

Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú

Valorization of Mining Waste as Aggregates for Road Construction: Circular Economy in the Andean Region of Peru

Yovana Torres Gonzales¹, Raquel Gonzales Cabrera², Isaac Abraham Cotera Nuñez³ y Del Piero R. Arana-Ruedas^{4*}

Resumen

La minería en el Perú es la más grande actividad económica aportando un porcentaje considerable al Producto Bruto Interno nacional. Sin embargo, el proceso de esta actividad evidencia diversos conflictos socio-ambientales. La generación de residuos mineros o expresados como relaves mineros provenientes de los diversos procesos es una amenaza latente que afecta las esferas del desarrollo sostenible. Este estudio tuvo como objetivo la propuesta de valorización de relaves mineros como áridos para la construcción de carreteras en la región andina del Perú bajo un enfoque de economía circular. En consecuencia, se realizó diversos análisis para evaluar su viabilidad como el factor meteorológico de precipitación, acidez o alcalinidad, elementos presentes en la muestra, granulometría, California Bearing Ratio (CBR) y prueba Marshall. Los resultados han demostrado que la propuesta cumple con los parámetros establecidos a nivel nacional con una estabilidad de 877,67 kg y un aprovechamiento del 25% de los relaves mineros. En conclusión, el uso de relaves mineros como áridos para la construcción es una propuesta viable para la construcción de carreteras bajo un enfoque de economía circular. Finalmente, se recomienda el análisis de valorización de residuos mineros en otros elementos del sector construcción para continuar promoviendo la economía circular y desarrollo sostenible.

Palabras clave: Minería, Pasivos Mineros, Construcción, Economía Circular, Desarrollo Sostenible.

Abstract

Mining is the largest economic activity in Peru, contributing a considerable percentage of the country's Gross Domestic Product. However, the process of this activity evidences several socio-environmental conflicts. The generation of mining waste or expressed as mining tailings from the various processes is a latent threat that affects the spheres of sustainable development. The objective of this study was to propose the valorization of mining tailings as aggregates for road construction in the Andean region of Peru under a circular economy approach. Consequently, several analyses were carried out to evaluate its viability, such as the meteorological factor of precipitation, acidity or alkalinity, elements present in the sample, granulometry, California Bearing Ratio (CBR) and Marshall test. The results have shown that the proposal complies with the parameters established at the national level with a stability of 877.67 kg and a 25% utilization of mine tailings. In conclusion, the use of mine tailings as aggregates for construction is a viable proposal for road construction under a circular economy approach. Finally, the analysis of the valorization of mining waste in other elements of the construction sector is recommended to continue promoting the circular economy and sustainable development.

Keywords: Mining, Mining Liabilities, Construction, Circular Economy, Sustainable Development.

Recibido: 05/02/2024

Aceptado: 01/05/2024

Publicado: 02/05/2024

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: darana@continental.edu.pe

Introducción

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; Hernández-Ramos et al., 2024) representando un permanente desafío para las empresas mineras debido a su naturaleza, compuesta principalmente por partículas

¹Universidad Continental, Campus Huancayo, Av. San Carlos 1980, Urb. San Antonio, Huancayo, Junín, Perú, ytorresg@continental.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8486-8637>

²Universidad Continental, Campus Huancayo, Av. San Carlos 1980, Urb. San Antonio, Huancayo, Junín, Perú, 72411831@continental.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6149-126X>

³Universidad Continental, Campus Huancayo, Av. San Carlos 1980, Urb. San Antonio, Huancayo, Junín, Perú, 75312019@continental.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0003-6583>

⁴Universidad Continental, Campus Huancayo, Av. San Carlos 1980, Urb. San Antonio, Huancayo, Junín, Perú, darana@continental.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3682-5405>

Como citar: Torres Gonzales, Y., Gonzales Cabrera, R., Cotera Nuñez, I. A. & Arana Ruedas, D. P. R. (2024). Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 26(2) 71-78. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.605>



finas y contenido húmedo (Fernandez Ochoa, 2022). Asimismo, en su composición predomina la presencia de diversos metales pesados (Miguel et al., 2022; Pérez-Vázquez & Martín-Lago, 2021).

Estos relaves cuando no son dispuestos en cumplimiento de las regulaciones o aprovechados para un segundo uso por falta de conocimiento pueden desencadenar afectaciones severas a la esfera ambiental, social y económica. En tal sentido, (García-Troncoso et al., 2022) sostiene que actualmente se vienen estudiando diversas propuestas para el aprovechamiento de los relaves mineros como impulsor del desarrollo sostenible principalmente en países donde la actividad minera es sumamente activa.

