



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i1.629>

Recibido: 2025-12-30

Aceptado: 2026-01-13

Publicado: 2026-02-03

Análisis contaminación de suelos por metales pesados en áreas mineras

Analysis of soil contamination by heavy metals in mining areas

Autores

María Fernanda Guartán Cabrera¹

<https://orcid.org/0009-0006-4717-1765>

maria.guartan@esPOCH.edu.ec

**Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH)
Riobamba - Ecuador**

José Arturo Guartán Medina²

<https://orcid.org/0000-0002-8918-4891>

jaguartan@utpl.edu.ec

**Universidad Técnica Particular de Loja
Loja – Ecuador**

Carmen Natalia Lindao Rosero³

<https://orcid.org/0009-0009-6303-6565>

carmen.lindao@esPOCH.edu.ec

**Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH)
Riobamba – Ecuador**

Fabián Roberto Allauca Pancho⁴

<https://orcid.org/0000-0001-7668-3053>

fabian.allauca@esPOCH.edu.ec

**Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH)
Riobamba - Ecuador**

Cómo citar

Guartán Cabrera, M. F., Guartán Medina, J. A., Lindao Rosero, C. N., & Allauca Pancho, F. R. (2026). Análisis contaminación de suelos por metales pesados en áreas mineras. *ASCE MAGAZINE*, 5(1), 1009–1028.



Resumen

Las actividades antrópicas como la minería, traen consigo la emisión de contaminantes como, metales pesados como Co, Cu, Cr, Zn, Ni, los cuales se pueden concentrar en suelos y agua, afectando la vegetación, la microbiota en zonas aledañas a explotaciones mineras, por lo que son un factor de riesgo para la salud humana, por eso el objetivo de esa investigación fue determinar los niveles de explotación minera en particular asociadas a metales que pueden causar de contaminación y relacionarlo con el reporte de contaminación de suelos, agua y alteraciones de la salud pública en los países de mayor actividad minera, mediante un análisis bibliométrico en bases de datos científicas como Scopus, Scielo, Latindex y Google académico, de los cuales se seleccionaron lo que están relacionados con problemas de contaminación de suelos y aguas por actividades antrópicas. Los resultados revelan evidencian en un alarmante aumento de los niveles de contaminación de fuentes de agua, ríos y lagos, por la explotación minera de metales pesados y explotaciones auríferas y de aluminio, lo que trae como consecuencia una menor disponibilidad de agua potable, la degradación de suelos aptos para la producción agrícola y el incremento de los riesgos de problemas de salud pública, por la presencia de estos.

Palabras clave: Contaminación, Metales, Minería, Sostenibilidad, Toxicidad.



Abstract

Human activities such as mining bring with them the emission of pollutants such as heavy metals like Co, Cu, Cr, Zn, and Ni, which can concentrate in soils and water, affecting vegetation and the microbiota in areas surrounding mining operations. Therefore, they are a risk factor for human health. For this reason, the objective of this research was to determine the levels of mining activity, particularly those associated with metals that can cause pollution, and to relate this to reports of soil and water pollution and public health problems in countries with the highest mining activity. This was achieved through a bibliometric analysis of scientific databases such as Scopus, Scielo, Latindex, and Google Scholar, from which studies related to soil and water pollution problems caused by human activities were selected. The results reveal an alarming increase in the levels of contamination of water sources, rivers and lakes, due to the mining of heavy metals and gold and aluminum mining, which results in less availability of drinking water, the degradation of soils suitable for agricultural production and the increase in the risks of public health problems, due to the presence of these.

Keywords: Pollution, Metals, Mining, Sustainability, Toxicity.



Introducción

La contaminación química se considera una de las causas más relevantes de la degradación ambiental de suelos y aguas. Aunque la presencia de sustancias tóxicas puede tener un origen natural, este estudio se centrará en la contaminación causada por actividades humanas. Esta ha sido reconocida como el factor clave detrás de la liberación de contaminantes que afectan tanto al ser humano como al entorno, especialmente en el sector minero (Sharma et al. , 2025). Esto es particularmente notable en naciones como Chile, Perú y Ecuador, donde, aunque la minería puede ofrecer ventajas económicas y sociales, si no se gestiona adecuadamente, puede dar lugar a la creación de varios contaminantes. Estos pueden concentrarse en los suelos debido al escurrimiento y a la lixiviación (Zhang et al. , 2025), llegando incluso a afectar las aguas subterráneas y superficiales. Esto no solo compromete la seguridad alimentaria (Shetty et al. , 2025), sino que también incide en la calidad del agua (Fu et al., 2025) y en la salud de la población.

Las causas de la contaminación en los países con más actividad minera están ligadas a la explotación de recursos, que constituye la principal fuente de ingresos en naciones como Chile (Bech et al., 2025), Bolivia (Gómez et al. , 2026) y Perú (Custodio et al. , 2025). Sin embargo, la cantidad de contaminantes generados por esta actividad en estos países es relativamente baja en comparación con naciones más desarrolladas, según los datos de explotación minera recopilados entre 2019 y 2023. Esto se vincula con los problemas ambientales relacionados con la contaminación de suelos y aguas.

Los problemas de contaminación provocados por sustancias químicas se han vinculado a la polución de los suelos debido a la presencia de metales pesados, lo que impacta negativamente en la microbiota nativa, la cual desempeña papeles esenciales en la mineralización de materia orgánica (Li et al. , 2025), en la fijación de nitrógeno (Daud et al., 2025) y en la solubilización del fósforo (Cai et al., 2025). Estos metales pesados pueden filtrarse a los cultivos, representando un riesgo para la salud. De igual manera, los suelos pueden acumular agroquímicos como insecticidas y herbicidas, los cuales, al lixiviarse, tienen el potencial de contaminar las aguas subterráneas,



reduciendo la calidad del agua para el consumo humano y poniendo en peligro la salud de la población.

