

# Monitorización de la concentración de Co y Cu en copiapitas mediante VNIR-SWIR

Juan Morales (1\*), Javiera Gerding (2), Emilio Piññuri (3) y Mercedes Suárez (1)

(1) Departamento de Geología. Área de Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Salamanca, Salamanca (España).

(2) Instituto de Geología Económica Aplicada, GEA, Universidad de Concepción. Concepción, (Chile).

(3) Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Concepción. Concepción, (Chile).

\* corresponding author: [juan.morales@usal.es](mailto:juan.morales@usal.es)

**Palabras Clave:** Eflorescencias salinas, Recuperación de materias primas, VNIR-SWIR. **Key Words:** Salt efflorescences, Raw mat recovery, VNIR-SWIR.

## INTRODUCCIÓN

La electrificación de la sociedad ha supuesto un reto en la búsqueda de algunas materias primas que en ocasiones son escasas ya que su concentración en la parte superficial del planeta es muy baja, por lo que se hace necesario encontrar técnicas que permitan rentabilizar su búsqueda. La última actualización de la lista de materias primas críticas de la Comisión Europea (2023) ha remarcado la importancia del cobalto y el cobre (aunque la situación del cobre no es “crítica”, se ha incorporado por ser una materia prima estratégica) entre otras materias, generando un interés sobre ellos. En este sentido, uno de los procesos de concentración y recuperación de estos elementos consiste en la cristalización de fases minerales solubles que los incorporan en su estructura, y que reaccionan fácilmente en un posterior proceso de refinado. El grupo de minerales de la copiapita ( $A(Fe^{3+})_4(SO_4)_6(OH)_2 \cdot 20H_2O$ ;  $A = Fe^{2+}, 2/3Fe^{3+}, 2/3Al, Mg, Zn$  o  $Cu$ ) es potencialmente útil ya que presenta soluciones sólidas que contienen Cu y Co (Jambor et al., 2000; Majzlan y Michallik, 2007). Los vertederos y acopios de residuos mineros generan también ciertas expectativas ya que, aunque tienen leyes relativamente bajas, en muchos casos se forma una costra de este tipo de sulfatos (copiapita) donde se logran concentrar dichos elementos. Por otro lado, la espectroscopía visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (VNIR-SWIR) es una técnica consolidada en el campo de la mineralogía, que permite diferenciar fases minerales de una forma rápida y económica, y posibilita obtener datos que sirven como referencia en técnicas de exploración remota. En este trabajo se pretende estudiar la capacidad de algunos sulfatos de hierro para incorporar Cu y Co y ver cuál es la respuesta espectral de cada fase, para establecer una biblioteca espectral que pueda ser utilizada posteriormente.

