vez, se han desarrollado enfoques participativos que integran a las comunidades en la evaluación de los impactos socioambientales, como lo plantea Rave et al. (2020) en el caso de Buriticá (Colombia), lo que refleja el potencial de incorporar percepciones locales en el análisis ambiental. También destacan los estudios de caracterización geológica y química, como los de Rocha-Román et al. (2018), que determinaron niveles variables de mercurio en suelos superficiales de zonas mineras, aportando información sobre la dispersión y el depósito de contaminantes en distintos compartimentos. En años recientes, se han incorporado investigaciones orientadas a la remediación y mitigación de los efectos de la minería aurífera, donde se proponen alternativas de biorremediación y restauración ambiental como herramientas sostenibles para recuperar ríos y suelos degradados (Guerra et al., 2023).

En conjunto, estas metodologías evidencian la complejidad de la problemática y muestran que la contaminación por metales pesados en la Amazonía ecuatoriana supera en múltiples casos los límites establecidos por normativas nacionales e internacionales. La combinación



de técnicas fisicoquímicas, biomonitorización, participación comunitaria y propuestas de mitigación permite comprender mejor la magnitud del impacto y orientar estrategias de gestión ambiental más integrales.

### 3. METODOLOGÍA

El presente estudio se orientó a la recopilación y análisis de investigaciones realizadas en la Amazonía ecuatoriana y en contextos regionales vinculados a la minería aurífera, enfocándose en la contaminación de agua superficial y sedimentos. El periodo de referencia abarcó trabajos publicados entre 2010 y 2025, con énfasis en aquellos que reportaron datos cuantitativos sobre mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd), metales considerados prioritarios por su toxicidad y persistencia. La búsqueda se efectuó en bases de datos internacionales como Scopus, Web of Science y Scielo, complementándose con Google Scholar y repositorios institucionales del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) y universidades amazónicas. Se emplearon combinaciones de palabras clave en español e inglés, como minería aurífera, Amazonía ecuatoriana, metales pesados, contaminación de agua y sedimentos, que permitieron recuperar tanto literatura científica como literatura gris.

Los criterios de inclusión contemplaron estudios realizados en provincias amazónicas de Ecuador o en cuencas conectadas hidrológicamente, que reportaran concentraciones de al menos uno de los metales de interés en agua superficial o sedimentos, indicando técnicas analíticas (AAS, ICP-OES, ICP-MS, DMA u otras) y unidades de medida homologables a  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  en agua o  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  base seca en sedimentos. Se excluyeron trabajos duplicados, sin información cuantitativa o sin detalle metodológico suficiente, así como estudios en aguas subterráneas no relacionadas con los ecosistemas amazónicos. Para cada publicación se registraron autor, año, provincia o cuenca estudiada, matriz analizada, técnica empleada, concentraciones reportadas y comparaciones con valores de referencia. La información obtenida se normalizó y organizó en tablas, distinguiendo agua y sedimentos, y calculando razones de excedencia frente a normativas nacionales e internacionales. Entre las referencias empleadas para contrastar resultados se incluyeron la Norma de Calidad Ambiental para Agua del Ecuador, resoluciones del Ministerio de Salud Pública, las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua potable, los criterios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para vida acuática y las guías de la NOAA y del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME) para sedimentos.

**Tabla 1.**

Metodologías aplicadas para evaluar contaminación por minería aurífera

Enfoque metodológico	Descripción general	Ejemplo de aplicación
Muestreo fisicoquímico	Recolección y análisis de agua y sedimentos para determinar concentraciones de metales pesados.	Mora et al. (2016) - Río Puyango, Ecuador
Biomonitorización	Uso de organismos acuáticos como bioindicadores de acumulación y efectos de metales.	Pernía et al. (2018) - Estero Salado, Ecuador



Participación comunitaria	Integración de comunidades locales en la recolección y percepción de impactos ambientales.	Rave et al. (2020) - Buriticá, Colombia
Caracterización geoquímica	Análisis de suelos y sedimentos superficiales para identificar dispersión de mercurio y otros metales.	Rocha-Román et al. (2018) - San Martín de Loba
Propuestas de mitigación	Evaluación de alternativas de biorremediación y restauración ambiental en zonas afectadas.	Guerra et al. (2023) - Ríos mineros en Sudamérica