Asimismo, la contaminación del agua por sustancias químicas ha sido reportada con un nivel de contaminación de aproximadamente 200 millones de metros cúbicos diarios (Dehkordi et al. , 202r). Este fenómeno genera numerosas dificultades para la vegetación, ya que esos metales eventualmente se acumulan en el suelo a través de los ríos, afectando el crecimiento de las plantas y provocando el amarillamiento de las hojas, lo que impacta a la fauna acuática (Salvat et al., 2025) y deteriora la calidad del agua potable, repercutiendo en muchas áreas metropolitanas que ya enfrentan problemas de escasez de agua adecuada para el consumo.

La presencia de contaminantes no solo perjudica la calidad de los ecosistemas, sino que también puede acarrear efectos serios en la salud de la población global, manifestándose a través de condiciones como anemia (Fang et al. , 2025), estrés oxidativo que incrementa el riesgo de cáncer (Vicente-Herrero y Ramírez, 2023), alteraciones en las enzimas del hígado (Wang et al. , 2025), y daña la producción de hormonas tiroideas (Moradnia et al., 2025). Además, provoca cambios en la expresión genética y en el desarrollo de embriones (Manna & Firdous, 2025), lo cual, si se presenta en seres humanos, podría representar un peligro mortal para la salud de aquellos expuestos a estos contaminantes.

Ante las dificultades que se han señalado en los párrafos anteriores, ligados a los efectos de la contaminación generada por actividades humanas en la calidad del suelo, el agua y la microbiota, se llevó a cabo un estudio con el objetivo de analizar los riesgos de la contaminación química debida a actividades antrópicas, específicamente la acumulación de metales pesados relacionada con la minería, así como evaluar el impacto que esto podría tener sobre la calidad de los recursos del suelo y del agua y en la salud de la población.



Materiales y métodos

El estudio que se realiza es de tipo descriptivo con diseño no experimental por cuanto la observación de los fenómenos es tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos, el enfoque metodológico fue de naturaleza mixta fue un estudio cualitativo debido a que se realizará una revisión exhaustiva de la literatura especializada y cuantitativo porque se hizo un análisis de cada una de las variables

Además, se menciona ser un estudio con un corte transversal debido a que los datos recolectados serán tomados de un solo momento específico, en el caso del presente estudio, será desarrollado con información de los años 2019, 2020, 2021,2022,2023 al tener un alcance descriptivo permitirá indagar en la incidencia del manejo de una variable en una población, permitiendo así establecer los resultados necesarios para la investigación.

Población y muestra de estudio

La población objeto de estudio para la presente investigación, cuenta con el análisis de datos históricos, del British geological survey de la producción minera mundial entre 2019 y 2023 (Idonei et al., 2025), al igual que no se recurrió al cálculo de una muestra en específico para esta investigación, dado que se trabajará con datos numéricos del período en estudio provenientes de fuentes secundarias.

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión contemplaron los datos oficiales y actualizados relacionados con la actividad minera a nivel mundial entre los años 2019-2023, extraídos de fuentes confiables de igual manera los datos estadísticos y análisis económicos que reflejen la actividad de la producción de metales potencialmente contaminantes. En cuanto a criterios de exclusión se consideraron a la información no oficial, datos desactualizados o fuentes no verificadas, como también la información que carezca de respaldo documental adecuado o cuya veracidad no pueda ser comprobada.

Recolección de la información

En primer lugar para describir el comportamiento del sector minero mundial se analizaran los datos del periodo 2019-2023 sobre de la producción de metales potencialmente contaminantes mediante la información contenida en a base de datos del British geological survey de la producción minera mundial entre 2019 y 2023, la cual será respaldada con información proveniente



de un análisis bibliométrico en bases de datos científicas como Scopus, Scielo, Latindex y Google académico, de los cuales se seleccionaron lo que están relacionados con problemas de contaminación de suelos y aguas por actividades antrópicas

Procedimiento metodológico

El enfoque del procedimiento metodológico el cual se utilizó en la presente investigación es mixto, que incluye métodos cualitativos y cuantitativos, el método mixto es una estrategia de investigación que combina los elementos tanto cualitativos como cuantitativos para proporcionar una comprensión más completa y holística del fenómeno estudiado, que integró el análisis numérico de datos con la interpretación de información cualitativa.

En primer lugar, se examinó la evolución histórica de la producción minera mundial y su impacto en la economía, esto mediante la indagación de las fuentes de información primaria y secundarias de la investigación bibliográfico documental mediante un análisis bibliométrico en bases de datos científicas como Scopus, Scielo, Latindex y Google académico, de los cuales se seleccionaron lo que están relacionados con problemas de contaminación de suelos y aguas por actividades antrópicas. Como parte del proceso, se incluyó el uso de fichas bibliográficas y el gestor de referencia incluido en Microsoft Word, los cuales permitieron registrar y organizar de manera sistemática las fuentes consultadas, como artículos científicos, libros, informes y publicaciones oficiales.

Para efectuar el análisis comparativo, se utilizaron matrices comparativas y tablas de datos, el análisis comparativo busca establecer relaciones entre los datos, propiedades, características o perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos u objetos, facilitando la identificación de factores clave que los asocien o diferencien.