Es fundamentado por (Tumialán et al., 2023) que los relaves mineros pueden representar una oportunidad para las empresas del sector minero en los supuestos de análisis y valorización de residuos, reduciendo costos operacionales y reduciendo los impactos ambientales. Este enfoque se puede traducir en economía circular. Es sostenido por (Luukkonen et al., 2024) que un consumo bajo un enfoque circular representa la reducida necesidad de materiales vírgenes lo que coadyuva al cumplimiento de 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 (Sandoval Vallejo & Rivera 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.

La planificación y desarrollo de superficies duraderas para el tráfico vehicular y peatonal constituye un proceso integral. Este da inicio con la evaluación del tipo y volumen de tráfico previsto en la zona, proporcionando datos esenciales para determinar la resistencia necesaria del pavimento y la capacidad de carga requerida (Calva Herrera & Muñoz Pérez, 2022). En este contexto, la composición del suelo en la ubicación del proyecto desempeña un papel crucial y se examina a través de estudios geotécnicos que abarcan la capacidad portante del suelo, su expansión, contracción y capacidad para resistir esfuerzos de carga (Antony & Terrones, 2024).

Asimismo, el análisis de las cargas vehiculares, tanto axiales (de las ruedas) como distribuidas en la superficie, es vital para establecer el grosor adecuado del pavimento y su capacidad de soporte (Staub de Melo et al., 2019). La selección meticulosa de materiales, desde el

tipo de mezcla asfáltica hasta la calidad del concreto, se convierte en un factor determinante y debe cumplir con normas y especificaciones para asegurar la resistencia y durabilidad del pavimento (Münkel Jiménez et al., 2021).

En simultáneo, un diseño eficaz de pavimentos contempla la gestión eficiente del agua de lluvia mediante sistemas de drenaje adecuados, previniendo problemas como la erosión y el deterioro prematuro del pavimento. Consecuentemente, las condiciones climáticas del lugar también deben ser analizadas, anticipando potenciales eventos anómalos que podrían afectar la integridad de la superficie del pavimento (Muñoz & Zevallos, 2021).

Es referido por (Goli, 2022) que el sistema de pavimentación flexible se estructura a través de estratos múltiples, donde la capa superficial, destinada a la rodadura, está compuesta mayormente por un 95 % de material pétreo (agregado) y un 5 % de un agente aglutinante, típicamente asfalto con aditivos. Estos agregados pétreos provienen de rocas que tienen la capacidad de ser categorizadas según sus procesos de formación en ígneas, sedimentarias o metamórficas.

Los áridos, provenientes de los relaves mineros, dependiendo de su clasificación geológica y geotécnica, exhiben una considerable diversidad en sus propiedades mecánicas. Por ende, los áridos pueden interactuar con estos materiales pétreos para crear composiciones granulométricas de diversas cualidades y variados tamaños de partículas con el propósito de evaluar su comportamiento en una mezcla (Bojacá Torres & Campagnoli Martínez, 2022).

Asimismo, el análisis de asfalto resulta relevante y es necesario emplear el Método Marshall. Los resultados dependerán de la disposición y la utilización de dos variables principales: el agregado y el aglutinante (Cajina Cruz et al., 2021).

Entre los aspectos más destacados a considerar se encuentra la estabilidad, que se define como la resistencia máxima del espécimen al aplicarse una carga en Newtons o libras. El otro parámetro es el flujo, definido como la deformación que ocurre en unidades de 0.25 mm o 1/100 pulgadas (Calva Herrera & Muñoz Pérez, 2022).

A medida que aumenta la estabilidad, la mezcla será capaz de resistir esfuerzos más significativos (empujes) y, al mismo tiempo, presentará menores deformaciones causadas por el flujo. Esto se traduce en una reducción de la formación de surcos y permite que el pavimento se adapte a movimientos graduales sin agrietarse bajo la acción del tráfico (De La Cruz Vega et al., 2022).

En tal sentido, la investigación tiene como objetivo proponer una iniciativa innovadora: la valorización de los relaves mineros como árido en la construcción de carreteras, con el fin de reducir la contaminación ambiental asociada a relaves mineros. La investigación toma lugar en la región andina del Perú, específicamente en Santa Barbara de Carhuacayan, ubicado en la región de Junín.

