

Socio-Environmental Impact of Mining in Latin America: A Systematic Review

León-Velarde, César Gerardo ¹; Javier Espinoza, Shantal Cielo²; León Rituay, Karol Jovita³; Miranda Chuquillanqui, Graciela Esther⁴; Salazar Deza, Carmen Angélica ⁵; Morales-Romero, Guillermo Pastor ⁶

^{1, 2, 3, 4} Universidad Nacional Federico Villarreal, Peru, cleon@unfv.edu.pe, 2025006536@unfv.edu.pe, 2025009135@unfv.edu.pe, 2025030097@unfv.edu.pe

⁵Universidad Tecnológica del Peru, Peru, c17059@utp.edu.pe

⁶Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Perú, gmorales@une.edu.pe

Abstract— *The following analysis of the systematic review highlights the socio-environmental impacts resulting from mining between 2020 and 2025 (Latin America), taking into account its environmental, social, and regulatory consequences. Following the PRISMA guidelines and the PICO model, 142 articles were recorded in the Scopus database, of which 31 articles satisfactorily met the established inclusion criteria. Thus, the results confirm that mining (mainly gold and copper) causes severe contamination of water bodies, soils, and ecosystems, especially due to the presence of heavy metals such as mercury (Hg), lead (Pb), arsenic (As), zinc (Zn), and cadmium (Cd), which exceed international standards. Countries such as Ecuador, Peru, Colombia, Chile, and Brazil are prime examples of this environmental dilemma, which directly harms public health and causes biodiversity loss. Similarly, the research reviewed shows flaws in mining waste management and poor environmental regulation, factors that increase the dangers to both the natural environment and communities. However, we have identified progress in the application of environmental recovery methods, such as the use of plants to purify soils and stabilization with basic compounds, along with initiatives aimed at more responsible and environmentally friendly mining. Finally, we highlight the importance of strengthening legislative frameworks, promoting public involvement, and strengthening collaboration between regions in order to harmonize economic growth with environmental protection and the safety of nearby populations.*

Keywords—Mining, socio-environmental impact, pollution, Latin America, environmental sustainability.

Impacto Socioambiental de la Minería en América Latina: Una Revisión Sistemática

León-Velarde, César Gerardo ¹; Javier Espinoza, Shantal Cielo²; León Rituay, Karol Jovita³; Miranda Chuquillanqui, Graciela Esther⁴; Salazar Deza, Carmen Angélica ⁵; Morales-Romero, Guillermo Pastor ⁶

^{1, 2, 3, 4} Universidad Nacional Federico Villarreal, Peru, cleon@unfv.edu.pe, 2025006536@unfv.edu.pe, 2025009135@unfv.edu.pe, 2025030097@unfv.edu.pe

⁵Universidad Tecnológica del Peru, Peru, c17059@utp.edu.pe

⁶Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Perú, gmorales@une.edu.pe

Resumen– La presente revisión sistemática analiza los impactos socioambientales, los cuales son resultados de la minería en el lapso de 2020-2025 (América Latina), tomando en cuenta sus consecuencias ambientales, sociales y normativas. Siguiendo la guía PRISMA y el modelo PICO, se registraron 142 artículos en la base de datos Scopus, de los cuales 31 artículos cumplieron satisfactoriamente con los criterios de inclusión establecidos. Es así como, los resultados dan la certeza que la minería (principalmente la de oro y cobre) provoca una fuerte contaminación de cuerpos de agua, suelos y ecosistemas, principalmente por la presencia de metales pesados como mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), zinc (Zn) y cadmio (Cd), los cuales sobrepasan la normativa internacional impuesta. Esta problemática se observa en distintos países de la región, los cuales se ven afectados por esta disyuntiva ambiental, perjudicando directamente la salud pública además de la pérdida de biodiversidad. De igual manera, las investigaciones revisadas muestran fallas en el manejo de los desechos mineros y una escasa regulación ambiental, elementos que incrementan los peligros tanto para el entorno natural como para las comunidades. Sin embargo, identificamos progresos en la aplicación de estrategias de remediación, como la fitorremediación y la estabilización química, así como iniciativas que apuntan a una extracción minera más responsable y ecológica. Finalmente, resaltamos la importancia de incrementar los marcos regulatorios, mejorar los sistemas de monitoreo ambiental y fomentar la participación comunitaria, con el fin de armonizar el crecimiento económico con la protección ambiental y la seguridad de las poblaciones.

Palabras clave– minería, impacto socioambiental, contaminación, América Latina, sostenibilidad ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

Si bien la minería y las actividades relacionadas con la extracción de recursos son fundamentales para la economía de América Latina, también están vinculadas a consecuencias ambientales, sociales y normativas de gran magnitud. Numerosos estudios señalan que estas prácticas contribuyen significativamente a la contaminación de ríos y lagos, al deterioro de los suelos, a la pérdida de biodiversidad y a problemas de salud en las poblaciones cercanas. Estos efectos han sido documentados en distintos países de la región, particularmente en contextos de minería artesanal y de pequeña escala, donde el manejo inadecuado de residuos genera una alta presencia de metales pesados en los ecosistemas [1]. De la misma forma, investigaciones realizadas sobre depósitos de

relaves en áreas auríferas han señalado altos niveles de contaminación, donde predominan elementos como el arsénico, el antimonio y el zinc [2], [3], [4].

