



*Comportamiento geoambiental de metales pesados en la zona minera la Pangui,
provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador*

*Geoenvironmental behavior of heavy metals in the La Pangui mining area,
province of Zamora Chinchipe-Ecuador*

*Comportamento geoambiental de metais pesados na área mineira La Pangui,
província de Zamora Chinchipe-Ecuador*

Miguel Eduardo Diaz-Robles ¹
miguel.diazr@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-3828-1969>

Correspondencia: miguel.diazr@ug.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 12 de noviembre de 2024 ***Aceptado:** 19 de diciembre de 2024 * **Publicado:** 09 de enero de 2025

I. Universidad de Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Resumen

La investigación en el área minera de La Pangui aborda la problemática de la contaminación por metales pesados debido a las actividades mineras, lo que representa un grave riesgo tanto para el ecosistema local como para la salud pública. La presencia de metales como cadmio, mercurio, plomo y hierro en las escombreras supera los valores recomendados y está asociada con prácticas mineras inadecuadas y la falta de control ambiental. Para el estudio, se utilizó una metodología que incluyó el análisis químico de muestras de escombreras y un análisis petrográfico mediante microscopio de luz polarizada, evaluando las concentraciones de metales y comparándolas con otras áreas mineras similares, como Ponce Enríquez, para establecer patrones de contaminación. Los resultados mostraron concentraciones elevadas de metales pesados en las muestras analizadas, con cadmio y mercurio alcanzando valores máximos de 243.55 mg/kg y 2.23 mg/kg, respectivamente, siendo estas concentraciones significativamente más altas que las reportadas en otras zonas mineras. También se halló una alta presencia de plomo y hierro, lo que se relacionó con la presencia de minerales como la galena y la pirita en las escombreras. Como conclusiones, se destacó la grave situación ambiental y sanitaria que enfrenta La Pangui debido a la alta concentración de metales pesados, identificándose riesgos significativos para la salud humana, como trastornos neurológicos, renales y óseos, derivados de la exposición prolongada a estos contaminantes.

Palabras claves: contaminación; metales pesados; minería; salud pública; monitoreo.

Abstract

Research in the La Pangui mining area addresses the problem of heavy metal contamination due to mining activities, which represents a serious risk for both the local ecosystem and public health. The presence of metals such as cadmium, mercury, lead and iron in tailings exceeds recommended values and is associated with inadequate mining practices and lack of environmental control. For the study, a methodology was used that included chemical analysis of waste dump samples and a petrographic analysis using a polarized light microscope, evaluating metal concentrations and comparing them with other similar mining areas, such as Ponce Enríquez, to establish contamination patterns. The results showed high concentrations of heavy metals in the samples analyzed, with cadmium and mercury reaching maximum values of 243.55 mg/kg and 2.23 mg/kg,

respectively, these concentrations being significantly higher than those reported in other mining areas. A high presence of lead and iron was also found, which was related to the presence of minerals such as galena and pyrite in the waste dumps. As conclusions, the serious environmental and health situation faced by La Panguí was highlighted due to the high concentration of heavy metals, identifying significant risks to human health, such as neurological, kidney and bone disorders, derived from prolonged exposure to these contaminants.

Keywords: pollution; heavy metals; mining; public health; monitoring.

Resumo

A investigação na área mineira de La Panguí aborda o problema da contaminação por metais pesados devido às actividades mineiras, o que representa um sério risco tanto para o ecossistema local como para a saúde pública. A presença de metais como cádmio, mercúrio, chumbo e ferro nos rejeitos ultrapassa os valores recomendados e está associada a práticas de mineração inadequadas e à falta de controle ambiental. Para o estudo foi utilizada uma metodologia que incluiu análise química de amostras de despejos e análise petrográfica em microscópio de luz polarizada, avaliando as concentrações de metais e comparando-as com outras áreas de mineração semelhantes, como Ponce Enríquez, para estabelecer padrões de contaminação. Os resultados mostraram altas concentrações de metais pesados nas amostras analisadas, com cádmio e mercúrio atingindo valores máximos de 243,55 mg/kg e 2,23 mg/kg, respectivamente, concentrações estas significativamente superiores às relatadas em outras áreas de mineração. Também foi constatada elevada presença de chumbo e ferro, o que estava relacionado à presença de minerais como galena e pirita nos lixões. Como conclusões, foi destacada a grave situação ambiental e sanitária enfrentada por La Panguí devido à alta concentração de metais pesados, identificando riscos significativos à saúde humana, como distúrbios neurológicos, renais e ósseos, derivados da exposição prolongada a esses contaminantes.

Palavras-chave: poluição; metais pesados; mineração; saúde pública; monitoramento.