Procedimiento de análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos en este estudio sobre la situación de la actividad minera mundial, se procedió con el análisis descriptivo, el mismo que implicó un enfoque descriptivo para caracterizar y cuantificar los datos obtenidos sobre la evolución y distribución de la minería mundial y se hicieron relaciones con los reportes de contaminación de suelo y agua proveniente de un análisis bibliométrico en bases de datos científicas como Scopus, Scielo, Latindex y Google académico, de los cuales se seleccionaron lo que están relacionados con problemas de contaminación de suelos y aguas por actividades antrópicas El software empleado



para el procesamiento y análisis de datos fue Microsoft Excel, mismo que facilitó la organización de datos, creación de gráficos y tablas.

Resultados y Discusión

En la tabla 1, se muestran la producción de los principales metales pesados como Cadmio cromo, Cobalto, Oro y Níquel, cuya producción puede estar asociada a la contaminación de suelos y agua, por el vertido de efluentes líquidos y sólidos provenientes de la mina, asimismo se reportan el Aluminio y el Oro, que si bien no son metales pesados están asociados a la acidificación del suelo en el caso del aluminio, disminuyendo la fertilidad potencial del suelo y a la acumulación de Hg en suelos y agua de explotaciones auríferas (Qiu et al., 2025., Veiga et al., 2025).

Tabla 1. Explotación mundial minera entre 2019-2023 de Aluminio, Cadmio, Cromo, Cobalto, Oro, Níquel

	2019	2020	2021	2022	2023
Aluminio	63000000	65400000	67800000	683000000	699000000
Cadmio	36300	25400	25700	23400	23600
Cromo	38700000	30300000	36900000	36700000	37500000
Cobalto	1190000	1270000	133000	165000	2020000
Cobre	20800000	21000000	21400000	22200000	23000000
Oro	3300000	3200000	3300000	3300000	3300000
Niquel	2557000	2457000	2800000	3261000	37560000

Aluminio

En el caso del aluminio, los principales productores como se observa en la Figura 1, se localiza en China con 74.300.000 de Tm alcanzada en 2022, seguido de Brasil, India, Rusia y Australia, si bien este no es un metal pesado la acumulación del mismo en el suelo esta asociado a una disminución del pH causando acidificación del suelo, lo que causa una disminución de la fertilidad del mismo debido a la fijación de fosforo, disminución de la solubilidad de nutrientes y una drástica disminución de la actividad biológica del suelo (Sindhu et al., 2022).

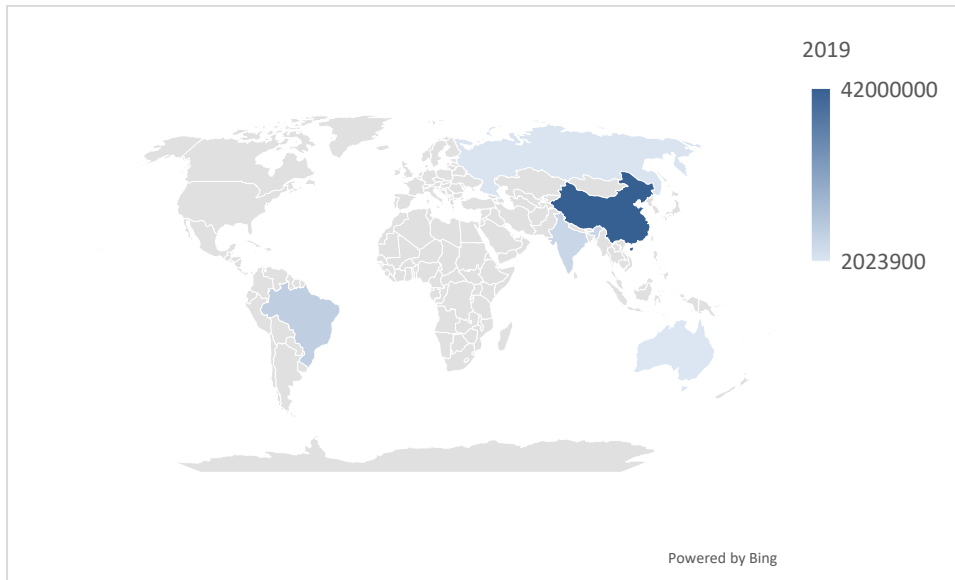


Figura 1: Cadmio

En el caso del Cadmio, los principales productores como se observa en la Figura 2, se localiza en China con 10349 de Tm alcanzada en 2021, seguido de Corea, Japón, Canadá y Brasil, cuando el cadmio llega al suelo o al agua, las plantas pueden absorberlo, lo que provoca su acumulación en la cadena alimentaria y, con el tiempo, en el cuerpo humano. La exposición a este metal ha sido vinculada a múltiples problemas de salud, tales como afecciones renales, osteoporosis y diversos cánceres (Yang et al., 2025). Asimismo, su permanencia en la naturaleza representa un peligro a largo plazo, dado que puede permanecer en la tierra durante muchos años, impactando la calidad de los cultivos y la salud de los ecosistemas acuáticos.

