

VALORIZACIÓN DE RELAVES DE ZINC MEDIANTE GEOPOLIMERIZACIÓN PARA MATERIALES CONSTRUCTIVOS Y FORMULACIONES ORIENTADAS A IMPRESIÓN 3D

Carlos Genaro Morales Aranibar¹², Adolfo La Rosa-Toro Gómez¹, Alberto Bacilio Quispe Cohaila², Diego Arán Ferreiro³

FILIACIONES

1Grupo de Investigación de Electroquímica Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Tupac Amaru Av. 210, Rimac, Lima 15333, Peru

2 Grupo de Investigación GIMAEC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

3LEAF—Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Center, Associate Laboratory TERRA, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal

CORREO DE CORRESPONDENCIA

carlos.morales.a@uni.pe

toro@uni.edu.pe

aquispec@unjb.edu.pe

diegoaran@isa.ulisboa.pt

INTRODUCCIÓN.

Los relaves de zinc constituyen un pasivo ambiental relevante por su volumen y potencial de lixiviación de metales; sin embargo, su composición aluminosilicática los posiciona como precursores para materiales cementantes de baja huella. Este estudio propone su valorización mediante activación alcalina para desarrollar geopolímeros con propiedades controladas en estado fresco y endurecido, orientados a aplicaciones constructivas y procesos de extrusión e impresión 3D, donde la reología es determinante [1,2].

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se evaluaron cuatro bloques: D1 (relave), D2 (relave + ceniza volante, Box-Behnken), D3 (relave + ceniza + metacaolín) y microagregados para optimizar el empaquetamiento. La caracterización incluyó XRF/ICP, PSD, XRD, FTIR y SEM-EDS. La reología se analizó mediante reometría rotacional, determinando esfuerzo de fluencia, viscosidad y tixotropía, variables clave para extrusión. Se realizaron ensayos de compresión (7–28 días) y análisis multivariante (PCA) para integrar composición, reología y desempeño [3].

RESULTADOS.

D1 confirmó la reactividad del relave. D2 definió la ventana óptima entre fluidez y estabilidad; las mezclas M2 y M11 presentaron comportamiento tixotrópico y esfuerzo de fluencia adecuados para extrusión. D3 alcanzó el mayor desempeño mecánico (~8.3–8.4 MPa con MK20), asociado a mayor densificación del gel geopolimérico. El uso de microagregados mejoró la cohesión, sin reemplazar el control químico del sistema.

CONCLUSIONES E IMPACTO.

El desempeño depende del equilibrio entre química, estructura, reología y resistencia. Los valores obtenidos (2.14–8.6 MPa; 1.86–2.16 g/cm³) son compatibles con aplicaciones de baja a media exigencia, alineadas con ASTM C109/C109M [5], ASTM C129 [6], ASTM C936/C936M [7] y NTP 399.611 [8], permitiendo su uso en bloques no estructurales, paneles ligeros, pavimentos peatonales y prefabricados. Las formulaciones optimizadas presentan potencial para extrusión e impresión 3D, favoreciendo la valorización de relaves y su integración en economía circular [4].

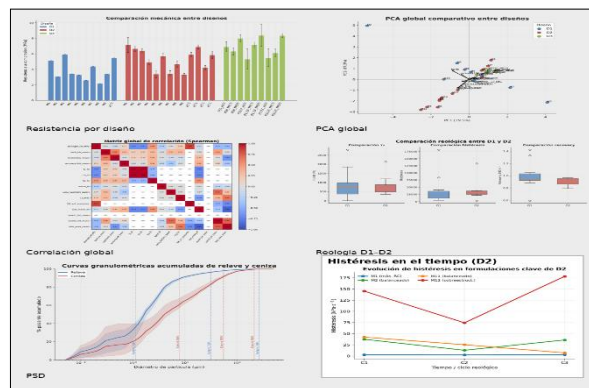
REFERENCIAS

- He, X. et al. Mine tailings-based geopolymers: a comprehensive review. *Ceramics International*, 2022.
- Li, D. et al. Valorization of lead-zinc mine tailing waste through geopolymerization. *Journal of Environmental Management*, 2024.
- Lu, C. et al. Rheology of alkali-activated materials: a review. *Cement and Concrete Composites*, 2021.
- Qaidi, S.M.A. et al. 3D printed geopolymer composites: a review. *Materials Today Sustainability*, 2022.
- ASTM C109/C109M-21. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. ASTM International, 2021.
- ASTM C129-17. Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units. ASTM International, 2017.
- ASTM C936/C936M-20. Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units. ASTM International, 2020.
- NTP 399.611. Elementos prefabricados de concreto. Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Perú.

Desarrollo Experimental



Resultados



PALABRAS CLAVE

Relaves de zinc

Geopolímeros

Impresión 3d-Reología

Economía circular