Introducción

La minería es fundamental para mantener el bienestar de la población y las economías globales, es necesario mejorar sus resultados en cuanto a la sostenibilidad para fomentar la aceptación y el respaldo público a la industria y la política europea (Mancini & Sala, 2018). Por otro lado, se ha

sugerido que operaciones en pequeña escala, mal reguladas, como la minería artesanal, son responsables de muchos de los peores problemas de contaminación por metales pesados en el mundo (Sun, Zhang, Zhou, & Qi, 2018)

Las labores mineras a pequeña escala se llevan a cabo en todo el mundo, pero son particularmente comunes en los países en vías de desarrollo como África, Asia y América del Sur. Esto se debe principalmente a la mala supervisión gubernamental y la falta de conciencia ambiental (Sun et al., 2018). En el caso de América del Sur, estas actividades resultan en la degradación a largo plazo de importantes ecosistemas forestales, la contaminación de cuerpos de agua y un aumento en las concentraciones de sedimentos (Lewis & Rosales, 2020).

Con un 65% de los sitios muestreados por debajo de los estándares de calidad del agua y concentraciones de exposición a metales por encima de los estándares de calidad, la minería en América del Sur causa una grave degradación ambiental (Capparelli et al., 2021). En particular, en los distritos mineros de oro artesanal y de pequeña escala, ampliamente explotados, los depósitos metálicos en Ecuador contienen altas concentraciones de elementos potencialmente nocivos para la salud humana, como mercurio, cadmio y arsénico (Rivera-Parra et al., 2021).

Las altas concentraciones de metales pesados en todos los sedimentos del subsuelo de los ecosistemas fluviales estudiados muestran los efectos de la minería en el medio ambiente del sur de Ecuador (Choque & Estremadoyro, 2024). En este contexto, los recursos naturales no renovables en Ecuador representan fuentes potenciales de contaminación por metales pesados, lo que subraya la necesidad de una gestión y protección ambiental adecuadas (Rivera-Parra et al., 2021).

Además, es determinante la examinación de las definiciones legales, así como promover estrategias fundamentadas en datos e involucrar a los interesados para tratar eficazmente la minería de oro artesanal y de pequeña escala en Ecuador (Rojas & Quispe, 2023). Este tipo de minería representa aproximadamente el 46% de los derechos mineros registrados en el país, lo que refleja su importancia como fuente de empleo en áreas rurales. Sin embargo, a menudo opera en condiciones precarias, con escasa regulación y supervisión adecuada (Estupiñán et al., 2021).

En la minería artesanal y de pequeña escala, optimizar la administración ambiental requiere una aplicación más efectiva de la legislación, una mayor implicación de las autoridades locales y la reestructuración de las operaciones pequeñas en unidades más amplias para garantizar una gestión ambiental rentable y sostenible (CEPAL, 2023). En Ecuador, los primeros depósitos de oro primario fueron descubiertos en 1981 en la región del Suroriente, específicamente en la zona de

Nambija. Posteriormente, se identificaron yacimientos similares en Guaysimi, Chinapintza, Sultana, Nayumbi, Biche, Hito, Bellavista, Zarza, Guisme, entre otros lugares (Enríquez & Quezada, 2021).

El depósito de Chinapintza es una estructura de stockwork con vetillas de potencia de cuarzo oxidadas de 0,5 m y un contenido de 50 gramos de oro por tonelada, con una posibilidad de almacenamiento de oro de aproximadamente 12 toneladas (García, 2024). La unidad Chinapintza, establecida entre los años 106 y 96 Ma en el Cretácico Medio Superior, se convierte en el principal anfitrión del sistema de vetas al norte de la falla La Panguí. Posee diversos tipos de facetas compositivas. Son micropórfidos y pórfidos de cuarzo +/- plagioclasa que cambian de dacita a riolita en su composición, presentando un rumbo fluctuante entre WNW y NNW y con un espesor de 0.5 a 10 metros (Armijos, 2017).

La Panguí es una zona de minería ubicada en el distrito minero de Zamora. Está ubicado en la Cordillera del Condor, una cadena montañosa oriental de la Cordillera de los Andes, cuyos cerros constituyen la frontera internacional entre Ecuador y Perú. La zona de La Panguí pertenece a un grupo de intrusivos volcánicos, cuyo componente más sobresaliente es el pórfido de Chinapintza de época cretácea, que se infiltra en las rocas del batolito de Zamora y la Unidad Misahuallí (Jiménez et al., 2020). La litología de La Panguí abarca rocas intrusivas félsicas a intermedias, como las granodioritas; rocas volcánicas, como las andesitas, riolitas y riolitas; así como también presencia de pórfidos y diques de estructura parecida (Romero et al., 2023).

Metodología

La investigación refiere estudio de campo la cual se efectuó en el Distrito Minero Chinapintza, en la zona denominada “La Panguí”, de carácter descriptivo-exploratorio con enfoque direccionado a la producción de información geológica con la finalidad de incentivar la mejora de los sistemas de manejo de pasivos ambientales producidos por la minería artesanal y la minería pequeña.

