

Potencial de la meteorización mejorada para la captura de CO₂

Marina Campos-Gómez (1*), Noé García-Martínez (1), Idael Francisco Blanco-Quintero (1), Liam Bullock (2), David Benavente (1)

(1) Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante, 03690, San Vicente del Raspeig (España)

(2) Instituto Geológico y Minero de España (CN IGME-CSIC), 28003, Madrid (España)

* corresponding author: marina.campos@ua.es

Palabras Clave: Meteorización mejorada, Secuestro de CO₂, Materiales básicos y ultrabásicos. **Key Words:** Enhanced rock weathering, CO₂ removal, Basic and ultrabasic materials

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes desafíos actuales consiste, por un lado, en reducir de forma drástica y rápida las emisiones de CO₂ y, por otro, desarrollar e implementar estrategias de secuestro permanente de carbono que sean seguras, eficientes y ambientalmente sostenibles. Entre estas estrategias se incluyen tanto el almacenamiento geológico profundo de CO₂ como su fijación en forma de minerales estables mediante procesos de meteorización química. En este marco, la meteorización mejorada de rocas (Enhanced Rock Weathering, ERW) destaca como una de las soluciones basadas en la naturaleza más prometedoras (Taylor et al., 2016). Esta técnica consiste en acelerar reacciones geoquímicas naturales mediante la disolución de minerales silicatados ricos en Ca-Mg (olivino, piroxeno, plagioclasa, etc.), que reaccionan con el CO₂ atmosférico o disuelto para formar bicarbonato y, posteriormente, en carbonatos (Rosenbauer et al., 2012; Bullock et al., 2021). Entre las estrategias clave para maximizar la cinética de las reacciones químicas y, por tanto, la captura de carbono destaca la molienda de los materiales con el objetivo de incrementar su superficie reactiva y acelerar las reacciones de fijación de CO₂, y así permitir la eliminación de CO₂ a escala humana (por ejemplo, décadas) con el objeto de contribuir a los objetivos climáticos del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Schuiling y Krijgsman, 2006). El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de fijar CO₂ en una variedad de muestras de rocas y minerales silicatados ricos en Ca-Mg a partir de ensayos “batch” utilizando un burbujeo constante de CO₂.

METODOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para analizar la meteorización mejorada se utilizó la metodología descrita por Bullock et al. (2023). Los materiales usados en el experimento son minerales silicatados ricos en Ca (wollastonita, WO) y Mg (forsterita, OL), rocas volcánicas básicas (basalto olivínico, MV, basalto con olivino y piroxeno, VC y diabasa, OA), roca básica metamorfizada (anfíbolita, AMP) y roca piroclástica (tamaño lapilli y ceniza gruesa) con vidrio volcánico de composición basáltica (VT). Para el sistema de burbujeo se emplearon botes de PVC, de 500 ml y tapa hermética, una plataforma oscilante (a 100 revoluciones por minuto) para potenciar la reacción, y un filtro de vidrio para dispersar y homogeneizar el caudal de CO₂ inyectado. El CO₂ se introdujo desde una bala conectada a un sistema centralizado de gases, mediante el cual se reguló el burbujeo constante en el sistema (Fig. 1A). En cada bote hermético se añadieron 10 g de fracción sólida y 490 ml de agua Mili-Q. El burbujeo constante de CO₂ duró ~100 h, en las cuales se tomaron mediciones con una sonda HANNA HI98194 para evaluar los cambios en las condiciones fisicoquímicas (pH y conductividad eléctrica, CE) y muestras de la disolución acuosa (~3 ml), con el fin de monitorizar los cambios en la concentración de los cationes. Para analizar las variaciones de Mg, Ca, Si, Na, K como mayores y Mn, Ni, Li, Co, Sr como trazas, se utilizó un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), modelo Agilent 7700x perteneciente a los Servicios Técnicos de Investigación (SSTI) de la Universidad de Alicante. Los análisis de pH, CE y las muestras de agua se tomaron periódicamente durante el primer día, cada 3 h, ya que es cuando el sistema es más reactivo. Una vez estabilizado los valores de pH y CE (< 24h), la frecuencia de muestreo se disminuyó (cada 8 h) hasta el final del experimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de pH durante el experimento muestran tendencias similares entre las 7 muestras sólidas (Fig. 1B), desde 4,5-5,2 al inicio del experimento, hasta 5,0-5,8 a las ~ 17 h, y alcanzando al final del experimento valores en torno a 5,2-6,0. La variación en los datos de pH sugiere que las primeras etapas de burbujeo están asociadas a la disolución del CO₂ en el agua y la formación de ácido carbónico y las etapas finales (después de la estabilización) reflejan la neutralización parcial de la acidez y la producción eventual de iones de bicarbonato por la disolución de minerales ricos en Ca y Mg. Los datos de CE muestran una evolución progresiva en todas las muestras excepto en la WO. Al comienzo del experimento los valores de CE estaban entre 0-200 μS/cm, a las ~ 17 h el sistema se estabilizó en 120-380 μS/cm hasta las 72 h que alcanzó los 200-500 μS/cm. El sistema de WO se estabilizó a las 48 h en 800 μS/cm, aumentando hasta los 900 μS/cm a las 72 h (Fig. 1C). Esta variación en los patrones de CE indica que el sistema fue enriqueciéndose en cationes hacia la fase acuosa, lo cual provocó un aumento en la alcalinidad del agua. En el caso de la muestra de WO la estabilización del sistema ocurrió más tarde, posiblemente relacionado con su mayor contenido en Ca. Los datos de ICP-MS muestran un aumento significativo en la concentración de Si, Ca, Mg y Na, apuntando hacia una correlación positiva entre las medidas de pH, CE, alcalinidad (fijación potencial de CO₂ con la formación de bicarbonatos) y concentraciones de los elementos traza. En base a los resultados obtenidos, la muestra más reactiva durante la inyección de CO₂ es la WO, ya que por su composición química favorece el aumento significativo en los valores de pH y CE. Esto evidencia que durante el burbujeo el proceso dominante fue la disolución del mineral que liberó iones de Ca²⁺ y bicarbonatos hacia la fase acuosa, provocando así, la neutralización de la acidez en el sistema. Las muestras de roca volcánica (MV y VC), roca piroclástica (VT) y diabasa (OA) muestran tendencias similares entre sí, sin cambios muy bruscos en los valores de pH y CE, indicando una liberación progresiva de iones hacia la fase acuosa del sistema, favoreciendo la disolución lenta y controlada del mineral. Aunque las muestras de OL y AMP no presentan variaciones significativas de pH y CE, durante el experimento, se observa que la muestra que libera menor cantidad de Mg²⁺ es AMP, mientras que OL es la que menor cantidad de Ca²⁺ genera durante la reacción con el CO₂.

