

<https://doi.org/10.47460/minerva.v5i13.150>

Uso de la zeolita cálcica como agente de absorción de arsénico y plomo en relaves mineros

Patricio Feijoo
<https://orcid.org/0000-0001-6901-7933>
pfeijoo@uazuay.edu.ec
Universidad del Azuay
Cuenca-Ecuador

Eduardo Luna
<https://orcid.org/0000-0002-3875-8998>
eluna@uazuay.edu.ec
Universidad del Azuay
Cuenca-Ecuador

Recibido (12/11/2023), Aceptado (16/01/2024)

Resumen: En procesos metalúrgicos en plantas de beneficio, generan grandes cantidades de desechos denominados relaves mineros, estos son perjudiciales para el medio ambiente y la salud, por los metales pesados presentes. Dichos relaves algunas veces son depositados en efluentes hídricos, cercanos a las zonas de producción minera. Por ello, el propósito de la presente investigación fue proponer una remediación parcial del problema expuesto, con el uso de zeolita, depositando este mineral sobre y debajo del relave minero, efectuando 10 ensayos, con variación de la cantidad de zeolita, desde 100 hasta 500 gramos. Los ensayos fueron sometidos a un tiempo de acción de 30 días. Los resultados obtenidos en la experimentación demuestran que el ensayo con 500 gramos, colocado en la parte inferior al relave, fue el más eficiente para la absorción de metales pesados, específicamente con resultados de 43% en plomo y 51% en arsénico, lo cual beneficia al medio ambiente.

Palabras clave: relave minero, zeolita, remediación, arsénico, plomo.

Use of calcium zeolite as an absorption agent for arsenic and lead in mine tailings

Abstract.- Metallurgical processes in beneficiation plants, generate large quantities of waste called mining tailings, which are harmful to the environment and health due to the heavy metals present. These tailings are sometimes deposited in water effluents, close to mining production areas. Therefore, the purpose of the present investigation was to propose partial remediation of the exposed problem, with the use of zeolite, depositing this mineral on and under the mining tailings, carrying out 10 tests, with variation in the amount of zeolite, from 100 to 500 grams. The trials were subject to an action time of 30 days. The results obtained in the experimentation show that the test with 500 grams, placed at the bottom of the tailings, was the most efficient for the absorption of heavy metals, specifically with results of 43% in lead and 51% in arsenic, which benefits to the environment.

Keywords: mining tailings, zeolite, remediation, arsenic, lead.



I. INTRODUCCIÓN

Luego del proceso de explotación y tratamiento de minerales, en especial en minas polimetálicas, como las específicas para extracción de oro, se generan una gran cantidad de los denominados relaves mineros, los cuales en su mayoría tienen presentes metales pesados, los cuales son contaminantes hacia el medio ambiente. La minería del oro, propone una serie de actividades de beneficio y transformación, para esto requiere usar cantidades cuantiosas de agua y aditivos, además de llevar a cabo ciertos procesos fisicoquímicos para la extracción del oro. La composición de los relaves varía dependiendo de su origen y del método de beneficio de la actividad minera, también, pueden tener un alto contenido de metales pesados como níquel, cobre, arsénico, cadmio, zinc, plomo, etc., que pueden generar afectaciones a la salud de los seres vivos [1].