La contaminación derivada de la minería, así como otros impactos ambientales relacionados, es un problema recurrente que afecta tanto a la biodiversidad como a los ecosistemas acuáticos en América Latina. En distintos países de la región, como Perú y Chile, se ha evidenciado cómo la minería ilegal intensifica la contaminación de los cuerpos de agua y genera una disminución significativa en la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos [5]. De manera similar, el debate sobre los relaves submarinos ha ganado relevancia, dado que se ha demostrado que el vertido de estos residuos en el océano provoca la acumulación persistente de metales como cobre, cadmio y plomo, afectando tanto a la fauna bentónica como a la pelágica [6].

En este contexto, es crucial entender cómo las actividades mineras en América Latina están influyendo de manera significativa en el deterioro de los ecosistemas y en la salud de las comunidades locales. Así, la pregunta que guía esta investigación es:

¿De qué manera las actividades mineras en América Latina están contribuyendo al deterioro de los ecosistemas, afectando la biodiversidad y exponiendo a las comunidades locales a riesgos significativos de salud pública debido a la contaminación por metales pesados y otros elementos tóxicos?

Para abordar esta problemática, se plantea como objetivo analizar de qué manera las actividades mineras en América Latina contribuyen al deterioro de los ecosistemas, afectan la biodiversidad y generan riesgos significativos para la salud pública de las comunidades locales a causa de la contaminación por metales pesados y otros elementos tóxicos. De esta manera, el planteamiento permite contextualizar la importancia de examinar no solo los impactos ambientales inmediatos, sino también las dimensiones sociales y normativas asociadas.

Más allá de los casos puntuales ya mencionados, diversos estudios destacan la importancia de la gobernanza ambiental y el derecho en el contexto de la minería. Asimismo, se ha identificado que es urgente reforzar los marcos regulatorios

existentes, ya que muchos de ellos no logran abordar adecuadamente los riesgos ambientales derivados de estas actividades. Además, se ha subrayado la necesidad de integrar la salud pública de manera más efectiva dentro de las políticas ambientales, dado que las comunidades cercanas a las zonas mineras son las más vulnerables a los impactos negativos [7]. También se han identificado múltiples conflictos relacionados con el uso del suelo y la gestión territorial en las áreas mineras, destacando la falta de un enfoque adecuado para gestionar las tensiones entre la expansión de la minería y la protección de los recursos naturales [8]. Por otro lado, se reconoce la urgencia de implementar una gestión integrada de los recursos hídricos en las zonas mineras, lo cual es fundamental para mitigar la presión sobre los ecosistemas acuáticos y garantizar el abastecimiento de agua para las comunidades, a la vez que se preservan los ecosistemas acuáticos que sostienen la biodiversidad y las economías locales [9].

De forma complementaria, en Ecuador se ha demostrado que los sistemas fluviales en el distrito minero de Ponce Enríquez presentan concentraciones de aluminio, hierro, plomo y zinc muy por encima de los límites permitidos, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando los lixiviados y drenajes ácidos transportan metales hacia los ríos. La correlación estadística entre estos elementos sugiere un origen combinado de actividades mineras, características geológicas y prácticas agrícolas, lo que complejiza el proceso de remediación y gestión Ambiental [10]. Estos hallazgos evidencian cómo la minería artesanal y de pequeña escala, aunque genera empleo en áreas rurales, también representa un foco crítico de contaminación y riesgo para la seguridad hídrica de comunidades locales.

En Perú, la situación de la cuenca Camaná-Majes confirma que la minería ilegal ha degradado significativamente la calidad del agua, provocando alteraciones en la composición hidroquímica y reducciones notables en la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos [5]. La pérdida de estos organismos, considerados bioindicadores, implica un deterioro estructural de los ecosistemas, con consecuencias directas para las poblaciones que dependen de los ríos como fuente de agua y sustento económico.

En Colombia, los problemas ambientales derivados de la minería aurífera han sido ampliamente documentados en Antioquia. Estudios recientes plantean modelos de zonificación ambiental que combinan indicadores de carga contaminante junto con bioindicadores vegetales, con el fin de clasificar las áreas según su nivel de riesgo. Los resultados muestran zonas altamente contaminadas con plomo (hasta 2,345 mg/kg) y cadmio (65 mg/kg), lo que representa un nivel de toxicidad elevado y compromete la salud pública en los municipios afectados [11]. Asimismo, estudios específicos evidencian la persistencia de contaminantes como cianuro y metales pesados en cuerpos de agua, así como la acumulación de sedimentos contaminados que generan pasivos ambientales a largo plazo [12].