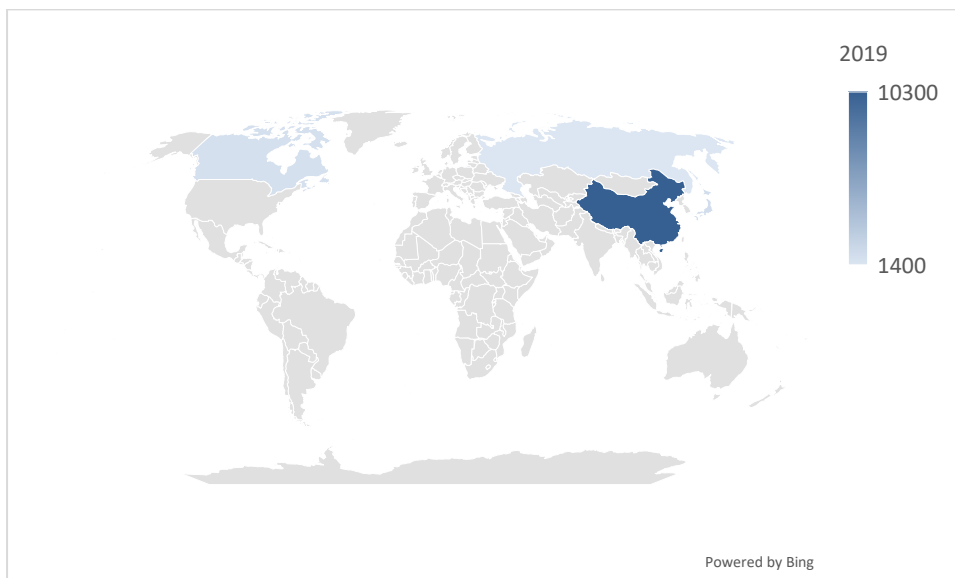


Figura 2: Cromo

Con relación al cromo , los principales productores como se observa en la Figura 3, se localiza en Sudáfrica con 19373851 de Tm alcanzada en 2023, seguido de Kazajistán, India, Turquía, Zimbabue, El cromo en su forma hexavalente es extremadamente venenoso y puede filtrarse al entorno por medio de procesos industriales, como la fabricación de acero, el recubrimiento metálico y el tratamiento de aguas residuales. La exposición a este metal puede causar múltiples efectos negativos en la salud, que van desde irritación cutánea y dificultades respiratorias hasta el desarrollo de cáncer en situaciones más extremas. Asimismo, la polución del agua y del suelo debido al cromo puede afectar gravemente a la flora y fauna de la zona, alterando los ecosistemas y poniendo en riesgo la biodiversidad (Ben-Tahar et al., 2025).

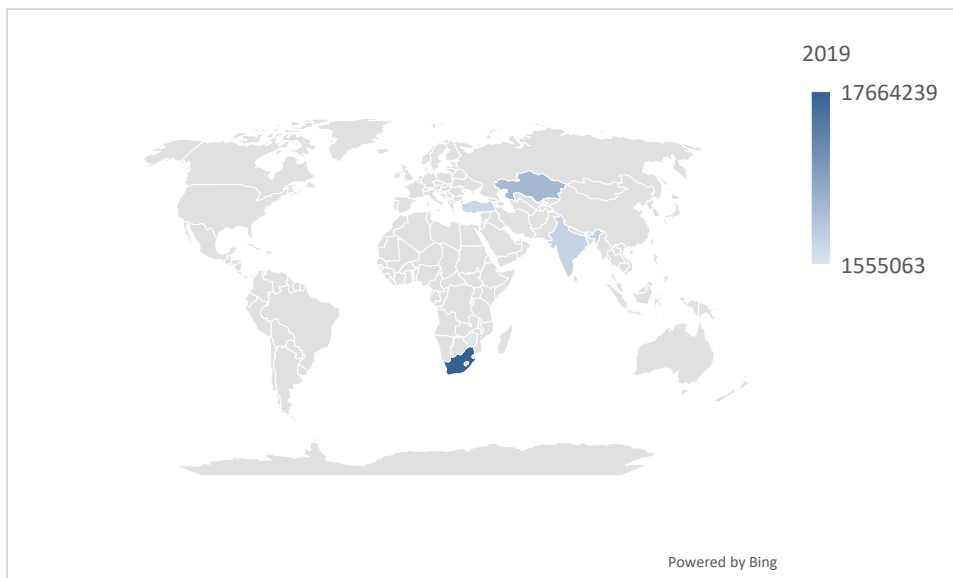


Figura 3:Cobalto

Para el caso del cobalto , los principales productores como se observa en la Figura 4, se localiza en el Congo con 129838 de Tm alcanzada en 2023, seguido de Australia, Rusia, Cuba y Canadá, El cobalto, aunque es un componente clave en la fabricación de aleaciones y en sistemas de almacenamiento de energía, puede causar consecuencias perjudiciales en la salud humana y en los ecosistemas si no se trata con el cuidado necesario. La exposición a altas concentraciones de cobalto puede resultar en complicaciones respiratorias, problemas cutáneos y repercusiones adversas en el sistema cardiovascular (He et al., 2025). Asimismo, la extracción y el tratamiento del cobalto pueden liberar este metal en el suelo y en cuerpos de agua, lo que contamina el medio ambiente y afecta a la vegetación y la fauna de la zona.