Bioquímicamente, la acción tóxica de los metales pesados se manifiesta por la fuerte afinidad de las formas catiónicas de estos metales por el sulfuro presente de los grupos sulfhídricos R-SH presentes en las enzimas. Las enzimas son las macromoléculas encargadas de catalizar numerosas reacciones en los organismos [2]. El arsénico es un elemento químico de número atómico 33, unidad de masa atómica 74.92 y de color gris metálico. A pesar de ser un metaloide, entra en la categoría de metal pesado debido a su densidad atómica. Se encuentra en aguas naturales en cuatro estados oxidativos: arsenato (AsO_4^{3-}), arsenito (H_3AsO_3), arsénico (AsO) y arsano (AsH_3), ya sea a modo de compuesto inorgánico u organometálico. Estas alteraciones químicas están sujetas al pH en el que se encuentre, siendo de 0-2 arsenito, 3-6 arsenato, de 7-11 arsénico y de 12-14 arsano. Es importante mencionar que el arsénico es un elemento químico que sufre complejas interacciones en soluciones acuosas. Los principales estados en los que se encuentra el arsénico son en soluciones acuosas como arsenito y arsenato, donde el arsenito es el compuesto más tóxico, debido a sus propiedades que permiten ser más móviles. Además, por sus propiedades químicas el arsénico es casi similar al fósforo, por lo que puede introducirse en plantas comestibles [3]. Es por ello que hay una gran posibilidad de que la intoxicación por arsénico sea debido a fuentes alimenticias o por consumo de agua dando como resultado enfermedades como cáncer, diabetes, cirrosis y problemas de la piel [4].

El plomo es un elemento químico con un número atómico de 82, unidad de masa atómica de 207,2 y su densidad de 11,4 g/cm³, es de una tonalidad gris azulada, de baja temperatura de fusión alrededor de los 327,5 °C, rara vez se lo encuentra en la naturaleza en la forma de metal, por lo general se lo encuentra combinado con dos o más elementos. El plomo es un metal pesado resistente a la corrosión por aire o agua, es de maleabilidad fácil, ya que se puede modelar y tallar, este metal puede combinarse con otros metales para formar aleaciones. El plomo es un contaminante ambiental muy tóxico y se presenta en el ambiente por actividades antropogénicas como la minería y la fundición. En el suelo contaminado por plomo se encuentran también cadmio y zinc, generando una barrera de suelo-planta, limitando el crecimiento de la corteza vegetal en algunas especies [5]. En condiciones estándares el plomo no reacciona con el agua, pero al estar en contacto con el aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta, en la superficie del metal se forma una capa de óxido de plomo (PbO), en presencia de oxígeno y del agua, el plomo se transforma a hidróxido de plomo (Pb(OH)_2), generando contaminantes tóxicos, las sales de plomo tienen en el agua un peligro de clase 2, y por lo tanto son dañinas, lo mismo se aplica a otros compuestos como el acetato de plomo, óxido de plomo, nitrato de plomo y carbonato de plomo [6]. Las zeolitas fueron descubiertas por Axel F. Cronstedt en 1756, pero fue hasta 1925 que Weigel y Steinhoff reportaron su capacidad absorbente. La Zeolita cálcica es una descomposición de una roca sedimentaria, la cual está constituida por silicatos de aluminio hidratados y su pureza se determina según la coloración presente desde blanco (pura) hasta rojo anaranjado. Tiene una alta capacidad de absorción e intercambio iónico, baja permeabilidad, capacidad de expansión, estabilidad físico-química y elevada área superficial [7].

Generalmente, las zeolitas naturales son de origen volcánico o de rocas metamórficas. Las de origen volcánico principalmente forman cristales finos que se encuentran dentro de las rocas ígneas o basálticas. Las zeolitas se encuentran en todo el mundo, pero debido a las diferentes regiones geográficas y diferentes condiciones se han generado variaciones en la estructura cristalina, dando como consecuencia un cambio a sus capacidades físico - químicas [8]. Cabe recalcar que la zeolita, en las últimas décadas, se ha encontrado que es eficaz para eliminar metales como Pb (II), Cd (II), Cr (III), Cu (II), Mn (II), Zn (II), Ni (II) y As (V) [9]. Entre las zeolitas naturales tenemos alrededor de 67 especies, entre ellas tenemos la Mordenita; la Chabazita, entre otros. Por otra parte, la necesidad de desarrollar nuevos materiales ha llevado a los investigadores, a sintetizar más de 231 estructuras de zeolitas, a las cuales se nombran con letras: Tipo A, X, Y, ZSM, entre otros [10]. La zeolita tiene la capacidad de remover metales pesados, posee propiedades de intercambio iónico, por lo cual pueden remover iones metálicos, se la implementa en procesos metalúrgicos, drenaje ácido y de relaves. La composición de la zeolita se forma por precipitación de fluidos que se hallan en poros, alteración del vidrio volcánico, etc. Tiene un bajo costo de extracción y son neutros en procedimientos químicos - físicos y térmicos [11]. Estudios demuestran la utilidad de las zeolitas naturales en la remediación de plomo en pasivos mineros, en los cuales se logró remover hasta el 90% del metal tóxico por mecanismos de absorción e intercambio iónico [12]. Otros estudios con zeolitas naturales en soluciones impactadas con varios metales pesados reportan un porcentaje de remoción de plomo de hasta el 72,45% [13].