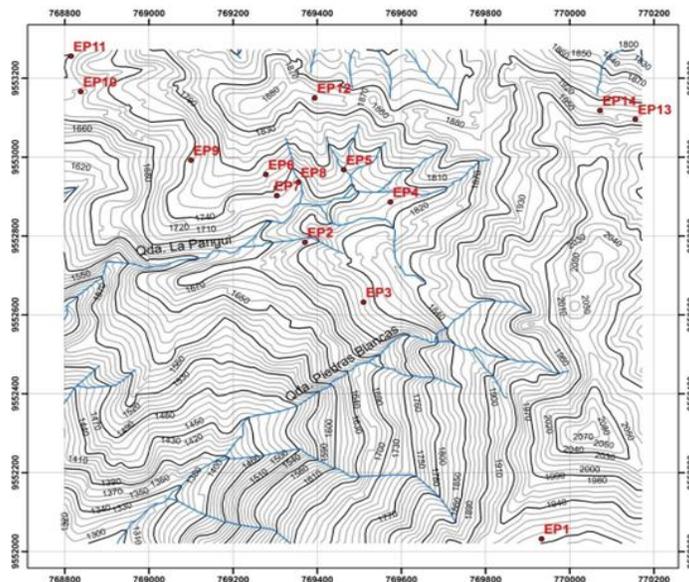
La etapa de campo se ejecutó en cuatro visitas a la zona de estudio, en primera instancia el reconocimiento fue fundamental para la identificación y delimitación de áreas de interés, así como para la selección de sitios óptimos destinados a la documentación de escombreras.

La creación de una base topográfica georreferenciada (Fig. 1) sirvió para determinar la ubicación precisa de las escombreras las cuales se constituyen como pasivos ambientales mineros de especial relevancia en esta investigación. Las dimensiones físicas como la longitud, el ancho, la inclinación

y la orientación de las escombreras se registraron en estas áreas focalizadas. El análisis de estos datos resultó ser esencial para una comprensión completa del entorno estudiado.

Figura 1

Mapa topográfico Zona Minera "La Pangui"



La información en territorio se obtuvo utilizando fichas de documentación en 14 escombreras de pasivos ambientales denominadas “botaderos”, para metales pesados: cobre (Cu), cadmio (Cd), Plomo (Pb), Hierro (Fe), Mercurio (Hg) y Arsénico (As). La confiabilidad fue validada mediante el análisis de consistencia (Alfa de Cronbach) donde se obtuvo un valor de 0.29. Se tomaron muestras representativas de roca cuyo objetivo principal fue determinar la presencia y concentración de metales pesados, elementos indicativos de la contaminación ambiental presente en el área de estudio.

La recolección de muestras y el uso de un equipo técnico, como brújula, martillo, GPS, fundas plásticas, lupa, lápiz rayador, ácido clorhídrico al 10%, libreta de campo, cartas topográficas y geológicas mimos que garantizaron que el trabajo de campo fuera preciso y completo.

Método de muestreo

Las muestras se recolectaron utilizando un diseño sistemático, tomando ejemplares cercanos a las operaciones mineras en cada escombrera del área de estudio, haciendo uso del método de muestreo

denominado "Hand Sample". La selección manual de muestras representativas directamente del sitio de estudio permite un control minucioso de la calidad y el contexto geológico de cada muestra.

Selección de sitios de muestreo

A través del reconocimiento exhaustivo de la zona y la observación directa de las escombreras, se identificaron áreas importantes dentro del área minera. En este proceso, se realizó un análisis minucioso in situ para identificar áreas que podrían mostrar alteraciones mineralógicas y la presencia de metales pesados. La selección se centró en sitios donde la exposición de sedimentos y rocas permitiera una recolección de muestras efectiva y representativa del área de estudio.

Recolección de muestras

Las muestras de roca se recolectaron manualmente utilizando herramientas como martillo de geólogo y bolsas de muestra. El investigador principal, seleccionó cuidadosamente cada muestra en función de su integridad, representatividad y relevancia para el estudio de metales pesados. Este método minucioso garantizó que las muestras fueran representativas de las áreas de estudio específicas y que fueran adecuadas para el análisis mineralógico y químico.

Documentación y etiquetado

Cada muestra se registró cuidadosamente, incluyendo su ubicación, descripción geológica y condiciones ambientales. Para su seguimiento y análisis posterior, se utilizaron códigos únicos para etiquetar las muestras.

El método "Hand Sample" fue elegido por su eficacia en estudios de campo donde la precisión en la selección de muestras es importante. Permite a los investigadores evaluar directamente la geología de la zona y garantizar que las muestras recolectadas sean verdaderamente representativas de las áreas estudiadas.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio para el análisis mineralógico correspondiente. Posteriormente, 43 muestras fueron codificadas y enviadas al laboratorio de química para su respectivo análisis, cuyos resultados entregados se integraron a los datos mineralógicos y de campo.