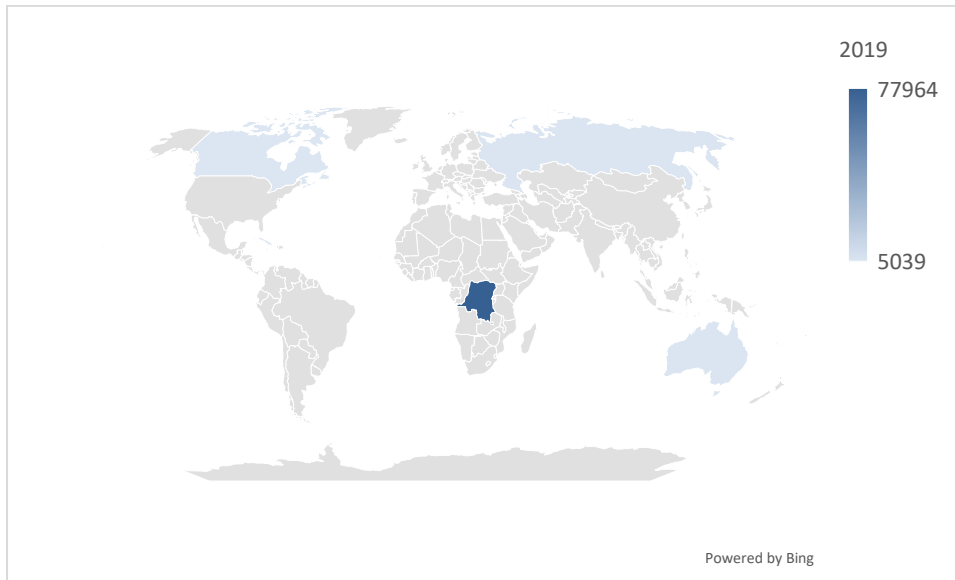


Figura 4: Cobre

Con relación al cobre, los principales productores como se observa en la Figura 4, se localiza en Chile con 6372694 de Tm alcanzada en 2023, seguido de Perú, Congo, China y Rusia, Cuando se exponen grandes volúmenes de cobre en el suelo o en el agua, esto puede causar toxicidad en la vida acuática, impactando la diversidad biológica y modificando las cadenas tróficas. Asimismo, la exposición continua al cobre podría acarrear consecuencias negativas para la salud humana, como malestares estomacales y afecciones hepáticas (Samani et al., 2025).

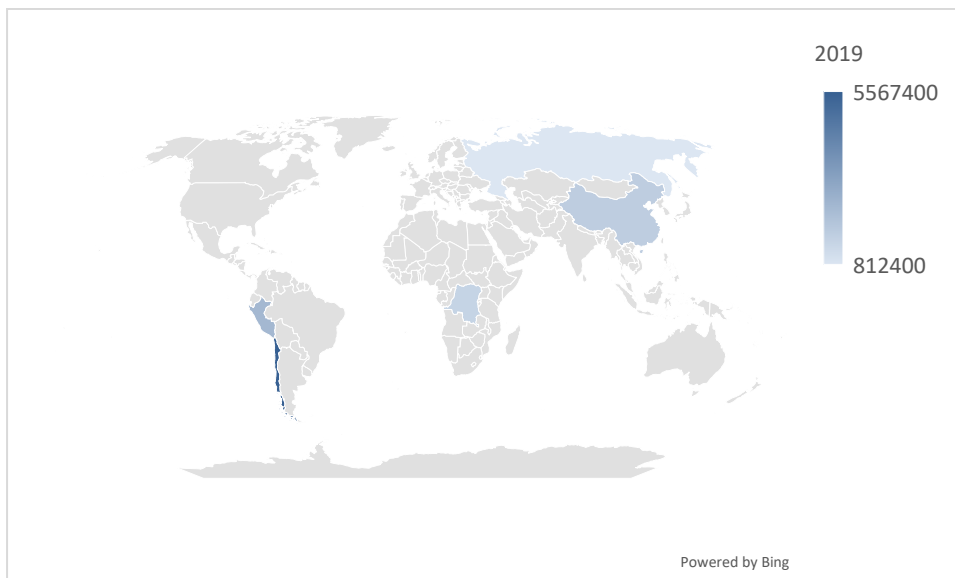


Figura 5 : Oro

Para el caso del Oro , los principales productores como se observa en la Figura 5, se localiza en China con 380230 de Tm alcanzada en 2019, seguido de Rusia, Canadá, USA y Ghana, La extracción de oro, frecuentemente llevada a cabo a través de técnicas básicas, utiliza mercurio para combinarse con el mineral, lo que provoca que este contaminante se libere en la naturaleza (Craw & Palmer, 2025). Este metal pesado, al ser altamente perjudicial, puede contaminar las aguas, impactando tanto a la vida marina como a las comunidades que dependen de dichos recursos para sobrevivir. Asimismo, la exposición continua al mercurio puede causar graves problemas de salud en las personas, tales como afecciones neurológicas y lesiones renales.

