

Modelamiento termodinámico de la inmovilización de metales pesados de relaves mineros en materiales de construcción

PROBLEMA

La minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) en Ecuador, clave para la economía al involucrar a 100000 personas y aportar el 1% del PIB, enfrenta grandes retos en el manejo de sus desechos o relaves mineros, que contaminan aguas y suelos, afectando a comunidades vulnerables. Aunque existen normativas para la minería mediana y grande, la MAPE carece de supervisión adecuada, perpetuando riesgos ambientales y de salud. Sin embargo, reutilizar los relaves para crear materiales de construcción sostenible podría mitigar impactos ambientales y fomentar el desarrollo sostenible.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo termodinámico para el lixiviado de metales de transición de materiales de construcción utilizando el software de modelado geoquímico PHREEQC con el fin de explorar su aplicación en relaves mineros.

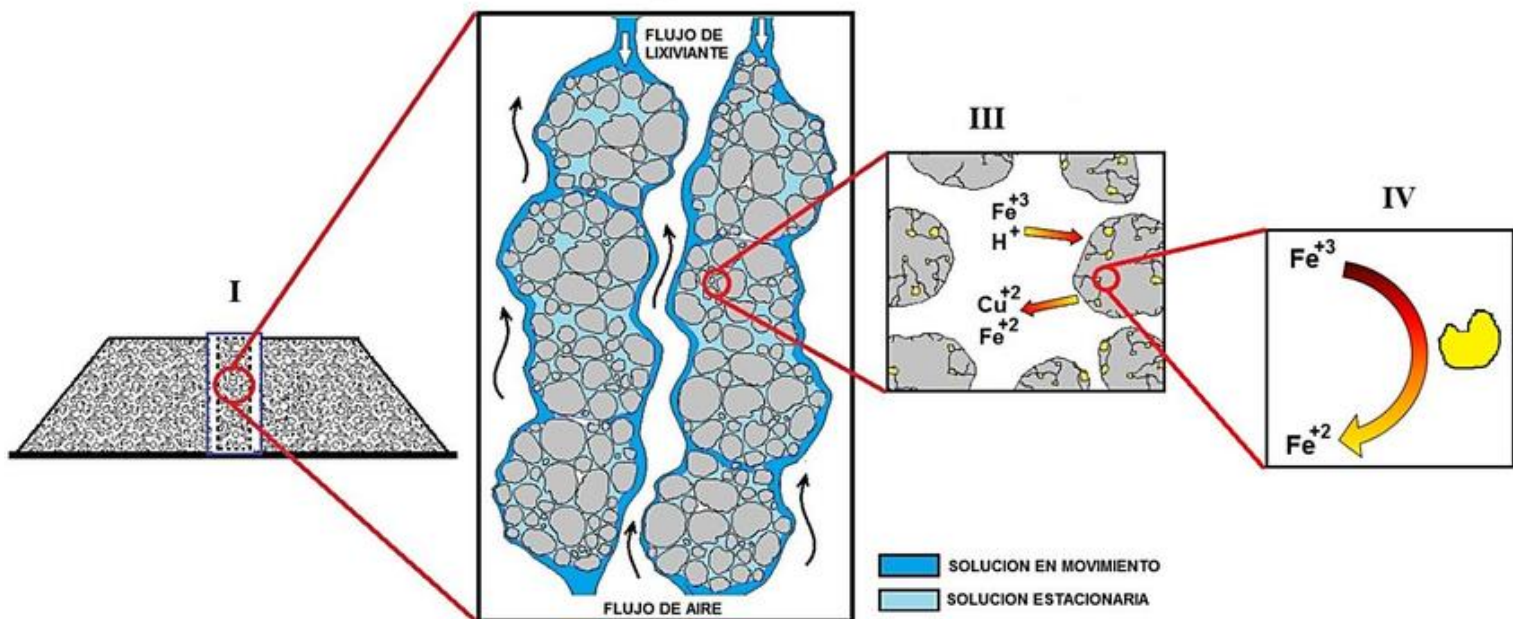
PROPUESTA

Los relaves mineros tienen el potencial de ser un sustituto parcial o completo del cemento. Sin embargo, su viabilidad como material de construcción depende de que sea seguro para la salud. Por esto, se propone evaluar termodinámicamente la lixiviación de metales pesados mediante un software de simulación geoquímica. El modelamiento termodinámico permite evaluar aspectos importantes como la formación de fases del cemento hidratado y la inmovilización de los metales pesados en la matriz del material. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

Fig. 1. Elaboración de la mezcla relave-cemento



Fig. 2. Esquema de lixiviación de metales



Caracterización del relave:
Determinación del pH, composición química y mineralógica.

Modelamiento termodinámico:
Definición de las soluciones acuosas, la razón de disolución de las fases iniciales y la cinética de la reacción.

Caracterización de la mezcla relave-cemento: Preparación de las probetas, evaluación de la lixiviación.

RESULTADOS

Fig. 3. Disolución de las fases iniciales del cemento.