Los métodos y procesos detallados a continuación garantizaron la preparación adecuada de las muestras para el análisis microscópico, crucial para la investigación en la zona estudiada, proporcionando una base sólida para la interpretación de los datos geológicos y mineralógicos.

Preparación de muestras para análisis mineralógico petrográfico

Inicialmente se efectuó la descripción macroscópica de las muestras obtenidas en territorio, este preliminar fue esencial para discernir los tipos de minerales presentes en la zona de estudio, facilitando la posterior identificación microscópica, para efecto de esta se realizaron los siguientes procedimientos:

Trituración y Pulverización: Se trituraron las muestras de las 14 escombreras en la trituradora del laboratorio, este paso preparatorio involucró las 43 muestras recolectadas. Posteriormente, se procedió a la pulverización de las muestras trituradas utilizando la máquina pulverizadora RS-1, un proceso esencial para facilitar los análisis químicos posteriores.

Deslamado: Para eliminar finos como arcilla y caolín, las muestras pulverizadas se sometieron al proceso de deslamado, una técnica manual común muy utilizada en la minería artesanal. Para realizarlo se utilizó el platón minero o denominado también como batea para lavar oro. Antes del análisis químico este proceso es esencial para garantizar la calidad de las muestras.

Secado: Posterior al deslamado, las muestras se secaron en un horno a temperaturas que oscilaban entre 50 y 100°C. Mediante este proceso se eliminó la humedad residual, preparando las muestras para el análisis mineralógico subsiguiente.

Este proceso garantiza la precisión y confiabilidad de los análisis y proporciona una base sólida para la comprensión del comportamiento geoambiental de la zona estudiada.

Preparación de muestras para análisis mineralógico de secciones pulidas.

Para un análisis microscópico a detalle, se utilizaron secciones pulidas de roca (Pórfido Riodacítico), se eligió el mismo por su prevalencia con un porcentaje del 37%, además de poseer condiciones ideales para pulir y por su mineralización con alta presencia de sulfuros. Para la misma se efectuaron los siguientes pasos:

Corte de Roca: Con ayuda de la cortadora de rocas de disco adiamantado se realizó cortes precisos para obtener prismas rectangulares adecuados para las secciones pulidas. Para su tratamiento posterior, se secaron durante cinco días a 60 grados centígrados en el horno secador.

Lijado: Las muestras se sometieron a un proceso de lijado, comenzando con lijas de grano 120 y 240, subiendo a lijas de grano de 400 y 600, y terminando con lijas de grano 800; todo esto con la finalidad de garantizar una superficie uniforme del prisma de roca.

Resinado: Los moldes para resinado se lubricaron previamente para crear secciones pulidas. El endurecedor y la resina se mezclaron en una proporción de 5:1, y se agregó acetona para aumentar

la fluidez. La mezcla se vertió sobre las muestras ubicadas con la cara a pulir hacia abajo y se llenó cuidadosamente para evitar que se formen burbujas. Para garantizar una adherencia sin burbujas, los moldes se conservaron en una bomba de vacío por 48 horas.

Pulido: Las muestras resinadas y lijadas se pulieron en una máquina especializada, aplicando sucesivamente suspensiones de diamante de 4 micrones y luego de 6 micrones sobre un paño de pulido, cada una durante intervalos de 20 minutos, para obtener un acabado óptimo.

Elaboración de mapas de distribución: Los hallazgos se correlacionaron con datos de campo y mineralógicos, lo que permitió una integración efectiva de datos para la interpretación y creación de mapas de distribución geoquímica a escala de 1:5000. El programa ArcGIS 10.1 se utilizó para llevar a cabo este proceso, lo que permitió visualizar y analizar en profundidad la distribución espacial de los metales pesados.

Resultados

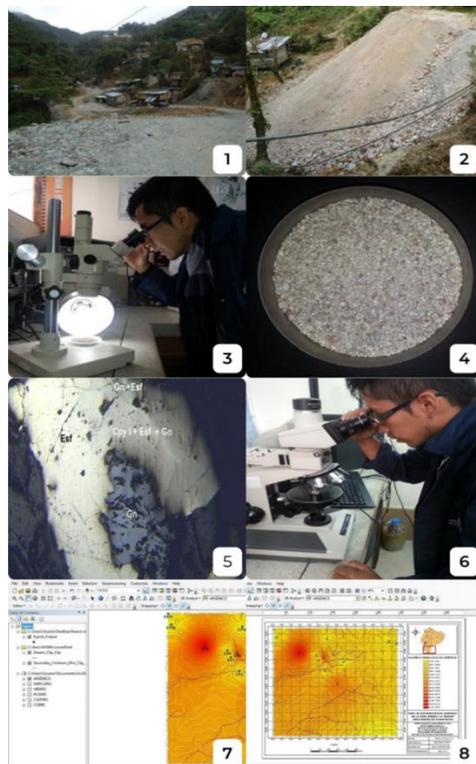
La combinación de análisis multidisciplinarios, tanto geológicos como químicos, y la interpretación de los resultados permitieron una evaluación completa de los pasivos ambientales provenientes de la minería. Esto proporcionó una base sólida que sirva para la creación de nuevas estrategias de gestión ambiental y reducción de los efectos en el entorno geológico y social de la zona de estudio “La Panguí” perteneciente distrito minero Chinapintza.

