

TRANSFORMANDO RESIDUOS EN OPORTUNIDADES: EL FUTURO DE LOS RELAVES MINEROS

RESUMEN

En este documento analiza cómo los relaves mineros, tradicionalmente considerados desechos, pueden transformarse en recursos valiosos dentro de un enfoque de economía circular. Frente al agotamiento de los recursos minerales y las nuevas exigencias ambientales, se propone el reciclaje y reutilización de estos residuos en sectores como la construcción, la energía, la industria química y la rehabilitación ambiental.

Se presenta el caso específico de la minería informal en Perú, especialmente en regiones como La Rinconada (Puno), donde la actividad minera, aunque económicamente relevante, tiene serias consecuencias ambientales y sociales, como la contaminación por mercurio y arsénico, enfermedades graves y la pérdida de biodiversidad.

El proyecto explora la fabricación de ladrillos con relaves mineros como una forma de mitigar los impactos negativos. Se incluyen detalles técnicos del análisis de muestras, granulometría, y contenido de metales pesados como oro y mercurio.

Finalmente, se concluye que reutilizar los relaves no solo reduce la contaminación, sino que también genera oportunidades económicas y puede servir como estrategia de concientización y desarrollo sostenible en comunidades mineras.

ABSTRACT:

This document analyzes how mining tailings, traditionally considered waste, can be transformed into valuable resources within a circular economy approach. Faced with the depletion of mineral resources and new environmental demands, the recycling and reuse of these residues is proposed in sectors such as construction, energy, the chemical industry, and environmental rehabilitation.

The specific case of informal mining in Peru is presented, especially in regions such as La Rinconada (Puno), where mining activity, although economically relevant, has serious environmental and social consequences, such as mercury and arsenic contamination, serious illnesses, and the loss of biodiversity.

The project explores the manufacture of bricks with mining tailings as a way to mitigate negative impacts. Technical details of sample analysis, particle size distribution, and the content of heavy metals such as gold and mercury are included.

Finally, it is concluded that reusing tailings not only reduces pollution but also generates economic opportunities and can serve as a strategy for awareness and sustainable development in mining communities.

INTRODUCCION:

Según informa ([MINEM, 2023](#)), la minería en el Perú es esencial para la economía, aportando significativamente al Producto Bruto Interno (PBI) del país. La abundancia geológica lo posiciona como uno de los principales productores de minerales a nivel global, incluyendo cobre, oro, plata y zinc. Esta actividad genera ingresos considerables y desempeña un papel clave en la creación de empleo y el desarrollo nacional. Además, que la extracción de minerales persiste

como la principal fuente de ingresos en divisas, facilitando significativos intercambios comerciales internacionales.

Por otro lado, [\(IIMP, 2023\)](#) establece que consecuente a la actividad minera se generan relaves mineros los cuales incluyen materiales generados durante las etapas de exploración, extracción y procesamiento. Los relaves mineros son clasificados como residuos no valorizables derivados de las diversas actividades y procesos del sector [\(Araya et al., 2021\)](#) siendo un reto constante para las compañías mineras debido a su esencia, formada mayormente por partículas pequeñas y contenido húmedo [\(Ochoa, 2022\)](#), Asimismo, en su composición predomina la presencia de diversos metales pesados [\(Miguel et al., 2022\)](#) .

Estos relaves, cuando no están dispuestos a acatar las normativas o se utilizan de nuevo por falta de conocimiento, pueden provocar impactos graves en el ámbito ambiental, social y económico. En este contexto, [\(García-Troncoso et al., 2022\)](#) argumenta que en la actualidad se están analizando varias sugerencias para el uso de los relaves mineros como motor del desarrollo sostenible, especialmente en naciones donde la actividad minera es extremadamente activa.

Se sostiene [\(Tumialán et al., 2023\)](#) que los residuos mineros pueden ser una oportunidad para las compañías mineras en las situaciones de análisis y valoración de desechos, disminuyendo los gastos operativos y minimizando los efectos en el medio ambiente. Este método puede derivarse en la economía circular. Se argumenta [\(Luukkonen et al., 2024\)](#) que un consumo orientado hacia un enfoque circular simboliza la disminución de la demanda de materiales vírgenes, lo cual contribuye a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.