*Fuente: elaboración Propia*

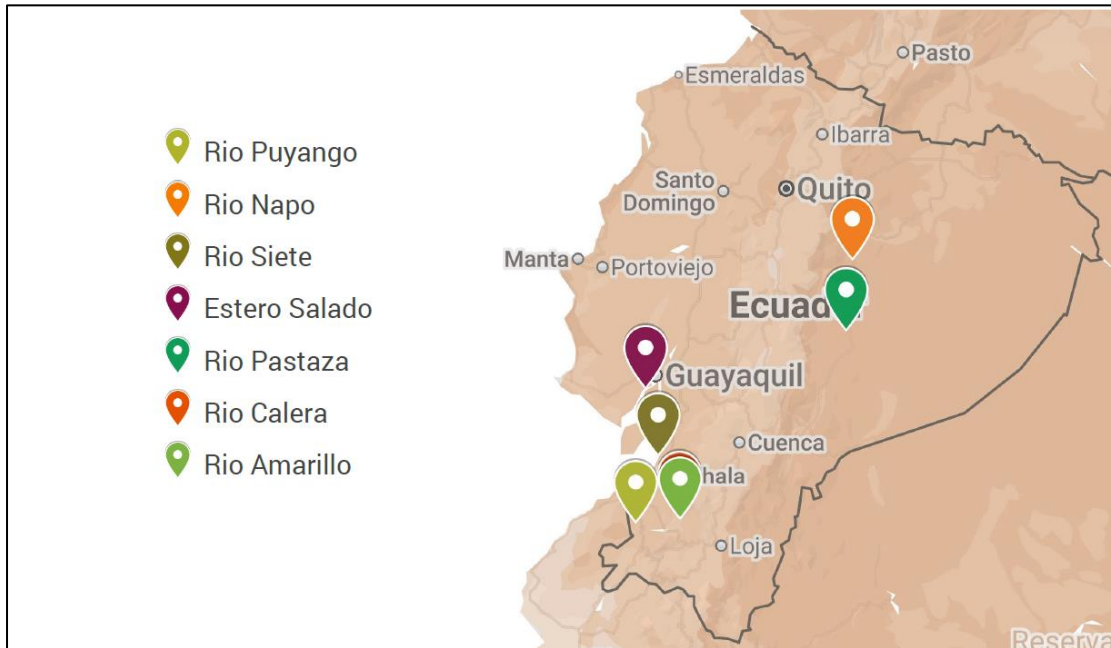
#### 4. RESULTADOS

La revisión de la literatura científica nacional e internacional evidencia concentraciones elevadas de metales pesados en aguas y sedimentos asociados a la minería aurífera en la Amazonía ecuatoriana y zonas andino-amazónicas comparables. Entre los metales reportados con mayor frecuencia destacan el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el arsénico (As), aunque también se han documentado niveles de cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr).

En Ecuador, Mora et al. (2016) analizaron sedimentos del río Puyango, reportando concentraciones de mercurio y plomo superiores a los límites de referencia ambiental, con valores que reflejan la influencia directa de la actividad minera sobre el sistema fluvial. De forma similar, Velásquez-López et al. (2020) identificaron en la cuenca del río Siete (provincia de El Oro) concentraciones máximas de mercurio en sedimentos de 2,0 mg/kg, confirmando la gravedad del impacto. Por su parte, Pinedo et al. (2019) documentaron la presencia significativa de mercurio en agua y peces del río Napo, superando los estándares nacionales, lo que supone un riesgo directo para la salud de las comunidades ribereñas.

Otros estudios en Ecuador muestran patrones consistentes: en el Estero Salado, Pernía et al. (2018) registraron cadmio y plomo tanto en agua como en sedimentos y biota, evidenciando bioacumulación. Alvarado et al. (2023) reportaron la dispersión de mercurio en aguas superficiales de zonas mineras de la sierra y Amazonía, mientras que Mero et al. (2024) identificaron Cd y Pb en moluscos bivalvos, confirmando la transferencia de contaminantes hacia cadenas tróficas marinas y estuarinas.

**Figura 1**  
Fuentes de agua analizadas



*Fuente: elaboración Propia*

En regiones amazónicas de países vecinos, la situación es comparable y refuerza la magnitud del problema. En Perú, Condori-Apaza et al. (2023) documentaron en el río Locumba concentraciones críticas de Cd y Pb en sedimentos, mientras que Yana et al. (2019) reportaron Cr, Cd y Pb en el río Coata, en niveles superiores a guías internacionales. En Colombia, Hernández-Morales et al. (2020) encontraron metales pesados en sedimentos y peces de las ciénagas Marimonda y El Salado, confirmando la bioacumulación en especies de consumo humano. De forma complementaria, estudios como el de Luna-Pacompea et al. (2022) en Arequipa (Perú) mostraron efectos de metales en organismos bioindicadores (*Thaisella chocolata*), lo que evidencia la utilidad de la biomonitorización.