El procesamiento de información determinó la existencia de minerales de interés, entre ellos pirita, galena y greenockita, mediante métodos de identificación microscópica de minerales, así mismo se determinó la concentración de metales en las muestras donde se utilizaron técnicas de absorción atómica.

La distribución de metales pesados en los mapas, enfatizaron valores mínimos promedio de Hg (0.630 mg/kg) y Cd (31.520 mg/kg) y valores promediados máximos para elementos de Pb (14340.970 mg/kg) y Fe (84256.50 mg/kg).

Figura 2

Metodología de trabajo: 1. Selección de sitios de muestreo; 2. Recolección de muestras, 3 y 4. Análisis mineralógico-petrográfico, 5 y 6. Análisis mineralógico de secciones pulidas; 7 y 8. Digitalización de mapas de distribución mineral.



La relación valor elemento con respecto a la mineralización que muestra La Pangui responde a la presencia del pórfido denominado Chinapintza aflorante en la zona, presentó la siguiente estructura: feldespato potásico 25 al 30%, cuarzo 20 al 25%, plagioclasas 10 al 15%, minerales máficos 10 al 15%, y como minerales accesorios galena, pirita y esfalerita.

Se identificaron altas concentraciones de metales pesados en las escombreras del área de estudio. Los análisis revelaron niveles significativos de hierro (Fe), plomo (Pb), cadmio (Cd), y mercurio (Hg), los cuales exceden los estándares internacionales aceptables. (Tabla 1).

Tabla 1

Concentración de metales en escombreras y concentración admisible en agua

Elemento	Concentración detectada (mg/kg)	Concentración máxima admisible en agua (mg/kg)
Hierro (Fe)	84256.50	0.30

Plomo (Pb)	14340.97	0.05
Cadmio (Cd)	31.52	0.01
Mercurio (Hg)	0.63	0.001

Análisis Mineralógicos Macro

Analizadas las escombreras en territorio se determina que los minerales secundarios son generados por la meteorización de minerales primarios que conforman rocas principales de la zona de estudio y sus menas, los resultados del análisis visual macroscópico realizado indican aquello.

Figura 3

Escombrera con alteraciones, tonalidades rojas, amarillas. B. Escombrera con alteraciones, tonalidades color verde, azul, amarillo y gris



Tabla 2

Alteraciones hidrotermales encontradas en las escombreras

ESC.	TIPO ALTERACIÓN	GRADO DE ALTERACIÓN	ESC.	TIPO ALTERACIÓN	GRADO DE ALTERACIÓN
01	Fílica (Sericítica)	Baja	06	Argílica Intermedia (Illita)	Media
02			07		
05			08		
11			10		
13			12		
04	Argílica Avanzada (Caolín)	Media-Alta	13	Oxidación (Limonita)	Media-Alta
06			14		
07			06	Oxidación (Crisocola)	Media-Alta
08			09		
10			03		
12			09		

13			04	Oxidación (Bornita)	Media-Alta
14			09	Oxidación (Azurita)	Media-Alta

Análisis Mineralógico y Petrográfico

Una vez deslamadas las muestras de roca que previamente fueron trituradas, se procede al análisis microscópico para realizar la determinación de porcentajes de minerales, en esta etapa se utiliza el gráfico de estimación visual por porcentajes.