En Brasil, la expansión minera amenaza tanto los ecosistemas como la integridad de pueblos indígenas en aislamiento voluntario, ya que recientes iniciativas legislativas

24th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering without Borders: Artificial Intelligence, Knowledge, Innovation, and Alliances for a Future from the Americas". Hybrid Event, Santiago-Chile, July 15 - 17, 2026

buscan ampliar el acceso a territorios tradicionalmente protegidos, lo que podría incrementar los impactos socioambientales en estas poblaciones [13]. De manera paralela, el consumo de peces contaminados con mercurio constituye una de las principales vías de intoxicación para las comunidades ribereñas amazónicas. Se han encontrado concentraciones de mercurio en especies de peces amazónicos, como *Ageneiosus brevifilis*, que superan el límite permitido por la legislación brasileña ($1 \mu\text{g g}^{-1}$), representando un riesgo significativo de bioacumulación y afectaciones neurológicas y cardiovasculares en las poblaciones indígenas [14].

En Chile, la presión de la minería sobre los recursos hídricos ha generado conflictos persistentes en regiones áridas como Tarapacá. Las comunidades locales denuncian la sobreexplotación de acuíferos que alimentan oasis y humedales, mientras que las empresas defienden sus derechos de extracción mediante modelos hidrogeológicos cuestionados por su falta de precisión. Estos conflictos ponen en evidencia la dificultad de compatibilizar la explotación de cobre, pilar económico del país, con la protección de los ecosistemas altoandinos [15].

En este contexto regional, resulta evidente que los impactos de la minería en América Latina trascienden lo estrictamente ambiental, ya que involucran dimensiones sociales, económicas y culturales. La gobernanza ambiental enfrenta el desafío de integrar herramientas interdisciplinarias que permitan evaluar riesgos de forma integral. El empleo de índices de toxicidad acuática, zonificación basada en elementos traza y biomonitoreo vegetal ha demostrado ser útil para identificar áreas críticas y orientar estrategias de remediación [11], [12]. A la vez, se requiere reforzar los marcos regulatorios y garantizar la participación de las comunidades afectadas en los procesos de toma de decisiones, con el fin de promover un equilibrio entre desarrollo económico, justicia social y sostenibilidad ambiental [13], [15].

II. METODOLOGÍA

Durante el proceso de búsqueda se realizó la identificación de artículos relacionados con la investigación, y es así que en nuestra revisión sistemática de la literatura empleamos la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Esta metodología permitió recopilar, evaluar y sintetizar información científica actual sobre los impactos socioambientales generados por la minería en América Latina, considerando tanto sus efectos negativos como las estrategias de mitigación implementadas en distintos países de la región.

El objetivo principal de esta revisión fue identificar y analizar estudios recientes que trataran los efectos ambientales, sociales y económicos de la actividad minera, sobre todo aquellos que se vinculan a la contaminación de cuerpos de agua, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y los conflictos sociales en las comunidades cercanas.

En este sentido, se planteó la siguiente pregunta general de investigación:

¿De qué manera las actividades mineras en América Latina

están contribuyendo al deterioro de los ecosistemas, afectando la biodiversidad y exponiendo a las comunidades locales a riesgos significativos de salud pública debido a la contaminación por metales pesados y otros elementos tóxicos?

Con base en el enfoque PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultado), se formularon las siguientes preguntas específicas que orientaron el desarrollo de la investigación:

- 1.¿Qué impactos socioambientales produce la minería en la región de América Latina?
- 2.¿Cómo influyen los diferentes tipos de minería en el ambiente y en las comunidades?
- 3.¿Existen diferencias en los impactos socioambientales dependiendo del nivel de regulación o ausencia de regulación minera?
- 4.¿Cuáles son los resultados visibles y medibles de la minería en América Latina en términos de sostenibilidad ambiental?

Para el desarrollo del proceso de búsqueda, se consultó la base de datos científica: Scopus, en el cual se empleó un algoritmo y palabras claves en inglés, tales como: “mining”, “environmental impact”, “socio-environmental impact”, “Peru”, “Brazil”, “Colombia”, “Ecuador”, “Chile”, “Bolivia”, “Argentina” y “regulated mining”. Estas combinaciones permitieron obtener resultados extensos y actualizados relacionados con el tema central de la investigación.

Por otro lado, se aplicaron filtros para refinar la búsqueda y garantizar la calidad de los artículos seleccionados. Se consideraron solamente investigaciones que fueron publicadas entre los años 2020 y 2025, con revisión de acceso abierto y directamente vinculadas al impacto ambiental y social de la minería. En los artículos se descartaron documentos repetidos, informes institucionales sin validación académica y estudios no relacionados con América Latina.

Este procedimiento ayudó a construir una visión integral de los impactos de la minería en América Latina y las posibles soluciones orientadas hacia una actividad minera más responsable y sostenible.