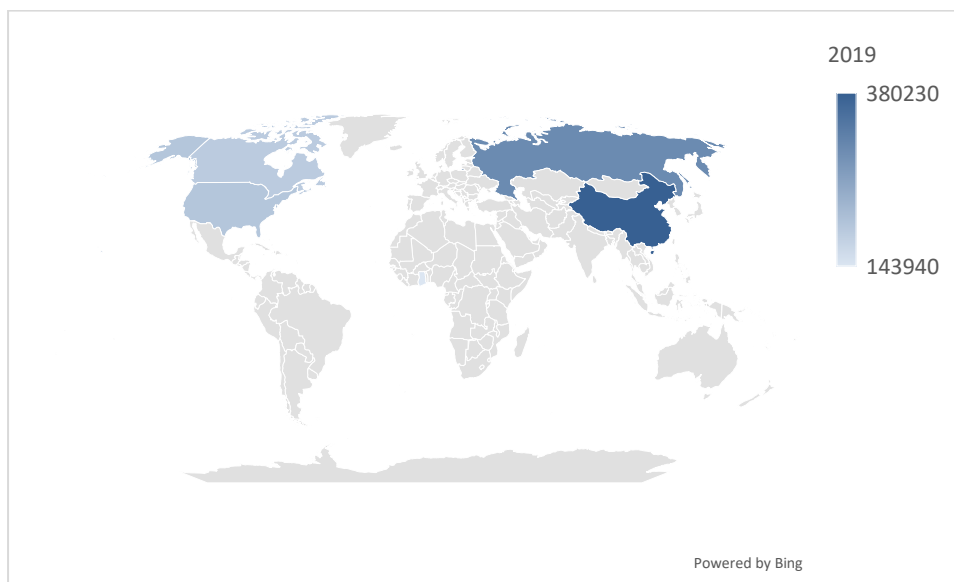


Figura 6: Zinc

Finalmente, para el caso del Zn , los principales productores como se observa en la Figura 6, se localiza en Indonesia con 853000 de Tm alcanzada en 2019, seguido de Rusia, Canadá, Australia y China, Cuando el zinc se concentra en suelos y aguas, puede influir negativamente en la vegetación y vida silvestre de la región, perturbando los ciclos biogeoquímicos y causando toxicidad en los seres acuáticos. Asimismo, el contacto prolongado con el zinc puede impactar la salud de las personas, generando dificultades respiratorias y gastrointestinales, además de efectos adversos en el sistema inmunológico (Wang et al., 2025).

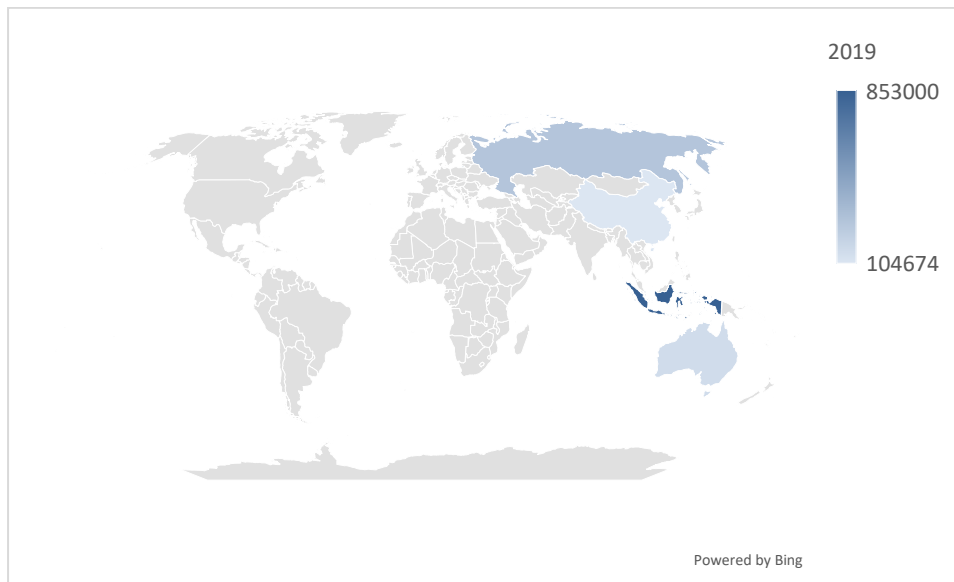


Figura 7: Antropogenia

Al analizar los resultados de los problemas de contaminación química, analizando las causas de la contaminación química causada por actividades antropogénicas los resultados de la investigación revelan que las actividades antropogénicas relacionadas principalmente con la contaminación química son la minería (Setu, & Strezov, 2025) es uno de los principales contaminantes y metales pesados). productos químicos agrícolas, que son sustancias que, si no se eliminan adecuadamente, tienden a acumularse a través de la escorrentía, la erosión y la lixiviación, lo que da como resultado que estos productos se filtren en las aguas subterráneas o en los embalses.

Los resultados revelan que en o lugares expuestos a la contaminación por metales pesados y fuentes de las actividades antropogénicas conducen a la acumulación de elementos químicos en los acuíferos (Wu et al., 2025) y como embalses afectando tanto la calidad del agua utilizada para riego como para consumo humano, teniendo en cuenta la agravante de que el consumo de agua contaminada pone en peligro la salud de los consumidores, ya que muchos de estos productos son altamente tóxicos y algunos cancerígenos, finalmente en relación con los problemas de contaminación del suelo y del agua; Los problemas ambientales se pueden resumir en unos pocos aspectos esenciales, en primer lugar, daños a los ecosistemas y problemas de salud, como lo indica el número de estudios en la Tabla 2.



Tabla 2. Daños a ecosistema y salud por explotación mundial minera y acumulación de metales pesados entre 2019-2023 de Aluminio, Cadmio, Cromo, Cobalto, Oro, Níquel

	Suelos	Agua	Microrganismos	Ictiofauna	Salud
Aluminio	22	112	9	7	21
Cadmio	77844	205397	35133	38418	109144
Cromo	14935	86352	89990	9000	37574
Cobalto	39305	269630	28799	22708	89991
Cobre	152133	997292	98639	81343	293509
Oro	98556	709551	91652	78889	509266
Níquel	66698	431947	40589	30781	125921

La minería a nivel mundial ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, motivada por la alta demanda de recursos naturales y metales valiosos. Este crecimiento ha resultado en la apertura de numerosas operaciones mineras en diferentes partes del planeta, muchas de las cuales se sitúan en regiones ricas en biodiversidad y en territorios de pueblos originarios. La extracción de minerales, aunque crucial para el progreso industrial y tecnológico, presenta serios problemas tanto ambientales como sociales (Hoxha et al., 2025). La actividad humana en estos ecosistemas delicados no solo transforma el entorno, sino que también puede generar contaminación en suelos y fuentes de agua, afectando a las comunidades locales y a la flora y fauna que dependen de esos ecosistemas.