En tal sentido, la viabilidad de valorización de residuos mineros se puede evaluar a través de diversas pruebas, como el análisis de reconocimiento de relaves, la prueba de granulometría,

la medición del pH y la prueba CBR, destacadas por (Mena, 2019) donde establecen que el diseño de pavimentos constituye un procedimiento que abarca diversas disciplinas, fusionando conocimientos de geotecnia, estructuras, materiales y factores ambientales.

Y no solo es un problema para el medio ambiente sino también para nuestra salud la exposición a metales pesados presentes en los relaves mineros, como el arsénico y el plomo, puede provocar enfermedades crónicas en las poblaciones cercanas, incluyendo afecciones respiratorias, gastrointestinales y neurológicas. Estos contaminantes ingresan al organismo por vía inhalatoria, digestiva o dérmica, representando un riesgo importante para la salud pública (Herrera, 2006) , es por eso que se encontrara una solución para la reutilización de los relaves mineros.

REVISION BIBLIOGRAFICA:

1.0 ENFERMEDADES QUE PROVOCA LOS RELAVES MINEROS:

1.1 MERCURIO:

Los relaves mineros, que son los residuos sólidos de la extracción de minerales, pueden provocar diversas enfermedades a través de la contaminación del agua, el suelo y el aire, así como por la exposición directa de los trabajadores y personas que viven cerca de las minas:

Se observó un aumento significativo de la mortalidad por enfermedades genitourinarias (códigos CIE-9 580 a 629), siendo significativo respecto a la población total para nefritis, síndrome nefrótico y nefrosis, con una tasa de mortalidad estadísticamente significativa (SMR) de 1,69 y un IC del 95% de 1,18 a 2,34. El exceso de mortalidad por nefritis, síndrome nefrótico y nefrosis fue mayor en los trabajadores metalúrgicos que en los mineros. Una regresión multivalente de

Poisson detectó una tendencia positiva en la mortalidad por nefritis y nefrosis asociada a la duración de la exposición, con un riesgo que se quintuplica tras 30 años de exposición al mercurio.

1.2 ARSENICO:

La exposición prolongada al arsénico puede reducir el (CI) en niños.

El arsénico puede atravesar la placenta y se ha detectado en los tejidos del feto. Además, se ha encontrado en niveles bajos en la leche materna. (ATSDR, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la EPA y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el arsénico inorgánico es cancerígeno en seres humanos.

También aparecen enfermedades como: Enfermedades respiratorias, neurológicas y dermatológicas.

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS RELAVES MINEROS:

2.0 CONTAMINACION DEL AGUA Y SUELO POR LOS RELAVES MINEROS:

Filtración de materiales pesados (arsénico, plomo, mercurio, cadmio) hacia ríos, lagos y aguas subterráneas dando así la pérdida de peces, aves acuáticas y deterioro de cadenas tróficas.

Los relaves mineros contienen metales pesados que contaminan el agua subterránea y superficial al filtrarse desde las presas de almacenamiento estos contaminantes también se acumulan en el suelo, reduciendo su fertilidad y afectando la salud de los ecosistemas en zonas mineras como La Rinconada, se han documentado altos niveles de toxicidad en suelos agrícolas la exposición prolongada representa un riesgo tanto ambiental como humano

2.1 CONTAMINACION DE AIRE:

La dispersión aérea de estos contaminantes afecta no solo a las comunidades cercanas, sino también a ecosistemas más alejados, debido al transporte atmosférico de polvo contaminado. Estudios han demostrado que la calidad del aire disminuye considerablemente en zonas donde los relaves no cuentan con sistemas de cobertura o control de emisiones ([Herrera, 2006](#)).

Además, la presencia constante de polvo tóxico en el aire puede afectar la fotosíntesis y respiración de las plantas, reduciendo su crecimiento y reproducción. Esto contribuye a la degradación progresiva del entorno natural, afectando tanto a la flora como a la fauna local ([Zappettini, 2014](#)).