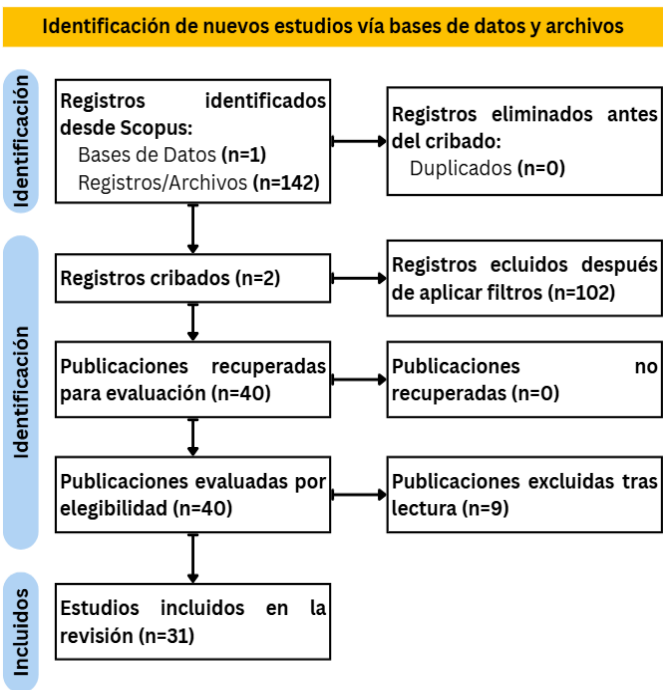


Fig. 1 Diagrama PRISMA

El proceso de identificación, filtración y selección de los estudios analizados se muestran en la Fig. 1, según la metodología PRISMA.

Una vez establecidos los artículos, se emplearon los criterios de inclusión detallados en la Tabla I.

TABLA I
TABLA DE INCLUSIÓN

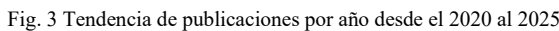
C1	Estudios publicados entre 2020 y 2025 .
C2	Investigaciones cuantitativas, cualitativas o mixtas revisadas por pares.
C3	Artículos en ingeniería, medio ambiente o ciencias sociales aplicadas a la minería .
C4	Documentos en inglés o español , con acceso libre .
C5	Estudios desarrollados en América Latina .
C6	Estudios con resultados completos y verificables (tablas, gráficos o indicadores).

III. RESULTADOS

En la búsqueda inicial se identificaron 142 artículos. Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, 40 artículos pasaron a revisión a texto completo. Finalmente, 31 estudios cumplieron con los criterios y fueron incluidos en el análisis final. El proceso de selección se detalla en el diagrama de flujo PRISMA (Fig 1).

Country	Cases per 100,000 people
Brazil	11.5
Ecuador	10.0
Colombia	7.0
Peru	6.0
Spain	6.0
Chile	5.0
Italy	5.0
Mexico	3.0
United Kingdom	3.0
France	2.0

Durante los años 2021 y 2022 se mantuvo una producción constante de 6 documentos, seguida de una disminución en 2023 (3 documentos). Posteriormente, en 2024 se observó un incremento significativo (12 documentos), reflejando un mayor interés en la temática, mientras que en 2025 se registró una leve disminución (9 documentos). En general, los resultados evidencian un crecimiento sostenido en los últimos años, lo que confirma la vigencia del tema investigado.



Este resultado evidencia que la producción científica sobre

A donut chart illustrating the distribution of document types. The chart is divided into two segments: a large blue segment representing 'Article' at 89.5%, and a smaller red segment representing 'Review' at 10.5%. The labels and percentages are placed outside the chart with lines pointing to their respective segments.

Document Type	Percentage
Article	89.5%
Review	10.5%

En la Fig. 5 se presenta la red de coocurrencia de palabras clave obtenida con el software VOSviewer donde se observan los temas más frecuentes de los 31 artículos analizados, destacando cuatro grupos principales.

En conjunto, la red muestra que los estudios se enfocan principalmente en los efectos de la minería sobre el ambiente y la salud, mientras que los temas de producción limpia y desarrollo sostenible están ganando mayor interés.



A. Contaminación por metales pesados y riesgo sanitario

Los estudios revisados evidencian que la contaminación por metales pesados constituye un problema ambiental y sanitario recurrente en regiones mineras e industriales de América Latina.

En el caso de Ecuador, se reportaron concentraciones elevadas de Cu, Pb, Zn, Fe y Al en ríos del distrito de Ponce Enríquez, asociados a descargas mineras [10]. Asimismo, en la región andina, la presencia de Hg en aguas subterráneas superó los límites de seguridad, generando riesgo no carcinogénico en la población infantil [16]. Por otro lado, en la Amazonía ecuatoriana, los niveles de Hg y Cd exceden las normas ambientales, con altos niveles de riesgo ecológico y alimentario por bioacumulación en peces [17].

De manera complementaria, en zonas mineras como Santa Rosa se evidenciaron concentraciones elevadas de Al, Cd, Cu, Mn y Zn en cuerpos de agua cercanos a actividades extractivas, superando los límites permisibles. Asimismo, se identificó un riesgo cancerígeno asociado a la exposición al arsénico en poblaciones que utilizan los ríos con fines recreativos [18].

Adicionalmente, un análisis de depósitos mineros en Ecuador evidenció una distribución generalizada de elementos potencialmente tóxicos como Hg, Cd y As, particularmente en zonas de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE), caracterizada por su baja tecnificación y limitada supervisión ambiental. Estos resultados muestran que la composición geológica de los depósitos, junto con la escasa regulación, incrementa el riesgo de contaminación y exposición para las comunidades cercanas [19].

En el caso de Chile, un estudio realizado en el desierto de Atacama analizó anillos de crecimiento de árboles para rastrear la contaminación asociada a la minería del cobre. Los resultados mostraron que, durante la década de 1990, el incremento de la producción elevó los niveles de metales en tierras indígenas, evidenciando una mayor deposición de contaminantes en zonas cercanas a la actividad minera [20].