Métodos

La zona de estudio está ubicada en el distrito de Santa Barbara de Carhuacayan en la provincia de Yauli,

departamento de Junín en la región andina peruana. Este distrito se encuentra por encima de los 4,100 m.s.n.m y en la cual, se desarrollaron actividades mineras.

La toma de muestras en el área evidenciada en la Figura 1 tomó lugar el 09 de setiembre del 2023 recolectándose un total de 10 kg de relave minero con una representación de 5 kg húmedos y 5 kg seco.

La investigación es de naturaleza aplicada, con un diseño de investigación experimental puro y una orientación cuantitativa. Este estudio se procesó

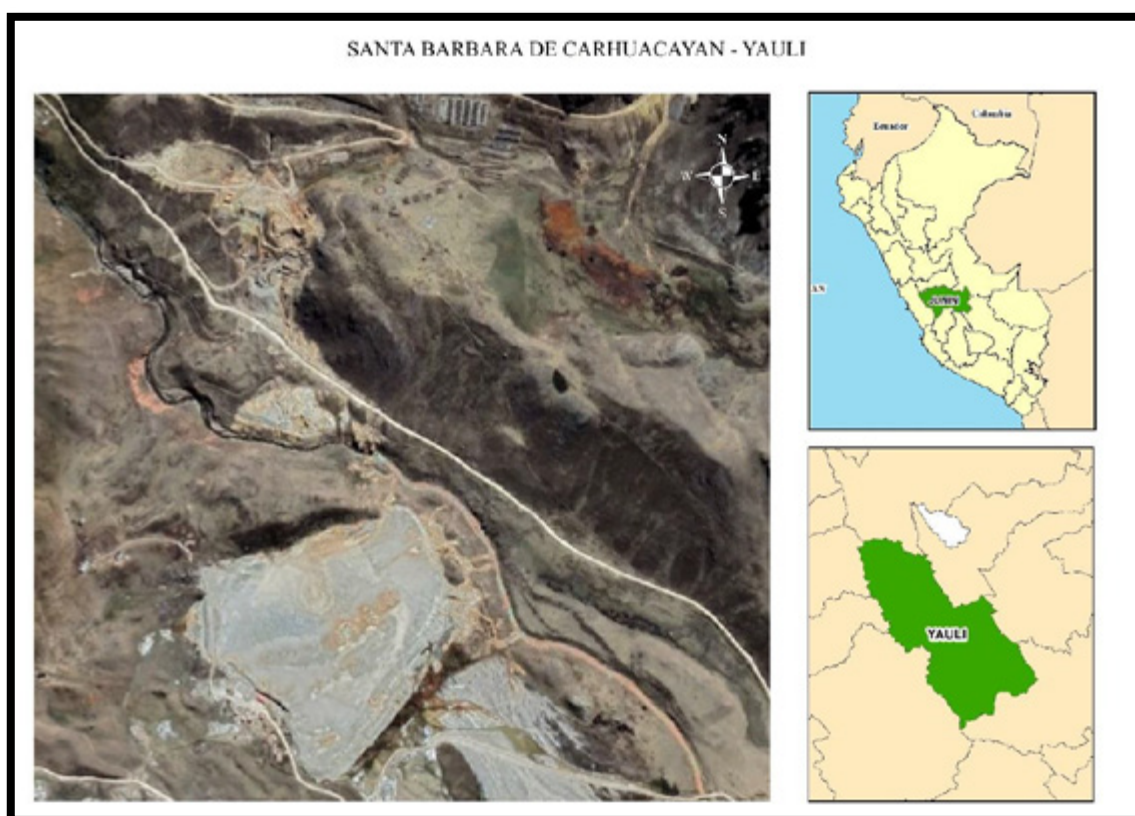


Figura 1. Área de donde provienen las muestras del estudio.

en los laboratorios de la Universidad Continental en la ciudad de Huancayo.

El material y producto final del proceso de investigación fueron puestos a prueba en la carretera JU-101 que cruza por Santa Barbara de Carhuacayan y cuenta con una extensión de 31.28 km.

Los datos meteorológicos del distrito de Santa Barbara de Carhuacayán fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en su estación de monitoreo más cercana al área de estudio, ubicado en el distrito de Jauja, Provincia de Yauli, Departamento de Junín.