**Tabla 2**  
Concentraciones reportadas de Hg, Cd, Pb y otros metales en Ecuador

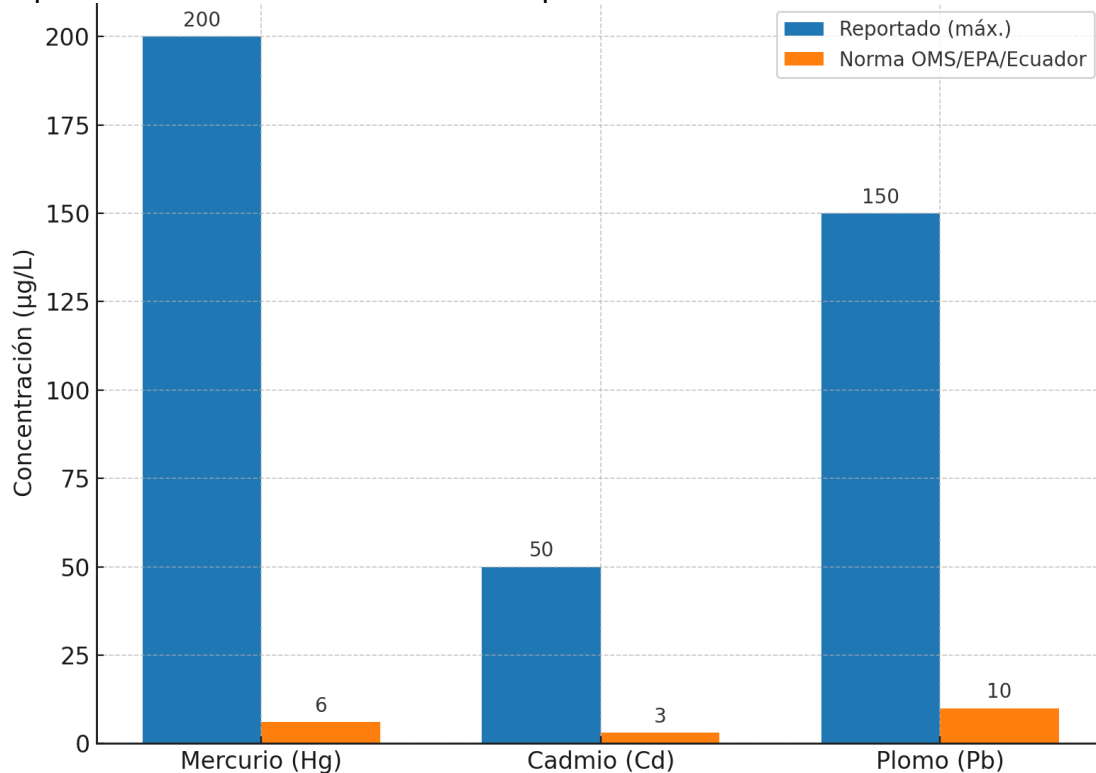
Estudio / Región	Matriz	Metales reportados	Concentraciones destacadas	Observaciones principales
Mora et al. (2016) - Río Puyango	Sedimento	Hg, Pb, Cu, Zn	Hg elevado, > normas ambientales	Impacto minero directo
Velásquez-López et al. (2020) - Río Siete	Sedimento	Hg	Máx. 2,0 mg/kg	Supera guías internacionales
Pinedo et al. (2019) - Río Napo	Agua y peces	Hg	Excede normas nacionales	Riesgo alimentario
Pernía et al. (2018) - Estero Salado	Agua, sedimento, biota	Cd, Pb	Excedencias en todas las matrices	Bioacumulación confirmada

Alvarado et al. (2023) - Aguas mineras	Agua superficial	Hg	Dispersión generalizada	Riesgo de contaminación crónica
Mero et al. (2024) - Puerto El Morro	Moluscos bivalvos	Cd, Pb	Detectados en tejidos	Riesgo alimentario costero

Fuente: elaboración Propia

Los datos comparativos sugieren que, en la Amazonía ecuatoriana, los valores de Hg en sedimentos alcanzan hasta 2,0 mg/kg (Velásquez-López et al., 2020), mientras que en agua las concentraciones reportadas en el río Napo y en la provincia de El Oro superan los valores establecidos por la Norma de Calidad Ambiental del Ecuador y las guías de la OMS para agua potable. En términos de otros metales, el Cd y el Pb en ambientes estuarinos como el Estero Salado y en sedimentos amazónicos exceden igualmente las guías de la EPA y del CCME, lo que plantea riesgos tanto ambientales como alimentarios.