De manera similar, con respecto a Colombia, en la Laguna Mallorquín se reportó la presencia de Hg, Cr, Cd y Ni por encima de los valores guía TEL/PEL (*Threshold Effect Level* y *Probable Effect Level*), que corresponden a niveles de referencia utilizados para evaluar la toxicidad de contaminantes en sedimentos; valores superiores al PEL indican una alta probabilidad de efectos adversos sobre los organismos acuáticos, al superar los niveles de referencia establecidos para estos contaminantes, clasificando así el ecosistema como moderadamente a fuertemente contaminado, lo que implica riesgos ecológicos y sanitarios [21].

Asimismo, en Brasil, estudios en comunidades indígenas Munduruku de la Amazonía documentaron niveles elevados de metilmercurio asociados a la minería aurífera ilegal, los cuales se relacionaron con alteraciones neurológicas, motoras y cognitivas, evidenciando un impacto directo en la salud de las poblaciones expuestas [22].

En cuanto a Perú, en la cuenca Camaná-Majes se mostró

un deterioro progresivo de la calidad del agua debido a la presencia de Pb, Zn y Cu, afectando la biodiversidad y la seguridad alimentaria local [5].

En conjunto, los resultados reflejaron un patrón común: la contaminación por Hg, Pb, Cd y As está vinculada principalmente a la actividad minera y al manejo inadecuado de residuos. Estos elementos, por su toxicidad crónica y capacidad bioacumulativa, representan los mayores riesgos para la salud humana, especialmente en comunidades rurales e infantiles.

B. Degradación ecológica e hídrica

Los estudios analizados evidenciaron una degradación ecológica y funcionalidad hídrica alterada en diversos ecosistemas andino-amazónicos, vinculada principalmente a la expansión minera, el cambio de uso del suelo y la erosión progresiva de las cuencas. En la cuenca del Tapajós (Brasil), los modelos de simulación indicaron un aumento sostenido en la producción y transporte de sedimentos en las zonas de mayor actividad minera. Este incremento de carga sedimentaria modifica la dinámica fluvial, genera colmatación de cauces y amenaza los hábitats acuáticos y la calidad del agua, reflejando un proceso de degradación ambiental ya en curso [23].

En los páramos del Parque Natural Regional Cortadera (Colombia), el cambio de uso del suelo hacia la agricultura y la ganadería redujo de manera significativa las reservas de carbono orgánico, pasando de valores de 290 tC ha⁻¹ en suelos conservados a menos de 40 tC ha⁻¹ en áreas intervenidas. Esta pérdida se asocia con compactación, erosión y disminución de la capacidad de retención hídrica del suelo, lo que limita su función como sumidero de carbono y su capacidad reguladora del ciclo del agua [24].

Por su parte, en la microcuenca Razuhuilca (Perú), el análisis morfométrico y de campo reveló una alta vulnerabilidad hídrica en las cabeceras sujetas a concesiones mineras. Las subcuencas superiores (Q1–Q2) presentaron pendientes superiores al 24 %, elevada torrencialidad y pérdida de cobertura vegetal, factores que incrementan la erosión y reducen la infiltración y el almacenamiento hídrico. A su vez, las comunidades locales reportaron la disminución de caudales y alteración de manantiales, vinculadas a las actividades extractivas y a la degradación del paisaje [25].

En conjunto, los resultados mostraron que la degradación ecológica e hídrica se intensifica por la interacción entre factores antrópicos (minería, deforestación, agricultura) y características geomorfológicas (pendientes pronunciadas y suelos frágiles). La consecuencia es una pérdida progresiva de calidad ecológica, estabilidad del suelo y capacidad de regulación hídrica, comprometiendo los servicios ecosistémicos esenciales y la sostenibilidad de las comunidades dependientes de estos sistemas.

C. Relaves mineros y remediación ambiental

Los estudios revisados evidencian que los relaves mineros constituyen una fuente crítica de contaminación y riesgo ambiental en la minería latinoamericana. En primer lugar, en Ecuador, el análisis de presas en la cuenca alta del río Puyango

mostró concentraciones extremadamente altas de As, Pb, Zn y Cu, superando los límites permisibles en más de 400 veces, lo que reveló un alto potencial contaminante asociado a residuos sulfurosos y drenaje ácido [2].

Por otro lado, en Chile, la disposición de relaves submarinos —como en Chañaral y Chapaco— provocó acumulaciones significativas de Cu, Cd, Pb y Zn en sedimentos costeros, generando así impactos negativos en la biodiversidad bentónica y en la calidad del agua. Aunque se implementaron sistemas de disposición profunda, la persistente falta de regulación específica ha mantenido la contaminación en los ecosistemas marinos [6].

De manera similar, en Perú, los relaves polimetálicos generaron impactos severos por fallas estructurales y drenaje ácido. El colapso del depósito de la mina Caudalosa liberó más de 57,000 m³ de lodos contaminados con Pb, Zn y As, afectando más de 120 km de cauces fluviales. No obstante, la neutralización con hidróxido de calcio demostró ser una medida eficaz, ya que elevó el pH de 2.6 a 8.5 y redujo más del 90 % de los metales disueltos, logrando cumplir con las normas ambientales [9], [26], [27].