Estos datos son de gran relevancia debido a que la variable meteorológica de precipitación juega un papel crucial en el desgaste de las carreteras. Estas adversidades afectan directamente la integridad física del asfalto, tal como lo destacan (Pineda-Martínez, Luis F; León-Cruz, 2020) manifestando que las precipitaciones pueden tener repercusiones negativas en infraestructuras involucrando esferas económico-sociales.

Por otro lado, en relación a las disposiciones de Transportes y Comunicaciones del Perú; se tiene que tener en consideración la granulometría por lo que en el presente estudio se realizó pruebas granulométricas.

Asimismo, se llevó a cabo una evaluación de los estériles del relave minero mediante una prueba de reconocimiento para identificar la presencia de zinc (Zn) y arsénico (As) en la muestra. Esta presencia se atribuye directamente al proceso de tratamiento llevado a cabo para obtener el concentrado de mineral.

Adicionalmente, en base a lo manifestado por (Jara-Peña et al., 2014) en relación al análisis de acidez o alcalinidad en los relaves, se procedió a evaluar esta característica en las muestras del área de estudio.

Respecto a la estructura vial propuesta, se tiene un espesor total de 28 cm, con una base de 10 cm (compuesta por 4 cm de piedra chancada, 4 cm de arena y 2 cm de relave tratado), una subbase de 10 cm (integrada por 5 cm de relave y 5 cm de arena) y una capa asfáltica de 8 cm.

Para evaluar la calidad del material destinado a la base y sub-base, se realizarán pruebas CBR para medir

su capacidad portante. Esta prueba se llevará a cabo mediante una placa de escala, utilizando un molde de 15 cm de diámetro y 17 cm de altura. Durante el ensayo CBR, el pistón penetrará gradualmente en la muestra de suelo compactado, registrando tanto la deformación de penetración como la carga. Este registro permitirá la creación de un gráfico de penetración-sobrecarga.

Siguiendo las directrices de la norma ASTM D 1883-05, se establecen niveles de penetración predefinidos, fijados en 0,1 y 0,2 centésimas de pulgada. Este enfoque metodológico asegura una evaluación precisa y normalizada de la capacidad portante del material, crucial para garantizar la calidad y durabilidad de la infraestructura viaria.

Además, se realizará una prueba Marshall para evaluar la estabilidad de la capa asfáltica, utilizando un molde con dimensiones de 3 pulgadas de diámetro y 9 cm de altura. En ambas pruebas, es esencial lograr una compactación adecuada del material dentro del molde.

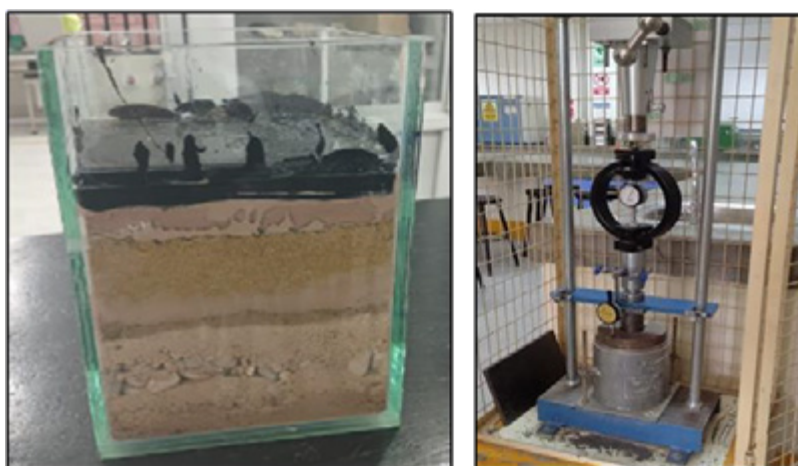


Figura 2. Estructura Vial Propuesta y CBR.