La falta de políticas adecuadas de monitoreo y control de emisiones en áreas mineras contribuye a la persistencia de esta forma de contaminación. A pesar de los avances en normativas ambientales, muchas operaciones mineras informales o abandonadas siguen siendo fuentes activas de polvo tóxico en el ambiente ([MINEM, 2023](#))

2.2 PERDIDA DE BIODIVERSIDAD:

La disposición inadecuada de relaves mineros genera la pérdida de biodiversidad al contaminar suelos y cuerpos de agua, alterando hábitats naturales esenciales para la flora y fauna local ([Zappettini, 2014](#)). La toxicidad de los metales pesados presentes en los relaves afecta la reproducción, alimentación y migración de diversas especies ([Agoro et al., 2020](#)). Este impacto ecológico es particularmente grave en ecosistemas frágiles como los andinos. Sin rehabilitación ambiental, estas áreas pierden su capacidad de recuperación ([MINEM, 2023](#)).

3.0 CAUSAS:

3.1 FALTA DE TECNOLOGIAS LIMPIAS:

Una de las principales causas de la acumulación de relaves mineros es la ausencia de tecnologías limpias en los procesos extractivos, especialmente en la minería artesanal y de pequeña escala el uso de métodos obsoletos e ineficientes no solo reduce la recuperación de minerales valiosos, sino que también genera grandes volúmenes de residuos contaminantes esta situación se agrava por la falta de inversión en innovación ambiental y la escasa implementación de principios de economía circular en la industria minera como resultado, se incrementan los pasivos ambientales sin una estrategia clara de tratamiento o valorización.

3.2 MANEJO INADECUADO DE LOS RESIDUOS:

El manejo inadecuado de los relaves mineros, especialmente en zonas sin regulación ambiental estricta, contribuye significativamente a la contaminación del suelo, agua y aire ([Herrera, 2006](#)). Muchas veces, estos residuos son depositados en estructuras poco seguras o directamente sobre el terreno, sin impermeabilización ni monitoreo continuo ([MINEM, 2023](#)). Esta mala gestión incrementa el riesgo de filtraciones, colapsos y dispersión de contaminantes peligrosos. Además, en regiones de minería informal, la falta de planes de cierre y rehabilitación agrava la degradación ambiental ([Goyzueta, 2009](#)).

3.3 PROCESAMIENTO DEL MINERAL:

El mal procesamiento del mineral, especialmente en operaciones artesanales o con tecnología obsoleta, genera una baja recuperación del recurso y una alta producción de relaves con contenido residual de metales pesados ([Murmu & Patel, 2018](#)). Este tipo de procesos no solo desaprovecha gran parte del mineral valioso, sino que también incrementa el volumen de residuos contaminantes ([planetGOLD, 2024](#)). La ineficiencia en la separación de los metales deseados conduce a que grandes cantidades de material sean descartadas como relaves, aún con

potencial de toxicidad (Agoro et al., 2020). Esta problemática refleja la urgencia de implementar tecnologías limpias y capacitaciones en procesamiento más eficiente.



Figura 1 . Tecnificación artesanal, Uso de molinos para el procesamiento del mineral (Izquierda), contaminación por los relaves mineros (Derecha)

POSIBLE SOLUCION PARA LA REUTILIZACION DE LOS RELAVES:

RECOLECCION CE MUESTRAS:

Se recolectaron muestras del sitio de estudio en dos lugares seleccionados, donde el acceso era posible. Las muestras se tomaron con base en los diferentes aspectos visuales y de tamaño de grano de los materiales. La primera muestra fue una laterita rojiza con cantidades notables de gravas negruzcas, arena y limo. Este material probablemente representa la sobrecarga que es removida por las excavadoras antes de llegar al mineral. El segundo tipo de material fue un relave de caja de compuerta de arena gruesa de color amarillento claro, con grava

de cuarzo fina y cantidades visuales menores de limo y arcilla. Las muestras de estos dos materiales diferentes se recolectaron en bolsas de plástico separadas y se llevaron al laboratorio en los cuales en algunos relaves se encontrarara un poco o una pequeña cantidad de oro.