Asimismo, diversos estudios han reportado la implementación de estrategias de Producción Más Limpia en relaves auríferos, basadas en la estabilización química de residuos y en tecnologías como la biolixiviación, la filtración selectiva y la fitorremediación. Estas alternativas han demostrado contribuir a la reducción de la carga contaminante y a la recuperación de metales residuales, favoreciendo la mitigación de impactos ambientales y la valorización de los desechos mineros [28], [29].

D. Gobernanza ambiental y conflictos socioambientales

Los estudios revisados evidencian que los conflictos socioambientales en la minería latinoamericana surgen principalmente por la desigualdad en la gestión de los recursos naturales y la falta de participación efectiva de las comunidades. En Chile, el modelo hídrico neoliberal establecido por el Código de Aguas de 1981 favoreció la privatización y excluyó los saberes locales, generando tensiones entre las comunidades y las empresas mineras. Asimismo, los actores locales enfrentan dificultades para hacer oír sus demandas, pues el Estado prioriza el conocimiento técnico y los modelos científicos sobre las experiencias territoriales [15].

Por otro lado, en Argentina, la gobernanza del litio reflejó una superposición entre normas públicas y estándares privados como los de la Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA). Aunque ambos promueven la evaluación ambiental y la participación, difieren en su alcance: la legislación nacional exige consulta previa, mientras que IRMA requiere consentimiento libre e informado, lo que genera una gobernanza fragmentada y con escasa rendición de cuentas [30].

En contextos de minería informal en la Amazonía, se ha evidenciado que las condiciones de trabajo precarias, la deforestación y el limitado acceso a servicios de salud

incrementan la exposición de las comunidades a enfermedades zoonóticas. En poblaciones mineras se han reportado altas prevalencias de infecciones como leptospirosis, asociadas a la interacción directa con ambientes contaminados y fauna silvestre [31].

En conjunto, los resultados muestran que la gobernanza ambiental en la región mantiene tensiones entre los marcos normativos centrales y las prácticas locales, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la participación comunitaria y reconocer los distintos saberes en la gestión ambiental.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión sistemática confirman que la minería —tanto legal como ilegal— continúa siendo uno de los principales factores de contaminación ambiental, degradación de ecosistemas y riesgo sanitario en América Latina. En este contexto, se identifican patrones comunes caracterizados por la presencia de metales pesados como Hg, Pb, Cd y As por encima de los límites normativos, así como la afectación de cuerpos de agua y suelos, lo que incrementa la exposición crónica de comunidades rurales e indígenas [10], [17], [21].

En términos generales, la evidencia muestra que estos impactos no son aislados, sino que responden a factores estructurales como la expansión de la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE), la débil supervisión ambiental y la inadecuada gestión de residuos mineros. Estas condiciones favorecen la dispersión de contaminantes en los ecosistemas y dificultan su control, especialmente en regiones con limitada capacidad institucional [19], [30].

Asimismo, los impactos trascienden el ámbito ambiental, evidenciando una fuerte dimensión sanitaria y social. La exposición prolongada a metales pesados se asocia con riesgos no carcinogénicos y carcinogénicos, así como con alteraciones neurológicas, motoras y cognitivas en poblaciones vulnerables. De igual manera, en contextos de minería informal, las condiciones precarias de trabajo, la deforestación y el contacto con fauna silvestre incrementan la incidencia de enfermedades zoonóticas, ampliando el alcance de los riesgos asociados a la actividad minera [18], [28], [31].

Por otro lado, los resultados también evidencian que la gestión de relaves mineros constituye uno de los principales desafíos ambientales en la región, debido a la persistencia de contaminantes y al potencial de generación de drenaje ácido. Sin embargo, se han identificado avances en la implementación de estrategias de remediación, como la estabilización química, la biolixiviación y la fitorremediación, las cuales representan alternativas prometedoras para la reducción de impactos y la recuperación de ecosistemas degradados [2], [6], [25], [26].

Finalmente, se observa que la gobernanza ambiental en América Latina presenta importantes limitaciones, caracterizadas por la fragmentación normativa, la superposición de estándares y la escasa participación de las comunidades en la toma de decisiones. En este sentido, fortalecer los marcos regulatorios, promover la inclusión de saberes locales y mejorar la articulación institucional resulta fundamental para avanzar hacia modelos de minería más sostenibles [15], [27].

V. CONCLUSIÓN

La presente revisión sistemática evidencia que la minería en América Latina, tanto legal como ilegal, continúa siendo un factor importante de degradación ambiental y riesgo sanitario. En distintos países de la región, se observa un patrón recurrente caracterizado por la presencia de metales pesados como Hg, Pb, Cd y As por encima de los límites normativos, así como por la contaminación de cuerpos de agua y suelos, lo que incrementa la exposición de las comunidades cercanas.