Figura 4

Análisis mineralógico de muestras

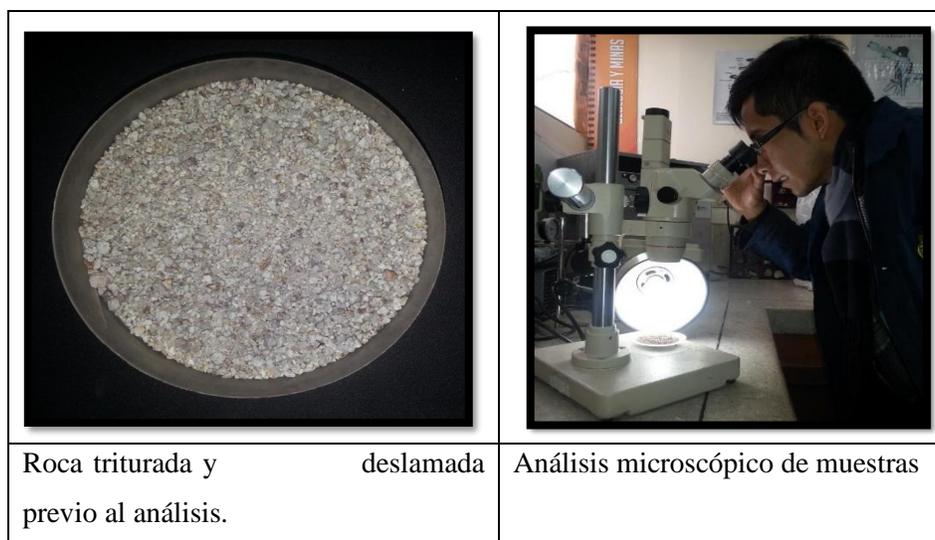
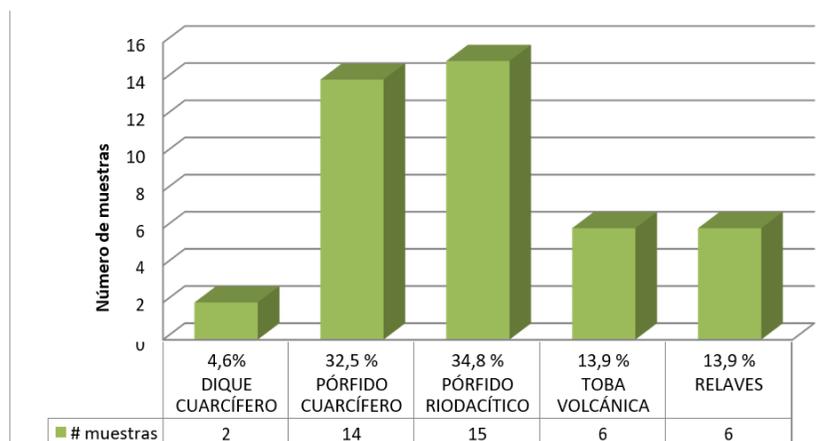


Figura 5

Tipos de rocas determinadas mediante análisis



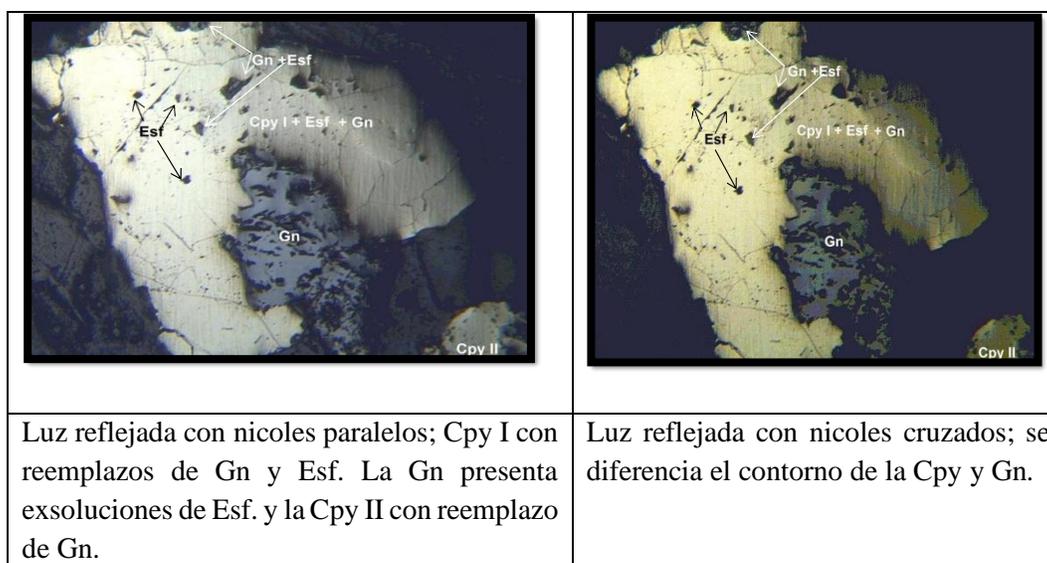
Análisis Mineralógico de Secciones Pulidas

Las secciones pulidas detallan presencia de minerales metálicos al ser observadas bajo el microscopio petrográfico de luz polarizada, alto relieve y color característico de los minerales opacos, reflexión interna con bordes brillantes en el caso de la calcopirita (Cpy) y exclusiones de otros minerales metálicos como esfalerita (Esf) y galena (Gn).

Debido a la granulometría que presentan (grano grueso), no se puede valorar otros tipos de minerales.

Figura 6

Análisis mineralógico de secciones pulidas, mediante microscopio de luz polarizada



Resultados e interpretación de los Análisis Químicos con la mineralogía

Los datos del análisis químico se comunican a través de los resultados de (Romero Narvaez, 2014), como parte del proyecto de titulación.