II. DESARROLLO

La minería del oro propone una serie de actividades de beneficio y transformación, para esto requiere usar cantidades cuantiosas de agua y aditivos, además de llevar a cabo ciertos procesos fisicoquímicos para la extracción del oro. El relave minero es un sólido molido, originado de las operaciones mineras, es una mezcla de desechos procedentes de dichas actividades en la concentración de minerales, pasa por un proceso de molienda de sólidos dando un material triturado muy fino y su composición varía dependiendo de su origen, contiene rocas molidas, agua y ganga, solo una pequeña fracción representa al elemento de interés económico que se desea recuperar (cerca del 1%), el resto se lo denomina relave y se deposita de una forma segura y ambientalmente responsable [14]. Uno de los principales problemas de la mala gestión de los residuos mineros es la generación de drenaje, especialmente el drenaje ácido minero, provocado por la oxidación de grandes cantidades de minerales sulfurados expuestos al medio ambiente durante la explotación de ciertos yacimientos, como la pirita, la cual al entrar en contacto con el agua, oxígeno y bacterias, dan como resultado la generación del drenaje ácido minero y la producción de ácido sulfúrico, que afecta a otros minerales disolviéndolos y creando elementos tóxicos que se liberan al medio ambiente contaminando las aguas superficiales como subterráneas [15].

Los relaves pueden alterar la composición del suelo adyacente, la flora y fauna además pueden producir cambios a nivel de microclima, que se traducen en una variación del paisaje. La mayoría de los impactos ambientales se genera por las grandes dimensiones de los depósitos de relaves, la vulnerabilidad a la erosión eólica e hídrica, la alteración que producen en los cauces de aguas naturales y a la composición física y química de los residuos, que, entre otros, pueden llevar a la acidificación del medio [16]. Bioquímicamente, la acción tóxica de los metales pesados se manifiesta por la fuerte afinidad de las formas catiónicas de estos metales por el sulfuro presente de los grupos sulfhídricos R-SH presentes en las enzimas. Las enzimas son las macromoléculas encargadas de catalizar numerosas reacciones en los organismos [17]. Por una parte, el arsénico puede transportarse a distancias cortas en aguas subterráneas y superficiales, altera la flora, la producción de biomasa, calidad de suelo y agua, genera cáncer de pulmón y piel por ingestión. Por otra parte, el plomo está presente en suelos y agua, pero no es esencial para el crecimiento de animales y plantas, afecta la actividad biológica de los suelos y afecta el sistema nervioso, riñones, sistema reproductor.

La zeolita es una descomposición de una roca sedimentaria, la cual está constituida por silicatos de aluminio hidratados y su pureza se determina según la coloración presente desde blanco (pura) hasta rojo anaranjado. Tiene una alta capacidad de absorción e intercambio iónico, baja permeabilidad, capacidad de expansión, estabilidad físico-química y elevada área superficial [18]. La zeolita tiene la capacidad de remover metales pesados, posee propiedades de intercambio iónico, por lo cual pueden remover iones metálicos, se la implementa en procesos metalúrgicos, drenaje ácido y de relaves. Este trabajo es una base teórica importante y el respectivo análisis propuso la elaboración de muestras con la presencia de relave minero y zeolita. En la parte metodológica se hace una explicación de esta variación. Los resultados obtenidos presentan un rango interesante de absorción de arsénico y plomo, lo que nos demuestra la validez de la teoría. Las conclusiones evidencian lo expuesto anteriormente.