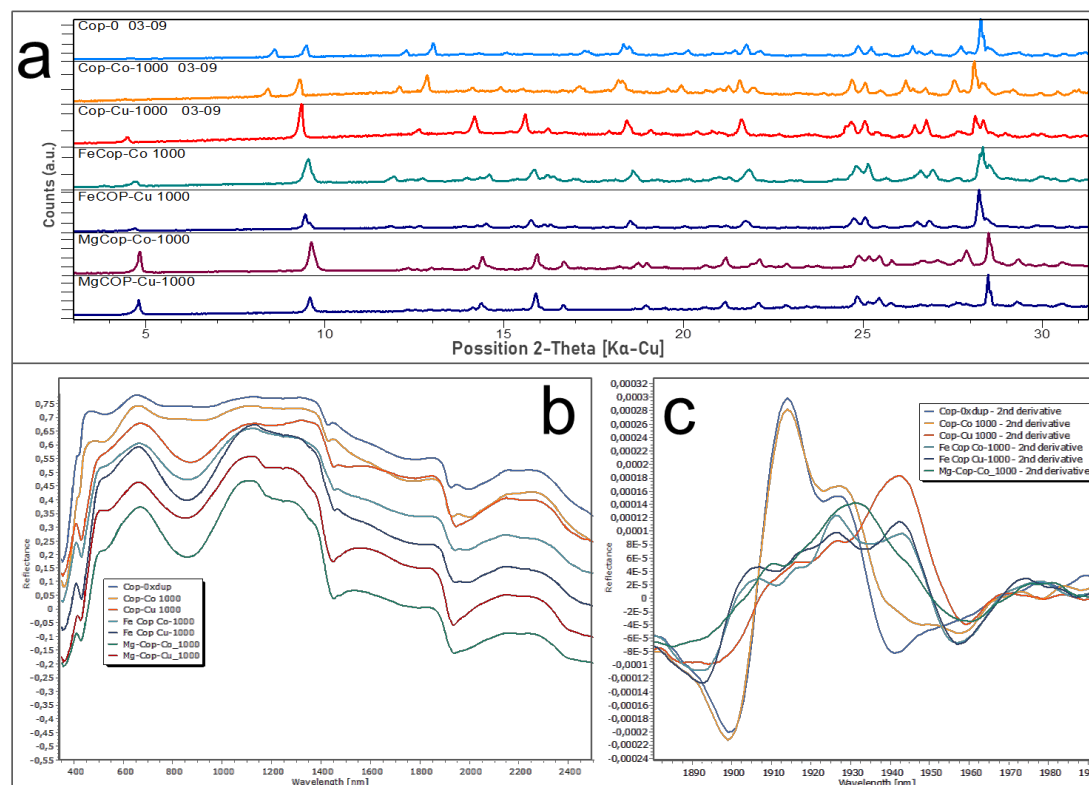
## METODOLOGÍA

Para estudiar la capacidad que tienen estos minerales para incorporar Co y Cu en su estructura, se cristalizaron diferentes fases del grupo de la copiapita, siguiendo protocolos previos (Friedlander et al., 2007). Se utilizaron reactivos de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  y  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  para generar las soluciones a cristalizar, las cuales fueron enriquecidas con concentraciones de 0, 500 y 1000 ppm de Co y Cu por separado y se dejaron secar en estufa a 60°C durante 4 días para su cristalización. Una vez cristalizadas las muestras, fueron pulverizadas y analizadas mediante difracción de rayos X (Bruker D4 Endeavor) y espectroscopía VNIR-SWIR (ASD FieldSpec 4 High-Res). También se realizaron análisis químicos por vía húmeda (absorción atómica e ICP) para conocer la concentración en esos elementos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las diferentes técnicas indican que las muestras cristalizadas corresponden a diferentes minerales del grupo, fundamentalmente copiapita, ferricopiapita y magnesiocopiapita, con impurezas de romboclasa ( $(H_3O_2)Fe^{3+}(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ ; ver Fig. 1a). En cuanto a la concentración de cobre y cobalto, los resultados de los análisis químicos indican que la concentración de estos elementos en el sólido varía en función de la fase mineral. Tanto el cobalto como el cobre, por separado, tienden a incorporarse con mayor afinidad en los sólidos obtenidos a partir de los experimentos de precipitación de copiapita. Por su parte, la muestra obtenida al cristalizar magnesiocopiapita, incorpora una cantidad intermedia de Co y Cu, mientras que las muestras obtenidas en los experimentos de cristalización de ferricopiapita incorporan una cantidad menor de Co y Cu.

En cuanto a los resultados de espectroscopía VNIR-SWIR (Fig. 1-b) en ausencia de impurezas, los espectros obtenidos son similares a los que se encuentran en bibliografía, con bandas relacionadas con la presencia de  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ , o enlaces como  $\text{Fe-OH}$  o  $\text{Mg-OH}$ . Sin embargo, los espectros procedentes de muestras obtenidas en presencia de Co o Cu, son ligeramente diferentes. Estas diferencias son más evidentes al normalizar los espectros mediante la segunda derivada (Fig. 1-c), haciendo que algunos rasgos permitan establecer una relación directa con la concentración de Co y Cu incorporada.



**Fig 1.** a) Resultados de los análisis de difracción de rayos X de las muestras con mayor concentración de Co y Cu. b) Resultados de los análisis de espectroscopía VNIR-SWIR de las muestras de Ferricopiapita y Magnesiocopiapita obtenidas por precipitación en presencia de Co y Cu.

Se puede concluir que las muestras de minerales del grupo de la copiapita son capaces de incorporar cobre y cobalto en la estructura, y que la concentración de las impurezas es mayor, en orden decreciente, en la copiapita, en la magnesiocopiapita y en menor medida en la ferricopiapita. Además, puesto que los espectros muestran diferencias en función de la cantidad de impurezas, un análisis espectral de datos remotos podría permitir la caracterización de la concentración de estas impurezas en superficie de una forma más eficiente.

## REFERENCIAS

- European Commission. Grohol, M. and Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report, Publications Office of the European Union, 2023, DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>
- Friedlander, L. R.; Tosca, N. J. & Arvidson, R. E. (2007): In 38th Annual Lunar and Planetary Science Conference. 1338, p. 2049.
- Jambor, J. L., Nordstrom, D. K., & Alpers, C. N. (2000). In: Reviews in Mineralogy and Geochemistry 2000; 40 (1), 303–350. DOI: [10.2138/rmg.2000.40.6](https://doi.org/10.2138/rmg.2000.40.6)
- Majzlan, J., & Michallik, R. (2007): Mineralogical Magazine, 71(5), 553-569. DOI: [10.1180/minmag.2007.071.5.553](https://doi.org/10.1180/minmag.2007.071.5.553)

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por los proyectos FONDECYT-11241237 (Chile) y S34I (DOI: [10.3030/101091616](https://doi.org/10.3030/101091616); Horizon Europe). Los autores agradecen el trabajo del personal de los Servicios Generales de la Universidad de Salamanca (NUCLEUS, Preparación de Rocas) y del personal del Laboratorio Químico del Instituto de Geología Económica Aplicada de la Universidad de Concepción.