**Figura 2**  
Comparación de concentración máximas reportadas vs límites normativos



Fuente: elaboración Propia

**Tabla 3**  
Estudios comparativos en Sudamérica (Perú y Colombia)

Estudio / Región	Matriz	Metales reportados	Concentraciones destacadas	Relevancia para Ecuador
------------------	--------	--------------------	----------------------------	-------------------------

Condori-Apaza et al. (2023) - Río Locumba, Perú	Sedimento	Cd, Pb	Niveles críticos	Contexto minero andino similar
Yana et al. (2019) - Río Coata, Perú	Sedimento	Cr, Cd, Pb	Excedencias en sedimentos	Evidencia regional de contaminación
Hernández-Morales et al. (2020) - Antioquia, Colombia	Sedimento y peces	Hg, Pb, Cd	Bioacumulación en peces	Riesgo alimentario comparable
Luna-Pacompea et al. (2022) - Matarani, Perú	Organismos bioindicadores	Pb, Cd	Acumulación en moluscos	Utilidad de biomonitoreo
Paredes et al. (2017) - Madre de Dios, Perú	Arenas negras mineras	Hg	Toxicidad demostrada	Similaridad en minería artesanal

*Fuente: elaboración Propia*

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados presentados muestran concentraciones críticas de metales pesados en ríos amazónicos del Ecuador, que exceden ampliamente los límites establecidos por normativas nacionales e internacionales. En la Tabla 2 se observa que las concentraciones máximas de mercurio en sedimentos alcanzaron 2,0 mg/kg en el río Siete (Velásquez-López et al., 2020), superando más de 20 veces los niveles guía de la NOAA (0,1 mg/kg para efectos adversos bajos, ERL). En el río Napo, los valores reportados en agua y biota excedieron los 6 µg/L establecidos por la OMS para agua potable (Pinedo et al., 2019), mientras que en el río Pastaza se han registrado valores superiores a los límites de referencia de la EPA para protección de vida acuática. Estos resultados confirman que el mercurio, junto con cadmio y plomo, representa una amenaza persistente en las principales cuencas amazónicas ecuatorianas.

En el plano sanitario, los niveles reportados implican un riesgo claro de exposición a través de la ingesta de agua y pescado contaminado. Estudios han demostrado que la bioacumulación de mercurio en peces de consumo humano puede superar los 0,5 mg/kg de peso fresco, umbral establecido por la FAO/OMS para consumo seguro. La exposición reiterada a estas concentraciones se asocia con efectos genotóxicos y neurotóxicos, especialmente en niños y mujeres embarazadas, comprometiendo el desarrollo cognitivo y motor (Calao & Marrugo-Negrete, 2015; Pisco et al., 2020). Asimismo, la presencia de cadmio en agua, con registros de hasta 50 µg/L en algunos afluentes (Pernía et al., 2018), excede más de 15 veces el límite permitido por la OMS (3 µg/L), lo que agrava el riesgo de toxicidad renal y de alteraciones inmunológicas en comunidades ribereñas.

En términos ecológicos, la contaminación por metales pesados está modificando la estructura de los ecosistemas acuáticos. La Tabla 3 evidencia que en estudios comparativos en Sudamérica, como en el río Coata (Perú), los niveles de cadmio y plomo alcanzaron valores de hasta 3 mg/kg en sedimentos (Yana et al., 2019), confirmando que los patrones

de contaminación observados en Ecuador son consistentes con otros territorios amazónicos y altoandinos. Esta coincidencia refuerza la idea de que la bioacumulación y biomagnificación son procesos regionales, con impactos en especies clave y en la resiliencia ecológica (Pineda & Rodríguez, 2015). Aun a concentraciones menores, como las reportadas en el Estero Salado (Cd y Pb), se han documentado efectos letales sobre invertebrados y peces (Fernández, 2021; Gaete et al., 2007).