III. METODOLOGÍA

El trabajo inició con la obtención de material de relave minero de una mina ubicada en el cantón Zaruma, provincia de El Oro. Este material se tomó de tal manera que en laboratorio se obtuvo una muestra representativa de 5 kg, la cual se homogenizó y cuarteó para obtener 200 g y esta parte fue enviada para la ejecución de un análisis químico mediante absorción atómica, específicamente para la determinación de arsénico y plomo presentes. El relave minero se puede observar en la figura 1. Inicialmente se realizó una caracterización, tanto del relave minero como de la zeolita, y se determinaron su humedad inicial, porosidad, granulometría, densidad, peso específico, mineralogía.



Figura 1. Relave minero en estado húmedo.

Los resultados de este análisis previo, generalmente denominado análisis de cabeza, los podemos observar en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de arsénico y plomo iniciales en el relave minero.

	Arsénico (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)
Muestra inicial	299,1	74,6

La propuesta consistió en ejecutar 10 ensayos, los cuales se dividen en dos grupos. El primer grupo fueron realizados con la colocación de relave minero de 500 g en la base, en 5 muestras y sobre cada una de estas, una capa de zeolita de 100 g, 200 g, 300 g, 400g y 500 g. El otro grupo de ensayos se ejecutaron con las mismas cantidades de relave y zeolita, pero con la diferencia que el estrato de zeolita estuvo ubicado en la parte inferior, es decir sobre la zeolita colocamos el relave minero. Una imagen de estas preparaciones se la puede observar en la figura 2.



Figura 2. Valores de arsénico y plomo iniciales en el relave minero.

La cantidad de relave minero en cada muestra fue constante y fue de 500 g. Las cantidades de zeolita, tanto en la parte superior como en la parte inferior, variaron desde los 100 g a los 500 g. Estas muestras se las dejaron reposar a temperatura ambiente por 30 días. La proposición fue experimentar qué cantidad de arsénico y plomo es capaz la zeolita de absorber simplemente con colocar capas de este mineral sobre y debajo del relave minero. La consistencia en la cantidad de relave minero en cada muestra es un punto crucial en este estudio. Esta decisión metodológica garantiza la comparabilidad de los resultados y refuerza la confiabilidad de las conclusiones obtenidas. La estandarización de esta variable de control permite aislar los efectos de la zeolita, proporcionando resultados más precisos y aplicables. La gestión de relaves mineros es una preocupación constante, y comprender cómo la zeolita puede modular las propiedades del relave abre nuevas posibilidades para la optimización de procesos en la minería y la mitigación de impactos ambientales.

IV. RESULTADOS

Luego de ejecutar los ensayos, se presentan los resultados en la tabla 2, se han establecido los diferentes valores de remoción de arsénico y plomo en porcentajes, respecto del análisis de cabeza, para los ensayos con zeolita ubicada tanto en la parte superior como inferior.

Tabla 2. Valores de remoción de arsénico y plomo del relave minero.

Relación	Zeolita parte inferior y relave parte superior		Zeolita parte superior y relave parte inferior	
	% de remoción		% de remoción	
	Arsénico	Plomo	Arsénico	Plomo
1:5	44,7	35	30,5	19
2:5	47,7	37,2	32,5	20,9
3:5	47,9	39,6	33,9	21,8
4:5	49,4	40,2	33,5	22,9

Se puede observar que los resultados muestran una variación para la relación relave-zeolita y también por grupos. En las figuras 3 y 4 podemos observar que la presencia de plomo y arsénico disminuyó y dependiendo de la ubicación de la zeolita, específicamente en la parte inferior, se logró una mayor absorción de los elementos, así mismo, en dependencia de la cantidad usada de zeolita se consiguió obtener una mayor absorción de plomo y arsénico. Esto podemos visualizar de mejor forma en las figuras 3 y 4.