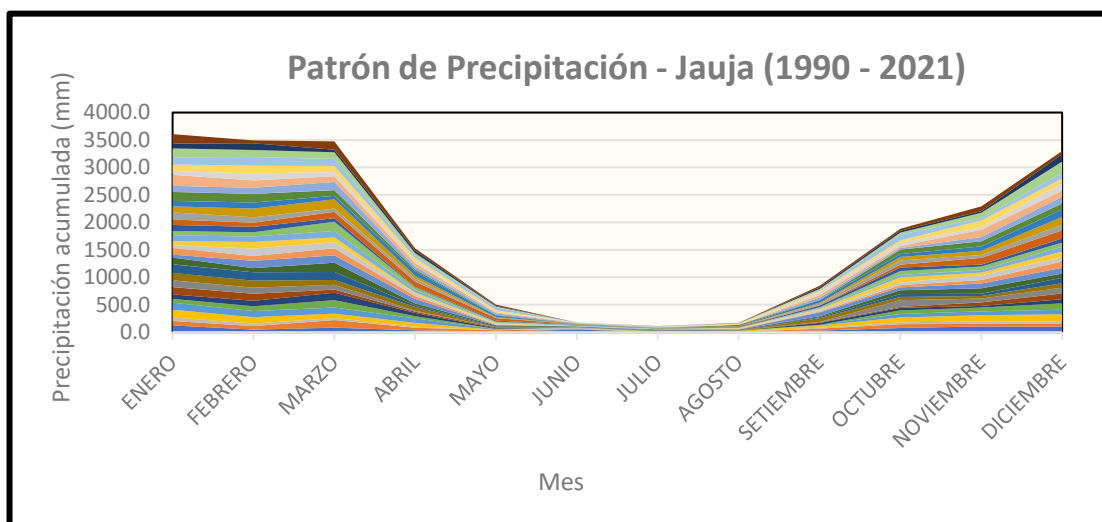


Figura 3. Patrón de Precipitación Acumulada por Mes en Jauja entre 1990 – 2021

Finalmente, se utilizaron los siguientes materiales: (i) Escombreras, (ii) grava/piedra triturada, (iii) agua destilada, (iv) cloruro sódico, (v) equipo CBR (6 pulgadas de diámetro), (vi) equipo Marshall, (vii) microscopio, (viii) arena, (ix) asfalto, (x) cal y (xi) malla tyler n° 200.

Resultados y Discusiones

La Figura 3 ofrece una perspectiva visual del patrón de precipitación acumulada por mes en la provincia de Jauja proveniente de data diaria recolecta por 31 años. Esto, revela un patrón marcado de temporada húmeda y seca, característica de la región andina central del Perú.

En relación a lo expuesto en la Figura 3, (Arana Ruedas et al., 2023) refiere que la provincia de Jauja evidencia un cambio de temperatura en $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ y un incremento en los patrones de precipitación de 2% entre 1990 y 2021.

El resultado de los estériles sometidos a un análisis químico y físico para conocer sus propiedades y determinar presencia de elementos. En nuestro estudio, se identificaron dos elementos (Zn y As) como se puede evidenciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de Reconocimiento de Relaves Mineros Provenientes de Santa Barbara de Carhuacayan

ID laboratorio	ID. Elementos del cliente	Elemento	
		As	Zn
Elemento			
Método		AAS	AAS
Unidad		%	%
Limitado de cuantificación		0.01	0.001
MIN – 23/05685	M- 01	0.34	2.20

Asimismo, la prueba de acidez y alcalinidad evidenció un valor de 4 en una escala de 0 a 14, lo que representa un relave minero ácido. En respuesta, se aplicó cal para neutralizar el pH, llevándolo a los estándares requeridos (Huaranga-Moreno et al., 2021).

Respecto al análisis granulométricos para ser utilizados en la construcción de la base y sub-base del pavimento de la carretera JU-101; la Tabla 2 evidencia sus resultados:

Tabla 2. Análisis Granulométrico de la Muestra Proveniente de Santa Barbara de Carhuacayan

Malla		Peso (g)	% Peso (x)	% Accum (+) G(x)	% Superación (-) F(x)
Tyler	μ				
60	250	82.680	33.072	33.072	66.928
100	150	74.540	29.816	62.888	37.112
120	125	15.070	6.028	68.916	31.084
140	106	15.670	6.268	75.184	24.816
170	88	11.950	4.780	79.964	20.036
200	75	8.800	3.520	83.484	16.516
-200	-	41.290	26.516	100.000	
Total		250.000	100.000		

La tabla 2 es el análisis de tamaño de partículas o tamizado utilizando una malla Representado en micrómetros (μ), el peso (g) que Indica el peso de las partículas retenidas en la malla para cada tamaño, % Peso (x) es el porcentaje del peso total que representa cada rango de tamaño, % Accum (+) G(x) Representa el porcentaje acumulado del peso hasta el tamaño de partícula actual y % Superación (-) F(x) que Indica el porcentaje de partículas que pasan a través de la malla hasta el tamaño de partícula actual.