Tabla 3

Valores promedio por análisis químico

Escombrer	Cu	Cd	Pb	Fe	Hg	As
a	(mg/kg)					
E1	1603.20	2.140	22839.40	51164.00	2.230	27.930
E2	2826.50	4.540	1507.00	32750.00	0.750	32.60
E3	4000.00	4.910	56300.00	257680.00	0.90	51.930
E4	292.250	27.030	722.750	103470.00	0.440	30.470

E5	1690.130	9.810	46320.00	52895.00	0.50	36.680
E6	219.330	24.40	1607.00	58193.30	0.560	32.550
E7	1566.80	25.84	20215.80	72216.00	0.530	33,380
E8	240.60	66.00	596.30	29510.00	1.240	58.40
E9	3440.00	243.550	4522.00	150156.00	0	86.790
E10	187.270	23.210	645.230	74400.00	0.340	31.710
E11	45.190	1.20	1335.670	38300.00	0.470	30.590
E12	89.00	0.580	1524.50	44950.00	0.120	30.560
E13	204.330	6.530	1853.00	120146.70	0.220	33.550
E14	2867.50	1.570	40785.00	93760.00	0.350	31.260

Se efectúa un análisis comparativo de los resultados obtenidos, entre la mineralogía que presentan las diferentes muestras y los valores establecidos mediante el análisis químico; se establece, Fe y Pb son los elementos más comunes y abundantes en las escombreras, esto se debido a la presencia de minerales como galena (PbS) y pirita – calcopirita (FeS₂, CuFeS₂), y que los elementos cadmio (Cd) y mercurio (Hg), son los más escasos dentro del análisis valorativo químico.

Tabla 4

Valores promedio por análisis químico

Elemento	Valor Máximo (mg/kg)	Escom.	Elemento	Valor Mínimo (mg/kg)	Escom.
Cu	4000.00	E3	Cu	45.190	E11
Cd	243.550	E9	Cd	0.580	E12
Pb	56300.00	E3	Pb	596.30	E8
Fe	257680.00	E3	Fe	2951.00	E8
Hg	2.230	E1	Hg	0	E9
As	86.790	E9	As	27.930	E1

La investigación ha demostrado que en el área minera La Pangui hay una concentración considerable de metales pesados, lo que representa un peligro significativo para el ecosistema local y la salud pública. Se realizó un análisis comparativo de datos de otras regiones mineras similares para respaldar estos hallazgos y se examinaron las posibles consecuencias a largo plazo de la exposición a estos metales.

Análisis Comparativo

Se realizaron comparaciones entre las concentraciones de metales pesados encontrados en La Panguí y los valores reportados en estudios de otras áreas mineras como Ponce Enríquez. Estas comparaciones indicaron que las concentraciones de cadmio y mercurio en La Panguí son significativamente más altas. Este patrón indica que ciertas prácticas de minería en La Panguí, particularmente la falta de controles ambientales adecuados, pueden estar contribuyendo a la liberación más frecuente de estos contaminantes.

Impacto en la salud humana

La presencia de altas concentraciones de metales pesados como el mercurio y el cadmio en La Panguí representa un riesgo importante para la salud pública. El cuerpo humano tiene la capacidad de absorber estos metales a través del contacto directo con suelos contaminados, el consumo de agua contaminada o la inhalación de polvo. Una serie de problemas de salud graves, incluidos trastornos neurológicos como el deterioro cognitivo y daño en el sistema nervioso, así como problemas renales y óseos, están relacionados con la exposición prolongada a estos contaminantes.

Propuestas de mitigación

La implementación de tecnologías limpias y sostenibles en los procesos de extracción y tratamiento de minerales es decisiva debido al escaso control y regulación de las actividades mineras en La Panguí. Asimismo, se debe establecer un programa sólido de monitoreo continuo de la calidad del agua y del suelo para detectar y controlar la contaminación de manera oportuna. Además de solicitar a las autoridades de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) y del Ministerio del Ambiente y Agua (MAATE) para que intensifiquen las labores de supervisión y aplicación de las normativas minero-ambientales actuales.

Conclusiones

Las investigaciones realizadas en el área minera de La Panguí permitieron concluir que las escombreras presentan concentraciones alarmantes de metales pesados, destacando el cadmio, con un valor máximo de 243.55 mg/kg en la muestra E9, y el mercurio, con 2.23 mg/kg en E1. Los resultados son significativamente más altos que los registrados en otras zonas mineras como Ponce

Enríquez, lo que evidencia una problemática local grave asociada a prácticas mineras poco reguladas. Asimismo, el análisis petrográfico reveló que la abundancia de plomo y hierro, con valores de 56,300 mg/kg y 257,680 mg/kg respectivamente en E3, está relacionada con la presencia de minerales como galena (PbS) y pirita (FeS₂), que contribuyen a la contaminación de suelos y agua.