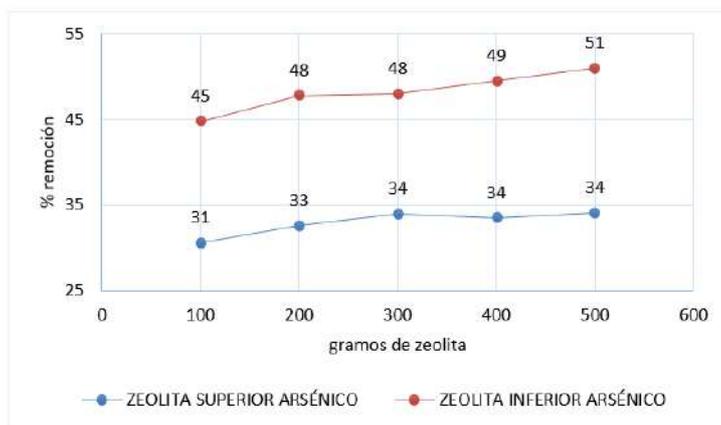


Figura 3. Porcentajes de remoción de arsénico.

En primer lugar, se evidencia una disminución sustancial en la concentración de plomo y arsénico en presencia de zeolita, indicando un potencial efecto de mitigación de estos elementos tóxicos por parte de este mineral. Este resultado es de suma importancia en el contexto ambiental y de salud pública, donde la reducción de la presencia de metales pesados como el plomo y el arsénico en los relaves mineros podría tener implicaciones directas en la prevención de la contaminación del suelo y del agua subterránea. Al analizar la ubicación específica de la zeolita en las muestras, se destaca un fenómeno interesante: la parte inferior muestra una mayor absorción de plomo y arsénico en comparación con la parte superior. Este hallazgo podría atribuirse a procesos de sedimentación y filtración, donde la zeolita en la parte inferior actúa como una barrera más eficiente para capturar estos contaminantes, sugiriendo posibles estrategias de diseño en la disposición y gestión de relaves mineros para maximizar la eficacia de la zeolita como agente adsorbente.

La influencia directa de la cantidad de zeolita utilizada en la absorción de plomo y arsénico es evidente en las figuras 3 y 4. A medida que la cantidad de zeolita aumenta, se observa un incremento proporcional en la capacidad de absorción de estos elementos. Este comportamiento podría estar relacionado con la disponibilidad de sitios activos de adsorción en la zeolita, destacando la importancia de optimizar la cantidad de zeolita en procesos de remediación para maximizar su eficacia. Desde un enfoque técnico y científico, estos resultados subrayan la complejidad de las interacciones entre el relave minero y la zeolita, ofreciendo valiosa información para el diseño de estrategias de remediación ambiental. Además, invitan a la reflexión sobre la aplicabilidad industrial de estos descubrimientos, sugiriendo posibles mejoras en los métodos actuales de gestión de relaves mineros para minimizar su impacto ambiental.

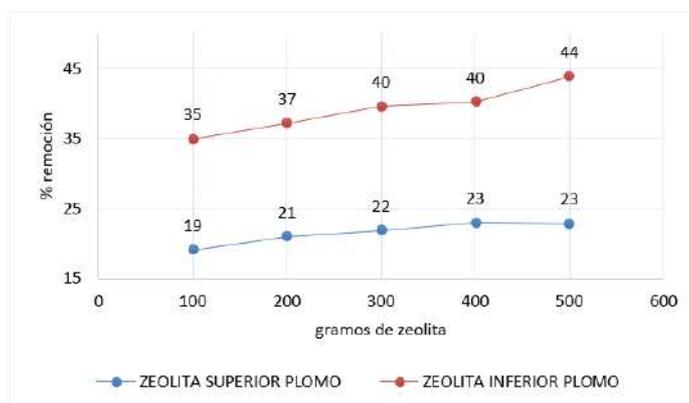


Figura 4. Porcentajes de remoción de plomo.