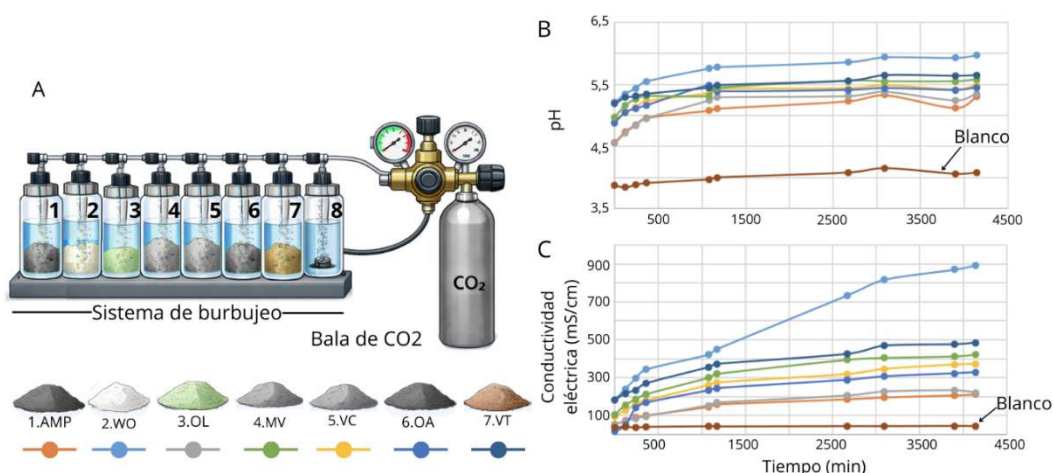


Fig 1. A) Esquema del sistema de burbujeo completo y leyenda. B) Gráfica pH vs. tiempo en min. C) Gráfica conductividad eléctrica en mS/cm vs. tiempo en min. WO=wollastonita; AMP=anfibolita; OL=olivino; VC= basalto; MV=basalto olivínico; VT= roca piroclástica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos: CIAICO/2023/179 de la Generalitat Valenciana y del PID2025-174433OB-I00 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y el proyecto intramural CSIC PIE202530E135.

REFERENCIAS

- Bullock, L.A., James, R.H., Matter, J., Renforth, P., Teagle, D.A.H. (2021): Global carbon dioxide removal potential of waste materials from metal and diamond mining. *Front. Clim.* **3**, 694175.
- , Fernandez-Turiel, J.L., Benavente, D. (2023): Experimental investigation of multiple industrial wastes for carbon dioxide removal strategies. *Int. J. Greenh. Gas Con.*, **129**, 103990.
- Rosenbauer, R.J., Thomas, B., Bischoff, J.L., Palandri, J. (2012): Carbon sequestration via reaction with basaltic rocks: geochemical modeling and experimental results. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **89**, 116–133.
- Schuling, R.D., Krijgsman, P. (2006): Enhanced Weathering: An Effective and Cheap Tool to Sequester CO₂. *Clim. Change*, **74**, 349–354.