Asimismo, se identificó que la expansión de la minería artesanal y de pequeña escala, junto con la limitada supervisión ambiental y la inadecuada gestión de residuos, contribuyen a intensificar estos impactos. En ese sentido, estos efectos no solo afectan al ambiente, sino también a la salud humana, evidenciándose riesgos como problemas neurológicos y efectos carcinogénicos en poblaciones vulnerables.

Por otro lado, si bien existen algunas estrategias de remediación, como la biolixiviación o la fitorremediación, su aplicación aún es limitada frente a la magnitud del problema. Por ello, resulta necesario fortalecer los marcos regulatorios, mejorar los sistemas de monitoreo ambiental y promover una mayor participación de las comunidades en la gestión de los recursos naturales.

En conclusión, los resultados de esta revisión resaltan la necesidad de avanzar hacia prácticas mineras más sostenibles que consideren tanto los aspectos ambientales como sociales, con el fin de reducir los impactos negativos y proteger los ecosistemas y la salud de las poblaciones en América Latina.

REFERENCES

- [1] C. Mestanza-Ramón, R. Ordoñez-Alcivar, C. Arguello-Guadalupe, K. Carrera-Silva, G. D'orio, and S. Straface, "History, Socioeconomic Problems and Environmental Impacts of Gold Mining in the Andean Region of Ecuador," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/ijerph19031190.
- [2] B. Salgado-Almeida *et al.*, "Assessment of Environmental Pollution and Risks Associated with Tailing Dams in a Historical Gold Mining Area of Ecuador," *Resources*, vol. 13, no. 8, Aug. 2024, doi: 10.3390/resources13080105.
- [3] R. Cayumil, R. Khanna, Y. Konyukhov, I. Burmistrov, J. B. Kargin, and P. S. Mukherjee, "An overview on solid waste generation and management: Current status in Chile," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 21, Nov. 2021, doi: 10.3390/su132111644.
- [4] M. Reyes-Quintana and I. Lizarazo, "Convolutional neural network-based semantic segmentation model for land cover classification in páramo ecosystems," *Revista de Teledetección*, vol. 2024, no. 65, 2024, doi: 10.4995/raet.2025.21858.
- [5] N. Y. M. Elguera, A. A. P. Banda, S. E. S. Pulcha, V. de Cinque Almeida, and H. G. J. Pacheco, "Monitoring the impacts of illegal mining in the Camaná-Majes basin: hydrochemical and benthic macroinvertebrate assessment," *Appl. Water Sci.*, vol. 15, no. 8, Aug. 2025, doi: 10.1007/s13201-025-02537-8.
- [6] F. Rodríguez, C. Moraga, J. Castillo, E. Gálvez, P. Robles, and N. Toro, "Submarine tailings in Chile—a review," May 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/met11050780.
- [7] L. Etchart, "Indigenous Peoples and International Law in the Ecuadorian Amazon," *Laws*, vol. 11, no. 4, Aug. 2022, doi: 10.3390/laws11040055.
- [8] C. Mestanza-Ramón *et al.*, "History, current situation and challenges of gold mining in Ecuador's littoral region," *Land (Basel)*, vol. 10, no. 11, Nov. 2021, doi: 10.3390/land10111220.
- [9] C. Cacciuttolo and D. Cano, "Environmental Impact Assessment of Mine Tailings Spill Considering Metallurgical Processes of Gold and Copper Mining: Case Studies in the Andean Countries of Chile and Peru," Oct. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/w14193057.
- [10] P. Almeida-Guerra, P. Escandón-Panchana, J. Briones-Bitar, M. T. Hernández, and F. Morante-Carballo, "Analysis of Heavy Metal Contamination in Surface Water Bodies in the Ponce Enriquez Mining District, Ecuador," *Challenges in Sustainability*, vol. 13, no. 2, pp. 160–176, Jun. 2025, doi: 10.56578/cis130202.
- [11] J. E. López, J. F. Marín, and J. F. Saldarriaga, "Proposal for a framework for environmental zoning of areas near gold mines based on the distribution of potentially toxic elements, pollution indices, and bioindicators: a case study in Antioquia, Colombia," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 196, no. 10, p. 933, Oct. 2024, doi: 10.1007/s10661-024-13079-y.
- [12] W. Marimon-Bolívar, J. C. Díaz, A. Sarmiento, and N. T. Jimenez, "Development of a methodology for identifying and quantifying mining environmental liabilities in aquatic ecosystems: A case study of Segovia, Colombia," *Water Resour. Ind.*, vol. 34, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.wri.2025.100307.
- [13] S. Villén-Pérez, L. Anaya-Valenzuela, D. Conrado da Cruz, and P. M. Fearnside, "Mining threatens isolated indigenous peoples in the Brazilian Amazon," *Global Environmental Change*, vol. 72, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2021.102398.
- [14] L. V. D. da Silva *et al.*, "Assessment of the Health Risk of Indigenous People by the Consumption of Fish with Hg and As in Villages Located Close to Mining," *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 34, no. 12, pp. 1796–1809, 2023, doi: 10.21577/0103-5053.20230072.
- [15] S. M. Cornejo P. and J. Niewöhner, "How central water management impacts local livelihoods: An ethnographic case study of mining water extraction in tarapacá, Chile," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 24, Dec. 2021, doi: 10.3390/w13243542.
- [16] I. Passarelli *et al.*, "Hg Pollution in Groundwater of Andean Region of Ecuador and Human Health Risk Assessment," *Resources*, vol. 13, no. 6, Jun. 2024, doi: 10.3390/resources13060084.
- [17] I. Passarelli *et al.*, "Analysis of Mercury in Aquifers in Gold Mining Areas in the Ecuadorian Amazon and Its Associated Risk for Human Health," *Toxics*, vol. 12, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.3390/toxics12020162.
- [18] C. Goyburo-Chávez, K. Villamar-Marazita, C. Aguilar-Aguilar, A. Gonzalez-Valoys, and S. Jiménez-Oyola, "Spatial and temporal distribution of potentially toxic elements and human health risk assessment in the gold mining area of Santa Rosa, Southern Ecuador," *Discover Applied Sciences*, vol. 7, no. 9, Sep. 2025, doi: 10.1007/s42452-025-07609-7.
- [19] J. L. Rivera-Parra, B. Beate, X. Diaz, and M. B. Ochoa, "Artisanal and small gold mining and petroleum production as potential sources of heavy metal contamination in Ecuador: A call to action," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 6, pp. 1–16, Mar. 2021, doi: 10.3390/ijerph18062794.
- [20] N. C. Zanetta-Colombo *et al.*, "When another one bites the dust: Environmental impact of global copper demand on local communities in the Atacama mining hotspot as registered by tree rings," *Science of the Total Environment*, vol. 920, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.170954.
- [21] L. Portz, R. P. Manzolli, C. F. F. De Andrade, D. A. Villate Daza, D. A. Bolívar Bandeira, and J. Alcántara-Carrió, "Assessment of Heavy Metals Pollution (Hg, Cr, Cd, Ni) in the Sediments of Mallorquin Lagoon - Barranquilla, Colombia," *J. Coast. Res.*, vol. 95, no. sp1, pp. 158–162, Mar. 2020, doi: 10.2112/SI95-031.1.
- [22] R. A. A. de Oliveira, B. D. Pinto, B. H. Rebouças, D. Ciampi de Andrade, A. C. S. de Vasconcellos, and P. C. Basta, "Neurological impacts of chronic methylmercury exposure in munduruku indigenous adults: Somatosensory, motor, and cognitive abnormalities," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 19, Oct. 2021, doi: 10.3390/ijerph181910270.
- [23] E. dos Santos Sousa, C. E. A. De Souza Costa, M. M. de Souza, M. F. Progenio, and R. P. da Conceição, "Future Projections of Sediments in the Tapajós River and its possible Relationship with Mining Areas," *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.5585/2024.25085.
- [24] I. Walteros-Torres, S. Palacios-Pacheco, G. E. Cely, P. A. Serrano, and D. Moreno-Pérez, "Influence of land use change on soil organic carbon stocks in the Parque Natural Regional Cortadera, Boyacá (Colombia)," *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, vol. 25, no. 2, Jul. 2022, doi: 10.31910/ruca.v25.n2.2022.1846.
- [25] B. K. Cárdenas Morales *et al.*, "The Razuhuilca micro-watershed in dispute: hydromorphological dynamics and territorial resistance to mining