Continuando con el análisis de los resultados, es crucial destacar la implicación de estos hallazgos en el desarrollo de tecnologías sostenibles y eficaces para la gestión de relaves mineros. La capacidad de la zeolita para modular la presencia de metales pesados no solo resalta su potencial aplicación en la remediación ambiental, sino que también sugiere la posibilidad de incorporar este mineral como parte integral de procesos mineros y metalúrgicos para prevenir la liberación de contaminantes desde el inicio. La investigación abre una ventana hacia la innovación en la ingeniería de procesos, donde la zeolita podría ser considerada no solo como un agente de remediación sino como un componente estratégico en la planificación y ejecución de operaciones mineras sostenibles.

Desde un punto de vista técnico, es esencial ahondar en los mecanismos específicos que subyacen a la interacción entre la zeolita y los elementos contaminantes. La caracterización detallada de las propiedades superficiales y la estructura porosa de la zeolita podría proporcionar una comprensión más profunda de los procesos de adsorción y los factores que influyen en la eficacia de este mineral como agente mitigador. Investigaciones adicionales podrían explorar la cinética de adsorción, la capacidad de regeneración de la zeolita y su estabilidad a largo plazo en condiciones realistas, aportando datos fundamentales para la aplicación práctica de estos resultados en escenarios industriales y medioambientales. Estos avances no solo fortalecerían la base científica de la investigación, sino que también contribuirían al desarrollo de estrategias más efectivas y personalizadas para la gestión sostenible de relaves mineros en distintos contextos geográficos y geológicos.

CONCLUSIONES

Una vez evaluados los resultados se puede observar que los ensayos de las muestras con zeolita en la parte superior reflejaron una remoción del 30% al 34% de arsénico y del 19% al 22% de plomo, y las muestras con zeolita en la parte inferior una remoción del 44% al 51% en arsénico y del 35% al 43% en plomo. Finalmente se deben hacer pruebas de la zeolita con la absorción de arsénico y plomo para verificar su deposición final en el ambiente. Además, durante la investigación se demostró que la relación 5:5 (parte inferior), es la óptima de los ensayos de absorción, con una remoción del 43% de plomo y 51% de arsénico. Cabe indicar que la temperatura ambiente podría afectar los resultados, en este caso dicho valor de temperatura estuvo alrededor de los 16° C.

Se debe tomar en consideración que, en este trabajo, el relave tiene un tamaño de partícula mayor en comparación a la zeolita, y menor porosidad, lo cual, si estos parámetros varían para otro estudio, la granulometría y/o porosidad como variables a investigar, los porcentajes de remoción podrían también variar. Además, la capacidad de absorción que posee la zeolita puede ser utilizada en la remediación de plomo y arsénico en relaves mineros. Pero se debe evaluar la viabilidad técnica y económica y así permitir su uso permanente en las minas que generan este tipo de relave.