ANALISIS DEL GRANO:

Los análisis de la distribución granulométrica de las muestras se realizaron en el Departamento de Geociencias de AdeKUS. Inicialmente, las muestras se secaron al sol durante 24 horas y se pesaron. Posteriormente, se sumergieron en agua para desagregar las partículas y asegurar su completa dispersión. La suspensión se vertió a través de una serie de tamices dispuestos en orden descendente de tamaño de apertura, de 2,0 mm a 0,063 mm. Cada tamiz se agitó suavemente bajo el agua para permitir que las partículas más finas pasaran al nivel adecuado. El material retenido en cada tamiz se recogió, se enjuagó para eliminar las partículas más finas adheridas y se transfirió a placas de secado. Tras el secado en horno, se pesó el material de cada tamiz para determinar la distribución granulométrica de las muestras, lo que proporcionó información sobre su composición textural.

ANALISIS DE ORO Y MERCURIO:

Los análisis de oro y mercurio de las muestras fueron realizados por un laboratorio El contenido de oro se analizó mediante ensayo al fuego, seguido de una lectura mediante espectrometría de absorción atómica. El método de ensayo al fuego consiste en fundir una muestra (30 g) con un fundente (una mezcla de óxido de plomo, bórax y otros productos químicos) en un horno de alta temperatura. Durante la fusión, el plomo del fundente atrae metales preciosos como el oro y la plata, formando un "botón" de plomo. Este botón se separa y se somete a un proceso de copelación, donde el plomo se oxida y es absorbido por una copela

porosa, dejando una perla de oro y plata. La perla se pesa y, si es necesario, se refina aún más para separar el oro de la plata utilizando ácido nítrico (McKibben, 2005). Posteriormente, la perla se digiere con agua regia y se analiza mediante espectrometría de absorción atómica.

El mercurio se extrajo de las muestras con HNO₃ y se analizó mediante un sistema de inyección de mercurio en flujo, utilizando un dispositivo PerkinElmer FIMS-100. Este método utiliza espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS), donde el mercurio de la muestra se reduce a su forma elemental y luego es transportado por un gas inerte a una celda de absorción. Allí, el vapor de mercurio absorbe luz a una longitud de onda específica, lo que permite al sistema medir su concentración (PerkinElmer, Inc., 2011).

PRODUCCION DE LADRILLOS :

Despues de monitorear los relaves mineros y revisar o apartar los materiales pesados que este contiene y seguir un monitoreo podemos moldear y secar el material y asi reutilizamos el relave minero.

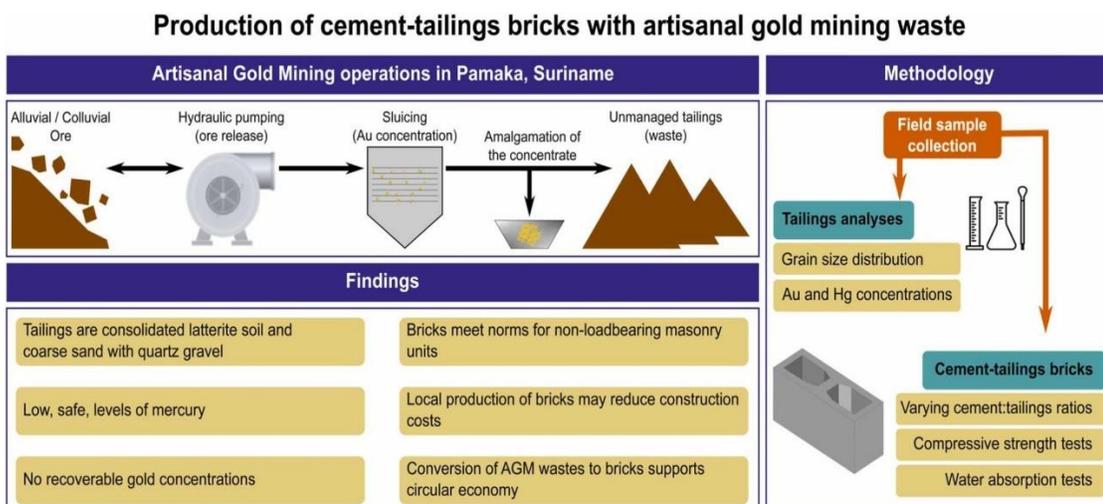


Figura 2. Producción de la reutilización de los relaves mineros a ladrill

CONCLUSION:

La reutilización de los relaves mineros representa una alternativa innovadora y sustentable para enfrentar uno de los principales pasivos ambientales de la minería y también así reduciendo la contaminación a nuestro ecosistema y así también generando economía al momento de sacar la reutilización y así también con este proyecto generar un poco de concientización a los pobladores y así generar una nueva oportunidad a los relaves mineros.