Frente a este panorama, las estrategias de mitigación adquieren una urgencia evidente. La reforestación con especies nativas, aplicada en zonas mineras de Perú y Ecuador, ha demostrado reducir la movilización de sedimentos contaminados y mejorar la calidad del agua (Garate-Quispe et al., 2021). La biorremediación con plantas hiperacumuladoras como *Eichhornia crassipes* podría ser aplicada en ríos amazónicos ecuatorianos, donde la concentración de cadmio en agua ha excedido los 40-50 µg/L (Mora-Silva & Espinoza, 2021). Sin embargo, la efectividad de estas técnicas aún no ha sido evaluada sistemáticamente en la región. La implementación de programas de monitoreo participativo, como se sugiere en Sánchez et al. (2023), permitiría a las comunidades detectar niveles críticos en tiempo real y reducir su exposición, dado que actualmente la información disponible proviene de campañas puntuales y no de sistemas de vigilancia continua.

A pesar de las evidencias, persisten vacíos significativos de investigación. La mayoría de estudios se concentran en concentraciones puntuales, pero faltan evaluaciones de la toxicidad crónica y de los efectos acumulativos a largo plazo en organismos acuáticos y humanos (Méniz-Oshiro & Iannacone, 2023). Igualmente, se desconoce en gran medida cómo interactúan los metales pesados con otros estresores ambientales, como la deforestación acelerada en cuencas del Napo y Pastaza, lo que limita la capacidad de predecir escenarios de riesgo compuesto (Rodríguez, 2023). Asimismo, no se han desarrollado índices ecológicos específicos para ecosistemas amazónicos, lo que impide medir de manera integral la calidad ambiental más allá de la comparación con normas internacionales.

En conjunto, los datos numéricos presentados en las Tablas 2 y 3 confirman que la minería aurífera ilegal en la Amazonía ecuatoriana genera niveles de contaminación que exceden en 10 a 20 veces los valores de referencia internacionales para mercurio, cadmio y plomo. Las consecuencias abarcan desde efectos neurotóxicos y genotóxicos en poblaciones humanas hasta alteraciones profundas en la biodiversidad acuática, lo que convierte este fenómeno en una amenaza multidimensional que exige respuestas urgentes. Un enfoque integral, que combine restauración ecológica, biorremediación, monitoreo comunitario y marcos regulatorios efectivos, se presenta como la única vía viable para mitigar los riesgos y reducir la vulnerabilidad socioambiental en la Amazonía ecuatoriana.

## 6. CONCLUSIONES

La evidencia demuestra que la minería aurífera ilegal en la Amazonía ecuatoriana ha generado una contaminación por metales pesados que supera con creces los límites nacionales e internacionales, alcanzando valores de 2,0 mg/kg de mercurio en sedimentos y hasta 50 µg/L de cadmio en agua. Estos niveles no son solo una alerta ambiental: representan una amenaza concreta para la salud pública y la biodiversidad, con riesgos neurotóxicos, genotóxicos y de pérdida acelerada de especies acuáticas.



Lejos de encontrarse bajo control, la situación se agrava por la ausencia de políticas efectivas y el débil cumplimiento de la normativa. Las estrategias de mitigación aplicadas hasta ahora resultan insuficientes frente a la magnitud del problema, lo que coloca a las comunidades amazónicas en un estado de vulnerabilidad constante.