La interpretación específica es que en el Tyler 60: Indica que el 33.072% del peso total de las partículas

está por encima de 60 μ y el 66.928% está por debajo de 60 μ por otro lado el tamiz estándar y así sucesivamente. Por lo que la distribución de tamaños de partículas en función del peso y el porcentaje acumulado que pasa o se retiene en cada tamaño de malla es evidenciado.

Por otro lado, el ensayo de resistencia California Bearing Ratio (CBR) proporciona información valiosa sobre la capacidad portante del suelo, especialmente en el contexto de la construcción de infraestructuras viarias.

En la tabla 3, se presenta los resultados del ensayo California Bearing Ratio (CBR). Donde la secuencia (s),

indica el tiempo transcurrido en segundos durante el ensayo y los valores van desde 0.15 segundos hasta 1.45 segundos. Asimismo, se refleja la resistencia del suelo a

diferentes niveles de carga y proporciona datos valiosos para evaluar su capacidad portante.

Tabla 3. Ensayo de Resistencia CBR

Secuencia (s)	Valor Equipo CBR	Valor en Kg (Resistencia del suelo a carga puntual)	Valor en KN (Resistencia del suelo a carga puntual)
0.15	29	123.37	1.21
0.3	45	207.35	2.03
0.45	60	331.26	3.25
1	45	496.46	4.87
1.15	62	737.85	7.24
1.3	98	479.15	4.7
1.45	89	441.68	4.33

La variación en los valores a lo largo de los intervalos de tiempo revela cómo el suelo responde a diferentes cargas y puede ayudar en la toma de decisiones en el diseño de infraestructuras, especialmente en el contexto de construcción de carreteras u otras estructuras que dependen de la resistencia del suelo.

Finalmente, según el análisis y la tabla Marshall, se obtuvo una estabilidad de 877,67 kg. Esto, sobre paso los valores mínimos aceptables para tráfico a nivel medio de 750 kg mencionado por (Pretel, 2001). En tal sentido, se cuenta con una estabilidad viable de asfalto para la construcción de carreteras.

Conclusiones

En principio, los relaves mineros tratados analizados en este estudio presentan presencia de zinc y arsénico, con un pH ácido de 4. Sin embargo, gracias a la aplicación de cal, la acidez fue neutralizada, mitigando así los efectos adversos y reduciendo la contaminación por metales pesados.

La utilización de estériles tanto en la base como en la sub-base para la construcción de carreteras demostró ser eficiente, ya que los resultados obtenidos en los ensayos realizados con el método CBR se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Asimismo, se puede afirmar que los relaves mineros son adecuados como agregado para la construcción de carreteras, ya que las pruebas físicas y químicas realizadas demuestran que cumplen con los estándares establecidos. Este enfoque no sólo contribuirá a mitigar el impacto ambiental derivado de los relaves mineros, sino que también ofrece una propuesta viable en el marco de la economía circular.

La prueba de ensayo Marshall fue óptima registrándose un valor aceptable de 877.67 kg, que

supera la estabilidad mínima aceptable para tráfico de nivel medio.

Es fundamental tener en cuenta que el uso de estériles en la construcción de carreteras como áridos requieren una evaluación cuidadosa de sus características químicas y físicas, y debe llevarse a cabo con precaución. Además, es crucial cumplir la normativa nacional para evitar posibles impactos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Finalmente, se recomienda continuar con el estudio de los residuos mineros para ser utilizados en diversos aspectos de construcción, minimizando la contaminación ambiental, reduciendo costos operacionales, promoviendo la economía circular y desarrollo sostenible.

Referencias

- Antony, F., & Terrones, Z. (2024). *Estabilización de la subrasante arenosa con ceniza de cebada y yeso en una localidad costera peruana Stabilization of sandy subgrade with barley ash and gypsum in a peruvian coastal locality* Introducción. 4–11. <https://doi.org/10.15517/iv.v26i45.56066>
- Arana Ruedas, D. P. R., Soto Guerra, L., Popli, K., & Gambo Madaki, S. (2023). Spatio-Temporal Drought Assessment Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) over Mantaro Valley, Peru. *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 25(3), 159–170. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.525>
- Araya, N., Ramírez, Y., Cisternas, L. A., & Kraslawski, A. (2021). Use of real options to enhance water-energy nexus in mine tailings management.