REFERENCIAS

- [1] L. Beltrán, J. Larrahondo, D. Cobos, "Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia". Boletín de Ciencias de la Tierra [online]. 44, 5-20. 2018. <https://doi.org/10.15446/rbct.n44.66617>.
- [2] C. Durango, "Viabilidad técnica del proceso de vitrificación como alternativa al manejo de relaves mineros". 2022. Disponible en: <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5321?show=full>.
- [3] J. Liu, W. Pingxiao, L. Shuaishuai, C. Meiqing, C. Wentin, Z. Dinghui, Z., Nengwu, D. Zhi, "Synergistic deep removal of As (III) and Cd (II) by a calcined multifunctional MgZnFe-CO₃ layered double hydroxide: Photooxidation, precipitation and adsorption". Chemosphere, 225, 115-125. 2019.
- [4] J. Buchet, D. Lison, "Clues and uncertainties in the risk assessment of arsenic in drinking water". Food and Chemical Toxicology. 38(1 Suppl), 81-85. 2000.
- [5] J. Prieto, C. González, A. Román, F. Prieto, "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". Agroecosistemas tropicales y subtropicales, 10(1), 29-44. 2009.
- [6] S. Pabón, R. Benítez, R. Sarria, J. Gallo, "Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción". Ciencia e Ingeniería, 14(27), 9-18. 2020.
- [7] D. Carbonel, "Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética". Ingeniería, 23(3), 252-273. 2018. <https://doi.org/10.14483/23448393.13418>.
- [8] E. Pérez, S. Valencia, F. Rey, "Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects". Chemical Reviews. 122, 17647-17695. 2022. <https://digital.csic.es/handle/10261/289779>.
- [9] A. Abin, G., Sandino, L. Rodríguez, E. Santellano, S. Rodríguez, L. Cortés, "Copper Removal by Acid-Conditioned Zeolite, Part II: Kinetics and Thermodynamic Studies". Journal of Environment and Earth Science. 9(3), 39-50. 2019.
- [10] R. Yang, "Nanostructured adsorbents". Advances in Chemical Engineering. 27. 79-124. 2021.
- [11] K. Ponce, G. Arenas, "Análisis de los métodos de tratamientos biológicos en procesos mineros para la gestión de aguas residuales y relaves". Universidad Católica San Pablo. 2021.
- [12] J. Alvarado, M. Sotelo, D. Meza, F. Maubert, F. Paz, "Evaluación de la potencialidad de una chabasita natural mexicana en la remoción de plomo en agua". Revista internacional de contaminación ambiental, 29(2), 201-210. 2013.
- [13] R. Ramos, M. Sánchez, M., R. Coronado, "Remoción de metales pesados de solución acuosa por medio de Clinoptilolitas naturales". Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 17(3), 129-136. 2001.
- [14] L. Beltrán, J. Larrahondo, D. Cobos, "Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia". 2018.
- [15] C. Basoalto, "Caracterización mineralógica y su relación con el potencial de contaminación del relave abandonado, "Dulcinea" ubicado en la comuna de Petorca, Región de Valparaíso". Tesis de grado. 2019. <https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/13590>.
- [16] M. Lobos, "Efectividad de biosólidos para la fitoestabilización de un tanque de relaves minero, en la Comuna de Nogales". Tesis de grado. 2008. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104997>.
- [17] C. Escobar, "Viabilidad técnica del proceso de vitrificación como alternativa al manejo de relaves mineros". Tesis de grado. 2022. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/f4292930-d6ed-40c4-8689-bbb96670f280>
- [18] D. Carbonel, "Adsorción de cadmio, cobre y plomo en bentonita, caolín y zeolita naturales y modificados: una revisión de los parámetros, isotermas y cinética del proceso". Ing., vol. 23, núm. 3, 2018.

LOS AUTORES

Patricio Feijoo Calle, Ingeniero en Minas, egresado de la Universidad del Azuay (Cuenca-Ecuador), con estudios y pasantías en: Bolivia, Brasil, España, Australia en áreas de geología, geofísica y desarrollo de actividades mineras. Está vinculado a la docencia e investigación en la Universidad del Azuay desde 1991.



Eduardo Luna Méndez, Ingeniero en Minas, egresado de la Universidad del Azuay (Cuenca-Ecuador), con estudios y pasantías en: Colombia en áreas del Tratamiento de Minerales. Posee un Master en Recursos Minerales. Está vinculado a la docencia e investigación en la Universidad del Azuay desde 2019.