- concessions in the Peruvian Andes,” *Frontiers in Water*, vol. 7, 2025, doi: 10.3389/frwa.2025.1614847.
- [26] M. G. E. Datica, F. A. C. Alva, and W. C. G. Hurtado, “NEUTRALIZATION OF ACIDIC WATERS WITH CALCIUM HYDROXIDE IN A MINING COMPANY IN PERU,” *Revista de Gestao Social e Ambiental*, vol. 18, no. 2, 2024, doi: 10.24857/rgsa.v18n2-153.
- [27] E. Coayla, V. L. Romero Carrion, and Y. T. Bedón Soria, “Economic regulation and environmental impact of large copper mining in the development of Peru,” *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 24, no. 74, Jan. 2024, doi: 10.22136/est20242032.
- [28] A. T. Ortega Ramírez and M. M. Rivera Muñoz, “Cleaner Production Strategies for the management of Auriferous Tailings of Gold Mining Tailings,” *Produccion y Limpia*, vol. 20, no. 1, pp. 18–38, Jan. 2025, doi: 10.22507/pml.v20n1a3630.
- [29] P. Carrión-Mero *et al.*, “Geotouristic Route Proposal for Touristic Development in a Mining Area—Case Study,” *Resources*, vol. 11, no. 3, Mar. 2022, doi: 10.3390/resources11030025.
- [30] T. Kramarz, M. V. A. Mahiques, T. Allan, M. Escosteguy, D. Kingsbury, and L. Seghezze, “Redundancies, layers, and dilemmas: Comparing private standards and public regulations in lithium mining,” *Extractive Industries and Society*, vol. 18, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.exis.2024.101479.
- [31] M. Douine *et al.*, “Zoonoses and gold mining: A cross-sectional study to assess yellow fever immunization, Q fever, leptospirosis and leishmaniasis among the population working on illegal mining camps in French Guiana,” *PLoS Negl. Trop. Dis.*, vol. 16, no. 8, Aug. 2022, doi: 10.1371/journal.pntd.0010326.