Applied Energy, 303(August), 117626. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117626>

- Bojacá Torres, D. C., & Campagnoli Martínez, S. X. (2022). CBR cíclico como método alternativo para la determinación del módulo resiliente en suelos blandos de subrasante. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(2), 85–98. <https://doi.org/10.18359/rcin.5896>
- Cajina Cruz, N. A., Baldi, A., Camacho Garita, E., & Aguiar Moya, J. P. (2021). Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster. *Infraestructura Vial*, 23(42), 13–22. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.44688>
- Calva Herrera, L. O., & Muñoz Pérez, S. P. (2022). Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escorias de acero. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1–10. <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48421>
- De La Cruz Vega, S. A., Ibañez Ccoapaza, C. E., & Coaquira Cueva, D. Y. (2022). Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1–8. <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>
- FernandezOchoa, B.H. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 24(2), 131–138. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- García-Troncoso, N., Baykara, H., Cornejo, M. H., Riofrio, A., Tinoco-Hidalgo, M., & Flores-Rada, J. (2022). Comparative mechanical properties of conventional concrete mixture and concrete incorporating mining tailings sands. *Case Studies in Construction Materials*, 16(January), e01031. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01031>
- Goli, A. (2022). The study of the feasibility of using recycled steel slag aggregate in hot mix asphalt. *Case Studies in Construction Materials*, 16(December 2021), e00861. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00861>
- Hernández-Ramos, S. M., Trejo-Arroyo, D. L., Cholico-González, D. F., Rodríguez-Torres, G. M., Zárate-Medina, J., Vega-Azamar, R. E., León-Patiño, C. A., & Ortiz-Lara, N. (2024). Characterization and effect of mechanical and thermal activation in mining tailings for use as supplementary cementitious material. *Case Studies in Construction Materials*, 20(September 2023). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02770>
- Huaranga-Moreno, F. R., Truxillense, H., Méndez-García, E. F., & Bernuí-Paredes, F. (2021). Bioindicator species of contamination by mining tailings in the Samne Sector, La Libertad-Peru, 2021. *Arnaldoa*, 28(3), 633–650. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v28n3/2413-3299-arnal-28-03-633.pdf>
- IIMP. (2023). *Revista Minería 551*. <https://revistamineria.com.pe/mineria/551/40/>
- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145–154. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Luukkonen, R., Elina, N., & Becker, L. (2024). *Consumer collectives in the circular economy : A systematic review and research agenda*. 45(September 2023), 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.01.006>
- Miguel, C., Santos, M. R. de D., Bianchini, A., & Vianna, M. R. M. (2022). Potential adverse effects of heavy metals on clinical health parameters of *Caretta caretta* from a nesting area affected by mining tailings in Brazil. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2(August), 100015. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100015>
- MINEM. (2023). *Boletín Estadístico Minero*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4745047-boletin-estadistico-minero-agosto-2023>
- Münkel Jiménez, M., Aguiar Moya, J. P., Baldi, A., Hernández Montero, N., & Villegas Villegas, R. E. (2021). Efecto de polímeros y aceite de cocina en el rango de desempeño del asfalto. *Infraestructura Vial*, 23(42), 71–81. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.47587>
- Muñoz, S. P., & Zevallos, F. de M. Y. (2021). Factores influyentes en la resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles. *Ciencia Nicolaita*, 83–99. <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/535>
- Pérez-Vázquez, R. G., & Martín-Lago, R. (2021). Evaluación de metales preciosos (Au y Ag) en zonas de oxidación al noroeste de Artemisa (Cuba). *Boletín de Geología*, 43(1). <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n1-2021006>

- Pineda-Martínez, Luis F; León-Cruz, J. F. C. N. (2020). Analysis of severe storms and tornado formation in the northern region of Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 7(492), 15. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e885>
- Pretel, G. B. (2001). *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*.
- Sandoval Vallejo, E. A., & Rivera Mena, W. A. (2019). Correlación del CBR con la resistencia a la compresión inconfnada. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 135–152. <https://doi.org/10.18359/rcin.3478>
- Staub de Melo, J., Buzzi Torres, I., & Villena, J. (2019). Aplicación de enfoques de análisis y criterios de rotura en ensayos de fatiga y su influencia en la predicción de la vida útil de la capa de rodadura asfáltica en la estructura del pavimento. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(3), 268–277. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732019000300268>
- Tumialán, P. E., Martínez, N. T., & Hinostroza, C. B. (2023). *Acid mine water treatment using neutralizer with adsorbent material*. 1–7.