Además, la acumulación de metales pesados implica un impacto ambiental severo, ya que favorece la bioacumulación en especies vegetales y animales locales, lo que a su vez altera las cadenas tróficas y afecta la biodiversidad de la región. Más preocupante aún, los riesgos asociados a la salud humana son significativos. La exposición prolongada a mercurio y cadmio puede causar daños renales, trastornos neurológicos y enfermedades óseas, lo que plantea una amenaza directa para las comunidades cercanas, quienes pueden estar expuestas por contacto con suelos contaminados, consumo de agua o inhalación de partículas en el aire.

El análisis comparativo con otras regiones subraya que la falta de supervisión y control ambiental en La Pangui ha exacerbado este problema. En este sentido, la limitada aplicación de normativas mineras por parte de entidades como ARCERNNR y MAATE ha permitido que la disposición inadecuada de residuos mineros y escombreras se convierta en un factor determinante en la magnitud de la contaminación detectada.

A partir de estos hallazgos, se reconoce la necesidad urgente de implementar medidas específicas de remediación ambiental. Es esencial tratar las escombreras más contaminadas, como E3 y E9, mediante tecnologías de estabilización de residuos o recuperación de metales. Además, se propone la reforestación con especies vegetales capaces de captar y reducir los metales pesados en el suelo como una solución complementaria. Igualmente, establecer estaciones permanentes de monitoreo en las áreas críticas permitiría un control más efectivo de los niveles de contaminación y facilitaría la detección temprana de problemas, promoviendo una gestión ambiental más sostenible y orientada a la protección tanto del ecosistema como de la salud pública.

Referencias

1. Armijos, M. (2017). Evaluación de los procesos productivos en la minería artesanal, sector La Pangui, distrito minero Chinapintza. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/20682>

2. Capparelli, M., Cabrera, M., Moulatlet, G., Pinos, V., Vélez, A., & Solis, O. (2021). EVALUACIÓN DEL GRADO DE AFETACIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN LA PROVINCIA DEL NAPO. *Dados*, 17(50). https://ninaosorio.com/wp-content/uploads/2023/05/INFORME_MINERIA_IKIAM.pdf
3. CEPAL. (2023). La función de las autoridades en las localidades mineras. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ff67e62b-9126-4de9-baca-c758e89f4abf/content>
4. Choque, Y., & Estremadoyro, M. (2024). Contaminación ambiental por metales pesados en el río Piñog Condesuyos-Arequipa, 2022. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8917>
5. Enríquez, A., & Quezada, M. (2021). Huella química de elementos identificadores en los distritos mineros Nambija y Zaruma–Portovelo. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 12-20. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2181>
6. Estupiñan, R., Romero, P., García, M., Garcés, D., & Valverde, P. (2021). La minería en Ecuador. Pasado, presente y futuro. *Boletín geológico y minero*, 132(4). <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.132.4.010>
7. García, H. L. (2024). Diseño del sistema de explotación subterráneo para la extracción de oro del bloque S01 de la sociedad “Las Peñas”, código 591834, sector Chinapintza, cantón Paquisha, Provincia de Zamora Chinchipe. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/31476>
8. Jiménez, M., Durán, G., Bonilla, A., Ávila, M., & Araújo, M. (2020). El Pangui: urbanización en la Amazonía Sur–entre el desplazamiento y las regalías mineras. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58193.pdf>
9. Lewis, S., & Rosales, J. (2020). Restoration of Forested Lands under Bauxite Mining with Emphasis on Guyana during the First Two Decades of the XXI Century: A Review. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.4236/gep.2020.811003>
10. Mancini, L., & Sala, S. (2018). Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, 57, 98-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002>

11. Rivera-Parra, J., Beate, B., Diaz, X., & Ochoa, M. (2021). Artisanal and small gold mining and petroleum production as potential sources of heavy metal contamination in Ecuador: A call to action. . *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph18062794>
12. Rojas, J., & Quispe, L. (2023). Análisis de la percepción del conflicto socioambiental ocasionado por los pasivos ambientales mineros en el centro poblado de Hualgayoc, 2021.
13. Romero, C., Carranco-Andino, F., Gramal-Aguilar, A., Cobos-Maldonado, N., & Pazmiño-Aguilar, P. (2023). Petrografía y geoquímica del intrusivo de Naiza, cordillera Cutucú, Ecuador. *Boletín de Geología*, 45(3), 15-36. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-02832023000300015&script=sci_arttext
14. Sun, Q., Zhang, J., Zhou, N., & Qi, W. (2018). Relleno en la minería de carbón para preservar el agua de superficie en China occidental. *Mine Water and the Environment*. (37), 366-375. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10230-017-0466-0>

© 2025 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).