CONTRIBUCION DE LOS AUTORES:

Pude contribuir con el artículo gracias a algunos artículos de investigación y sobre todo con una investigación más profunda y un poco de conocimiento del tema.

REFERENCIAS

- Agoro et al. (2020). Huella mineralógica y riesgo para la salud humana de los elementos potencialmente tóxicos de los relaves mineros de Fe de la presa de Fundão. *ScienceDirect*.
- Araya et al. (2021). Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú. *scielo*.
- Balegamire et al. (2022). Production of gold mine tailings based concrete pavers by substitution of natural river sand in Misisi, Eastern Congo. *ScienceDirect*.
- Benahsina et al. (2021). Uso de relaves de molinos de oro en la fabricación de ladrillos: un estudio de viabilidad. *ScienceDirect*.

- Bojacá Torres & Campagnoli Martínez. (2022). Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú. *SciELO*, 3.
- García-Troncoso et al. (2022). Propiedades mecánicas comparativas de mezclas de concreto convencional y concreto que incorpora arenas de relaves mineros. *ScienceDirect*.
- Goyzueta1, G. (2009). RIESGOS DE SALUD PÚBLICA EN EL CENTRO POBLADO MINERO ARTESANAL LA RINCONADA (5200 MSNM) EN PUNO, PERÚ. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*.
- Hernández-Ramos et al. (2024). Relaves mineros. *scielo*.
- Herrera, T. &. (2006). Relaves Mineros y sus Efectos en Salud, Medio Ambiente y Desarrollo Económico. Ejemplo de Relave en el Valle de Chacabuco-Polpaico. *scielo*.
- IIMP. (2023). Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú. *scielo*.
- Luukkonen et al. (2024). Colectivos de consumidores en la economía circular: una revisión sistemática y una agenda de investigación. *ScienceDirect*.
- Mena, S. V. (2019). Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú. *scielo*.
- Miguel et al. (2022). Potential adverse effects of heavy metals on clinical health parameters of *Caretta caretta* from a nesting area affected by mining tailings in Brazil. . *science direct*.
- MINEM. (2023). Relaves mineros. *scielo*.
- Murmu y Patel. (2018). Producción de ladrillos de cemento-relaves con desechos de la minería artesanal de oro. *ScienceDirect*.

Ochoa, F. (2022). Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú. *SCIELO*.

Padmalal y Maya. (2014). Producción de ladrillos de cemento-relaves con desechos de la minería artesanal de oro. *ScienceDirect*.

Patrick, P. y. (2018). Huella mineralógica y riesgo para la salud humana de los elementos potencialmente tóxicos de los relaves mineros de Fe de la presa de Fundão. *ScienceDirect*.

planetGOLD. (2024). Producción de ladrillos de cemento-relaves con desechos de la minería artesanal de oro. En U. Comtrade, *Producción de ladrillos de cemento-relaves con desechos de la minería artesanal de oro*. sciencedirect.

Renieri et al. (2019). Huella mineralógica y riesgo para la salud humana de los elementos potencialmente tóxicos de los relaves mineros de Fe de la presa de Fundão. *ScienceDirect*.

Roy et al. (2007). Uso de relaves de molinos de oro en la fabricación de ladrillos: un estudio de viabilidad. *sagejournals*.

Sanborn, H. M. (1970). La investigación sobre minería en el Perú. *scielo*.

Simeonov et al. (2011). Huella mineralógica y riesgo para la salud humana de los elementos potencialmente tóxicos de los relaves mineros de Fe de la presa de Fundão. *ScienceDirect*.

Trigos, C. (2009). RIESGOS DE SALUD PÚBLICA EN EL CENTRO POBLADO MINERO ARTESANAL LA RINCONADA (5200 MSNM) EN PUNO, PERÚ. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2.

Tumialán et al. (2023). Relaves mineros. *SciELO*.

Zappettini, H. y. (2014). Caracterización física, química y mineralógica de un antiguo relave, en busca de alternativas de reutilización. *SciELO*, 1.