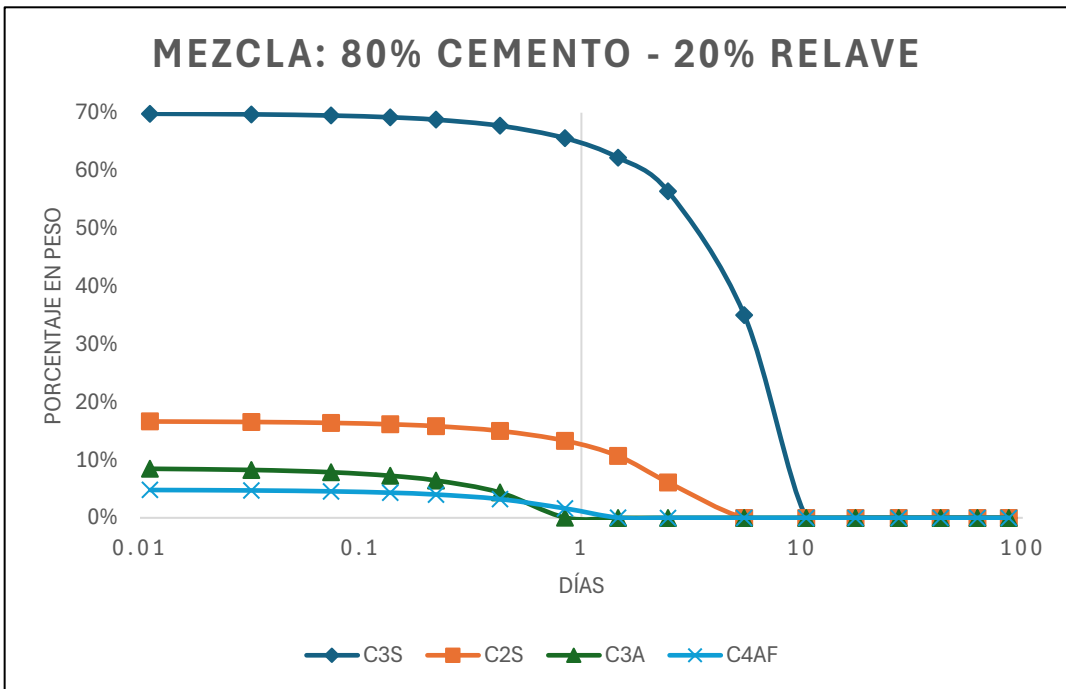


Fig. 4. Precipitación de las fases del cemento hidratado.

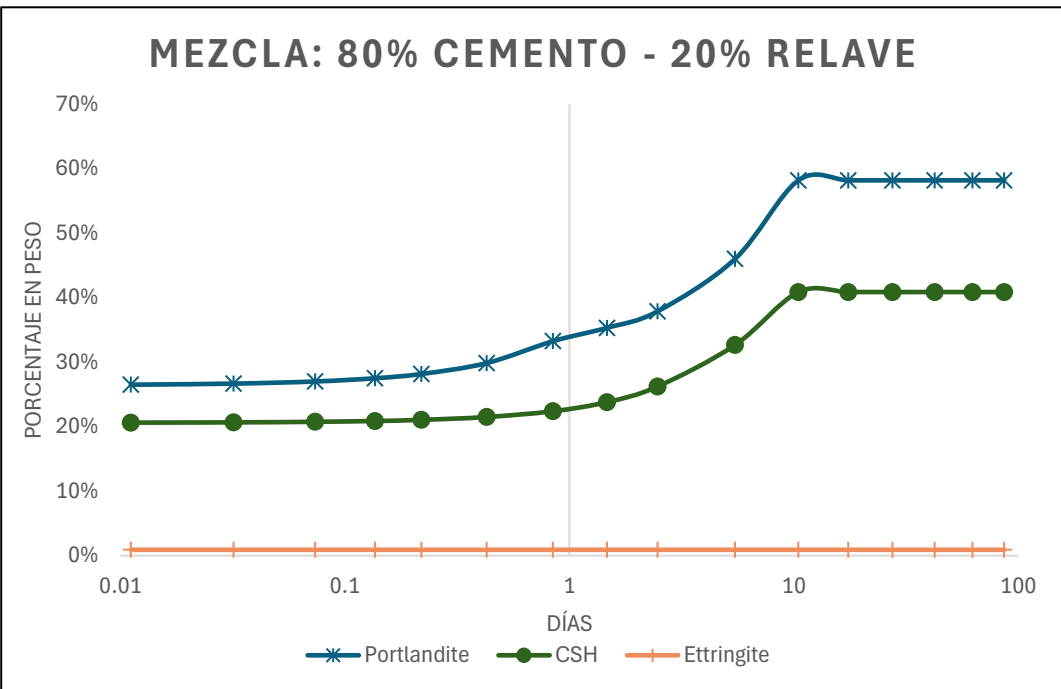


Tabla 1. Lixiviación de metales pesados y comparación con estándares permitidos.

Elementos	Ensayo de lixiviación [mg/L]	Concentración máxima permitida TULSMA [mg/L]	Concentración máxima permitida OMS [mg/L]
Al	0.52	0.1	0.2
Cd	BLD	0001	0.003
Cr	0.76	0.032	0.05

BLD (Bajo el Límite de Detección)

La reacción de hidratación de la mezcla 80% cemento y 20% relave se completa en 10 días. La fase que se encuentra en mayor proporción es la Portlandita, siendo mejor protector del acero frente a la corrosión. Sin embargo, tener alrededor del 40% de CSH (silicato de calcio hidratado) le resta resistencia a la compresión.

CONCLUSIONES

El modelamiento termodinámico de la mezcla relave-cemento permitió observar la formación de las fases de hidratación como la portlandita, CSH y ettringita. El modelo para la velocidad de disolución de las fases iniciales como C2S, C3S, C3A y C4AF permitió simular la reacción a lo largo del tiempo.

El material para la composición de 80% cemento y 20% relave tiene productos de lixiviación superiores a los permitidos por la normativa ecuatoriana y por la OMS.

El modelamiento permite conocer la forma en que los metales pesados son inmovilizados en la matriz del material, ya que da detalladamente las especies químicas que se forman y la cantidad en la que se encuentran. Esto le permite acoplarse con los ensayos de lixiviación convencionales para obtener un mejor conocimiento de la liberación de los metales pesados desde el material.