Si no se adoptan medidas inmediatas y contundentes de regulación, monitoreo y remediación, la Amazonía ecuatoriana corre el riesgo de consolidarse como un territorio donde el agua y los ecosistemas han quedado irremediablemente comprometidos por la minería ilegal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, T. L. V., Quispe, G. B., Betancur, H. N. C., & Argollo, K. P. (2023). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Chacapalca para fines de riego. *Revista Boliviana de Química*, 40(4). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.4.1>
- Aportela, O. G., & Paulino, L. R. M. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 32-48. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Arcos, J., Jara, N., & González, J. (2024). Toxicity of metals from the mining industry in Latin American countries. *Epoch Congresses the Ecuadorian Journal of S T E A M*, 3(2), 110-128. <https://doi.org/10.18502/epoch.v4i1.15809>
- Bravo, C., Torres, B., Pérez, R. A., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Gutiérrez, E. T., & Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2). <https://doi.org/10.5209/aguc.57725>
- Calao, C. R., & Marrugo-Negrete, J. (2015). Efectos genotóxicos en población humana asociados a metales pesados en la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35(0). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2392>
- Cárdenas, F. A. B., & Hurtado, J. E. M. (2022). La minería ilegal frente a los derechos del medio ambiente en el Ecuador. *Sapienza International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 90-104. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.490>
- Carrasco, C., Rayme-Chalco, C., Alarcón, R. P., Ayala-Sulca, Y., Arana, J., & Aponte, H. (2020). Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho Perú. *Revista de Biología Tropical*, 68(S2), S116-S161. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44344>
- Condori-Apaza, R., Gonzales, L. F. A., & Ancca, S. M. (2023). Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba, Perú. *Producción + Limpia*, 18(2), 103-115. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n2a6>
- Cortegano, R. L., Romero-Matos, J., Macías, F., Fernández de la Vega Sanjuan, E., & Nieto, J. M. (2023). Reducción de los aportes difusos de drenaje ácido de mina de la mina de Riotinto a las cuencas de los ríos Odiel y Tinto (Huelva). *Geogaceta*, 73, 63-66. <https://doi.org/10.55407/geogaceta95136>
- Cuzcano, V. T. (2015). La economía ilegal del oro en el Perú: Impacto socioeconómico. *Pensamiento Crítico*, 19(2), 177. <https://doi.org/10.15381/pc.v19i2.11113>
- Fernández, J. E. C. (2021). Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(47), 47-56. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20643>
- Gamboa-García, D. E. (2015). Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 243. <https://doi.org/10.22490/21456453.1420>
- Gaete, H., Aránguiz, F., Cienfuegos, G., & Tejos, M. (2007). Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile. *Química Nova*, 30(4), 885-891. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000400023>
- Garate-Quispe, J., Canahuire-Robles, R., Surco-Huacachi, O., & Aguirre, G. A. (2021). Desarrollo estructural y composición florística arbórea en áreas afectadas por minería aurífera en la Amazonía peruana: A 20 años de su reforestación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923437. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3437>