Uno de los aspectos más alarmantes relacionados con la minería es la presencia de metales pesados en el entorno (Wang et al., 2025). Elementos como el mercurio, el plomo y el cadmio, que surgen como subproductos de la minería y el tratamiento de minerales, pueden infiltrarse en el suelo y en los cuerpos acuáticos, provocando efectos adversos en la salud pública y en el medio ambiente. La exposición a estos metales pesados puede desencadenar graves enfermedades en las personas, incluidos trastornos neurológicos y problemas de crecimiento en los niños. Además, la acumulación de estos metales a lo largo de la cadena alimentaria puede tener consecuencias devastadoras sobre la fauna local, alterando la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas.

Es urgente adoptar un enfoque más sostenible en la minería. Es crucial aplicar métodos que reduzcan el impacto ambiental y favorezcan la regeneración de áreas perjudicadas. Esto implica utilizar tecnologías más ecológicas, establecer normativas rigurosas para la actividad minera y fomentar la responsabilidad social en las empresas (Cotrina et al., 2025). Asimismo, es vital incluir a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones y en la gestión de los recursos



naturales, asegurando que se respeten sus derechos y se salvaguarden sus modos de vida. Solo mediante un esfuerzo conjunto entre gobiernos, empresas y la sociedad se puede lograr una minería más responsable y sostenible, que equilibre el crecimiento económico con la protección del entorno y la salud de la población.

Conclusiones

Las actividades antropogénicas han creado graves problemas de contaminación, ya que las principales actividades que producen contaminantes químicos, como la minería, se producen principalmente en países con tradición minera. Los problemas de contaminación se manifiestan por la acumulación de contaminantes de metales pesados, especialmente en el suelo y el agua, que afectan la microbiota del suelo, la ictiofauna, contaminan las aguas subterráneas por escorrentía y lixiviación, lo que a largo plazo puede amenazar la calidad del agua potable, la salud humana y la seguridad alimentaria, generando graves problemas de salud.

Si bien la minería de oro y aluminio no es un metal pesado, lo que resulta en una menor disponibilidad de agua potable, degradación de las tierras agrícolas y un mayor riesgo de problemas de salud pública, debido a su presencia, en el caso del aluminio no es un metal pesado, su acumulación en el suelo se asocia con una disminución del pH, lo que conduce a la acidificación del suelo. fósforo, una disminución de la solubilidad de los nutrientes y una disminución drástica de la actividad biológica del suelo, mientras que la minería del oro, a menudo realizada con métodos básicos, utiliza mercurio que se une al mineral, provocando que esta contaminación se escape a la naturaleza. Contamina el suelo y el agua y afecta la salud pública.

Los riesgos que plantea la presencia de contaminantes, si bien juegan un papel importante en la degradación de los ecosistemas, son una amenaza importante relacionada con sus efectos en la salud de la población, ya que se ha informado que la exposición a estos químicos está asociada con problemas de infertilidad, desarrollo hepático, enfermedades neurológicas y respiratorias y un mayor riesgo de morbilidad y mortalidad que aumentan la calidad de vida y la mortalidad. el número de personas expuestas a estos químicos en los ecosistemas. contaminado.



Referencias bibliográficas

- Bech, J., Pradenas, D., Tume, P., Cornejo, Ó., Pedreros, J., Toledo, S., ... & Roca, N. (2025). Human Health Risk Associated with As, Cu, Pb, and Zn in Soils of the Aconcagua and Casablanca River Basins, Valparaíso Region, Chile. *Applied Sciences*, 15(5), 2581. <https://doi.org/10.3390/app15052581>
- Ben-Tahar, R., Basraoui, N. E., Boukich, O., & Smiri, Y. (2025). Health risks associated with potentially toxic elements in three fish species from Betoja Bay, Morocco: An integrated approach to human health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 210, 117341. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117341>
- Cai, R., Wang, Y., & Li, R. (2025). Study on the transformation mechanism of heavy metals and phosphorus and their bioavailability during sludge composting under functional membrane coverage. *Chemical Engineering Journal*, 168735. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.168735>
- Cotrina-Teatino, M. A., & Marquina-Araujo, J. J. (2025). Circular economy in the mining industry: A bibliometric and systematic literature review. *Resources Policy*, 102, 105513. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105513>
- Craw, D., & Palmer, M. (2025). Anthropogenic Hg-Au residues from placer mining compared to natural Au-Hg sources, South Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 68(2), 342-361. https://doi.org/10.1080/00288306.2025.2455044?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Custodio, M., Pizarro, S., Huarcaya, J., Ortega, K., & Ccopi, D. (2025). Ecological and human health risk assessment of heavy metals in mining-affected river sediments in the Peruvian Central highlands. *Toxics*, 13(9), 783. <https://doi.org/10.3390/toxics13090783>
- Daud, M., Qiao, H., Xu, S., Hui, X., Adil, M., & Lu, Y. (2025). Understanding abiotic stress in alfalfa: physiological and molecular perspectives on salinity, drought, and heavy metal toxicity. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1627599. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1627599>
- Dehkordi, M. M., Nodeh, Z. P., Dehkordi, K. S., Khorjestan, R. R., & Ghaffarzadeh, M. (2024). Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods. *Results in Engineering*, 23, 102729. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>