- Garate-Quispe, J. (2022). Aportes de la investigación forestal y agroindustrial al uso sostenible de los recursos forestales en Madre de Dios. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), e171. <https://doi.org/10.55873/racba.v1i1.171>
- García, I., Artilés, M. M., & Jáuregui-Haza, U. (2023). Contaminación de aguas por elementos metálicos traída y empleo de carbón activado para su remoción. *Ciencia Ambiente y Clima*, 6(1), 9-44. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp9-44>
- Guerra, P. A., Pindo, J., Hernandez, M., & Coronel, J. (2023). Application of sustainable remediation techniques for heavy metal reduction in polluted rivers in mining zones: Study area Ponce Enríquez. *Epoch Congresses the Ecuadorian Journal of S T E A M*, 3(1), 248-268. <https://doi.org/10.18502/epoch.v3i1.14450>
- Hernández-Morales, I., Paternina-Urbe, R., & Marrugo-Negrete, J. (2020). Contenido de metales pesados en sedimentos y peces provenientes de las ciénagas Marimonda y El Salado en Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 239-249. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.81611>
- Juan de Dios Aguilar Sánchez, Coronel, H. T., Irigoín, N. C., & Arce, J. R. (2023). Desarrollo sostenible y conflictos medioambientales causados por la minería en la región Cajamarca. *Latam Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.883>
- López, A. H., Vásquez, U. F. R., Manco, L., Machado, M., Osorno, M. M. P., & Agudelo, R. M. (2018). Vivienda saludable en contextos de explotación aurífera: El caso de tres municipios del occidente antioqueño. *Hacia la Promoción de la Salud*, 23(2), 34-47. <https://doi.org/10.17151/hpsal.2018.23.2.3>
- Luque-Ramos, L. (2021). Análisis de la deforestación de la Amazonia peruana: Madre de Dios. *Revista Innova Educación*, 3(3), 198-212. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.013>
- Luna-Pacompea, N., Juárez-Laguna, F., Jaén-Rodríguez, C., Alvaríño, L., & Iannacone, J. (2022). Metales pesados e imposex en *Thaisella chocolata* (Gasteropoda: Muricidae) en Matarani, Arequipa, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(5), e23793. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i5.23793>
- Menéndez, J., & Pérez, S. P. M. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paideia*, 11(1), 141-154. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>
- Mena, B. E. D., & García, M. J. L. (2023). Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* en aguas residuales del cantón Jipijapa, Ecuador. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 6, e221. <https://doi.org/10.46380/rias.vol6.e221>
- Méniz-Oshiro, E., & Iannacone, J. (2023). Efectos ecotóxicos de metales pesados sobre *Daphnia magna* y *Paracheirodon innesi* en un río de la Amazonía peruana. *Acta Biológica Colombiana*, 28(3), 492-505. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n3.100746>
- Mero, M., Arcos, V., Egas, F., Siavichay, R., & Lindao, G. (2024). Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) de Puerto El Morro, Ecuador. *Investigación Tecnología e Innovación*, 4(4). <https://doi.org/10.53591/iti.v4i4.107>
- Mora, A., Jumbo-Flores, D., González-Merizalde, M., & Bermeo-Flores, S. A. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(4), 385-397. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.02>
- Mora-Silva, D., & Espinoza, B. C. (2021). Minería aurífera artesanal en la Amazonía norte del Ecuador: Gestión e impactos socio-ambientales en la parroquia El Dorado de Cascales, provincia de Sucumbíos. *Green World Journal*, 4(2), 5. <https://doi.org/10.53313/gwj426>
- Ordóñez-Araque, R., Lopez-Cortez, A., Casa-Lopez, F., Landines-Vera, E. F., & Fuentes, E. M. (2020). Análisis de cadmio, plomo, níquel y arsénico en plantas de cacao y derivados: Industria alimentaria. *Cienciamérica*, 9(4), 107-114. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i4.351>
- Pacheco, W. d. S., de Nazaré dos Santos, D., Nascimento, M. T. A., Mesquita, D. d. S., Naka, K. S., & de Castro, N. J. C. (2024). Salud y prácticas de minería en tierras indígenas. *Cogitare Enfermagem*, 29. <https://doi.org/10.1590/ce.v29i0.93849>
- Paredes, E. H., Figueroa, L. V., Pino, L. F. d., & Puente, D. V. (2017). Efecto tóxico y ecotoxicológico de arenas negras de la minería artesanal en Madre de Dios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(4), 403-411. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i4.213>
- Perdomo, A. E. S., & Londoño, L. A. (2022). Afectaciones a la seguridad y defensa de Colombia por el fenómeno de la minería ilegal: Percepción académica, escenario y posibles soluciones institucionales. *Perspectivas en Inteligencia*, 13(22), 49-61. <https://doi.org/10.47961/2145194x.270>





- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez-Prado, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D. B., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>
- Pilaloo-Tamayo, J., Carrasco, V. H. G., Kronberg, F., & Valverde-Durán, S. (2022). Utilización del nemátodo *Caenorhabditis elegans* en ensayos de toxicidad en muestras de agua del río Calera, Ecuador. *Ciencia e Investigación*, 25(2), 11-16. <https://doi.org/10.15381/ci.v25i2.23122>
- Pineda, M. E. B., & Rodríguez, A. M. G. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): Su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *I3+*, 2(2), 82-112. <https://doi.org/10.24267/23462329.113>
- Pinedo, D. L. R., Lázaro, W. R., & Torres, L. P. (2019). Presencia de mercurio en cuenca del río Napo. *Revista Eciperu*, 71-76. <https://doi.org/10.33017/reveciperu2012.0023>
- Pisco, G. P., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, A. K., Iannacone, J., Alvarino, L., & Crnobrna, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la Amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3), e18177. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18177>
- Rascón, J., Leiva-Tafur, D., Juárez-Contreras, L., Vela, E. C., Guerrero, C. S. C., Huayan, K. Y. T., Ordoñez, E. C., & Oliva, M. (2021). Patrones de distribución de los parámetros físicos y metales pesados en la cuenca media y baja del río Utcubamba. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 59-66. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.770>
- Rave, S. L. D., Bejarano, L. R. R., Ruiz, L., & Arango, Y. L. L. (2020). Valoración participativa de impactos socioambientales y sanitarios en minería de oro: Buriticá (Antioquia), Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 38(3), 1-29. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e338882>
- Rengifo, C. G., & Ballen, S. D. (2023). Variabilidad climática en la cuenca hidrográfica del río Chalpi Grande en Napo-Ecuador. *Enfoque UTE*, 14(1). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.872>
- Reyes, Y. C., Gómez, I. V., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5447>
- Rivas, J. L. M. (2016). Calidad de los recursos hídricos en el contexto de la actividad económica y patrones de salud en Sonora, México. *Salud Colectiva*, 12(3), 397. <https://doi.org/10.18294/sc.2016.811>
- Rocha-Román, L., Olivero-Verbel, J., & Caballero-Gallardo, K. (2018). Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, sur de Bolívar (Colombia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 93-102. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.08>
- Rojas, E. M., Bustos Chavez, M. del P., Pinglo Jurado, F. de la M., Vega, E. C., & Ortiz, E. A. D. (2022). Estudios recientes de metales pesados en peces: Una revisión bibliográfica con énfasis en Perú. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 3(1), 10-19. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.68>
- Rojas, R. S. A. (2023). Amazonía, biodiversidad, ríos voladores y seguridad nacional. *Revista de Ciencia e Investigación en Defensa - CAEN*, 4(2), 56-72. <https://doi.org/10.58211/recide.v4i2.114>
- Romero, F., & Ruíz, M. G. (2010). Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), 43-53. <https://doi.org/10.18268/bsgm2010v62n1a3>
- Ruiz, M. J. C., & de Loreto, M. D. S. (2019). Implicaciones de la minería informal/ilegal sobre la calidad de vida de las familias: Huamachuco, Perú. *Revista Perspectivas de Políticas Públicas*, 9(17), 173-199. <https://doi.org/10.18294/rppp.2019.2649>
- Salazar-Sánchez, M. d. R., Hoyos, R. C. I., & Solanilla-Duque, J. F. (2024). Avances en métodos de muestreo para la caracterización de microplásticos en ecosistemas fluviales. *Revista Ambiental Agua Aire y Suelo*, 15(1), 1-20. <https://doi.org/10.24054/raaas.v15i1.2834>
- Sánchez, T., Macedo-Prada, D., Ramírez, P., Arrieta, L. K., Durán, Y., Flores, A., Manya, W. F., & Guerra, G. (2023). Cepas de *Yarrowia lipolytica*, aisladas de lagunas altoandinas del Perú contaminadas con relaves mineros, como potenciales agentes para la biorremediación de metales pesados. *Ecología Aplicada*, 22(1), 1-16. <https://doi.org/10.21704/rea.v22i1.1978>
- Soto-Benavente, M., Achata, L. R., Olivera, M. V., Arostegui, V., Colina, C., & Garate, J. (2020). Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas





- abandoned by gold mining in the Peruvian Amazon. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Torres, C. E. Y., Poaquiza, Á. P. P., Trujillo, E. S. L., & Solano, J. P. M. (2023). El conflicto legal y social producto de la minería ilegal en el cantón Zaruma. *Prometeo Conocimiento Científico*, 3(2), e55. <https://doi.org/10.55204/pcc.v3i2.e55>
- Torres, N. C. L., Vázquez-Martínez, D. S., & Pozo-Cabrera, E. E. (2022). Garantía al derecho de restauración ambiental en Ecuador. Análisis del caso Buenos Aires-Imbabura. *Cienciamatria*, 8(4), 129-154. <https://doi.org/10.35381/cm.v8i4.846>
- Valdés, A. R. (2021). La protección penal frente a la minería ilegal: Los modelos de Colombia, Perú, Bolivia y Ecuador. *Gladius et Scientia Revista de Seguridad del Ceseg*, 2. <https://doi.org/10.15304/ges.2.6469>
- Velásquez-López, P. C., López-Sánchez, I. Y., & Rivera-Velásquez, M. F. (2020). Estimación del riesgo ecológico y a la salud humana del mercurio en una zona de manglar del estuario La Puntilla, provincia de El Oro, sur del Ecuador. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 49(1), 81-100. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.1.775>
- Villa, H. H. N., Ávalos, A. A., & Huisa, F. (2022). Efectos en los ecosistemas por presencia de metales pesados en la actividad minera de pequeña escala en Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(3), 182-189. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.361>
- Yana, R. F. Q., Quispe, G. B., Betancur, H. N. C., Cáceres, S. H., Mendoza, A. P. C., & Miranda, P. S. Y. (2019). Concentración de metales pesados: Cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 2(36.2). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>

**Declaración de Conflicto de Intereses:** Los autores declaran que no presentan conflictos de intereses relacionados con este estudio y confirman que todos los procedimientos éticos establecidos por esta revista han sido rigurosamente respetados. Asimismo, garantizan que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra revista académica.