- Fang, P., Wang, Y., Chen, N., Gao, K., Gong, W., Yang, L., ... & Yang, J. (2025). Association of blood trace metals with anemia in children aged 6–17 years old. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 89, 127655. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2025.127655>
- Fu, D., Gong, Y., Liu, H., Zhou, L., Xiang, W., & Du, C. (2025). Characteristics, water quality, health risks and sources of heavy metals of Qu River Basin. *Journal of Geochemical Exploration*, 271, 107676. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2025.107676>
- Gómez-Oquendo, G., Fernandez-Curi, M., Carrión-Carrera, G., Garcia, S., Velarde-Guillén, J., & Gómez-Bravo, C. (2026). Heavy metals and selenium in pastures of a high Andean mining area and its relationship with their content in water and soil. *Journal of Ecological Engineering*, 27(1), 280-291. <https://doi.org/10.12911/22998993/209671>
- He, C., Gao, M., He, T., & Xing, F. (2025). Association of cobalt exposure with all-cause and cardiovascular mortality in US adults. *BMC Public Health*, 25(1), 1757. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-22753-w>
- Hoxha, E., Symochko, L., & Pinheiro, M. N. C. (2025). The environmental impact of mining activities in Europe: a comprehensive analysis. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 66, 30-42. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/20521>
- Idoine, N.E., Raycraft, E.R., Hobbs, S.F., Everett, P., Evans, E.J., Mills, A.J., Shaw, I R., Watkins, I., and Shaw, R.A. 2025. World Mineral Production 2019-23. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham. <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/world-mineral-statistics/>
- Li, P., Liu, C., Zhang, L., Liu, Z., Fu, Z., Fan, G., ... & Zhang, L. (2025). Interactions between riverine sediment organic matter molecular structure and microbial community as regulated by heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 486, 136998. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136998>
- Manna, S., & Firdous, S. M. (2025). Unravelling the developmental toxicity of heavy metals using zebrafish as a model: a narrative review. *BioMetals*, 1-45. <https://doi.org/10.1007/s10534-025-00671-z>
- Moradnia, M., Broberg, K., Lozano, M., Chavoshani, A., Salari, M., Attar, H. M., ... & Darvishmotevalli, M. (2025). Association between urinary heavy metal concentrations, thyroid hormones, and birth outcomes among pregnant women in Isfahan City. *Scientific reports*, 15(1), 24264. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10137-4>



- Qiu, H., Wen, S., Zhang, L., Xu, M., & Cai, Z. (2025). Total aluminum reduced but aluminum hydroxide increased in red soil of southern China after long-term swine manure amendment. *Plant and Soil*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07492-6>
- Salvat-Leal, I., Verdiell, D., Parrondo, P., Barcala, E., Muñoz, P., & Romero, D. (2025). Cadmium and lead in European eels from the river Segura (southeast Iberian Peninsula). *Limnetica*, 44(1), 000-000. <https://doi.org/10.23818/limn.44.08>
- Samani, M., Ahlawat, Y. K., Golchin, A., Bybordi, A., Sharma, N., & Alikhani, H. A. (2025). Evaluating seasonal health risks of copper, nickel, and chromium in airborne dust. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 18(4), 1147-1167. <https://doi.org/10.1007/s11869-025-01704-9>
- Setu, S., & Strezov, V. (2025). Impacts of non-ferrous metal mining on soil heavy metal pollution and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 969, 178962. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178962>
- Sharma, M., Kant, R., Sharma, A. K., & Sharma, A. K. (2025). Exploring the impact of heavy metals toxicity in the aquatic ecosystem. *International Journal of Energy and Water Resources*, 9(1), 267-280. <https://doi.org/10.1007/s42108-024-00284-1>
- Shetty, B. R., Jagadeesha, P. B., & Salmataj, S. A. (2025). Heavy metal contamination and its impact on the food chain: exposure, bioaccumulation, and risk assessment. *CyTA-Journal of Food*, 23(1), 2438726. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2438726>
- Sindhu, S. S., Sehrawat, A., & Glick, B. R. (2022). The involvement of organic acids in soil fertility, plant health and environment sustainability. *Archives of Microbiology*, 204(12), 720. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03321-x>
- Veiga, M. M., Anene, N. C., & Silva, E. M. (2025). Four Decades of Efforts to Reduce or Eliminate Mercury Pollution in Artisanal Gold Mining. *Minerals*, 15(4), 376. <https://doi.org/10.3390/min15040376>
- Wang, H., Gan, X., & Tang, Y. (2025). Mechanisms of heavy metal cadmium (Cd)-induced malignancy. *Biological Trace Element Research*, 203(2), 608-623. <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04189-2>
- Wang, L., Liu, Q., & Bai, R. (2025). Soil Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment Based on Monte Carlo Simulation: Case Study of Xicheng Lead-Zinc Mining Area. *Sustainability*, 17(9), 3963. <https://doi.org/10.3390/su17093963>



Wang, J., Wang, B., Zhao, Q., Cao, J., Xiao, X., Zhao, D., ... & Wu, D. (2025). Sources analysis and risk assessment of heavy metals in soil in a polymetallic mining area in southeastern Hubei based on Monte Carlo simulation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 290, 117607.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117607>

Wu, Z. Q., Li, H. Y., Lü, L. Y., Liang, G. J., Wu, T. T., & Zhu, J. X. (2025). Distributions and risk assessment of heavy metals in solid waste in lead-zinc mining areas and across the soil, water body, sediment and agricultural product ecosystem in their surrounding areas. *China Geology*, 8(1), 92-106.

<https://doi.org/10.31035/cg2024036>

Yang, Y., Hassan, M. F., Ali, W., Zou, H., Liu, Z., & Ma, Y. (2025). Effects of cadmium pollution on human health: A narrative review. *Atmosphere*, 16(2), 225.

<https://doi.org/10.3390/atmos16020225>

Zhang, H., Li, Q., Zhao, M., Yang, Y., Bai, R., Jiang, X., & Li, T. (2025). Leaching law of heavy metals in coal gangue: A combination of experimental optimization and simulation. *Journal of Hazardous Materials*, 484, 136790. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136790>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.