

# Mineralogía del Enriquecimiento Secundario de Cu del Yacimiento Las Cruces, Sevilla

/ LOLA YESARES (\*), REINALDO SÁEZ, JOSÉ-MIGUEL NIETO, GABRIEL RUIZ-DE-ALMODÓVAR

Departamento de Geología, Universidad de Huelva, 21071 Huelva

## INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Las Cruces (LC) se sitúa al E de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), al SE de Gerena (Sevilla). Consiste en un depósito de sulfuros masivos polimetálicos de tipo VHMS, y el proyecto minero actual (Cobre as Cruces) se centra en la extracción de la zona de enriquecimiento supergénico, que cuenta con unas reservas de 17,6 Mt @ 6,2 % en Cu. Además, se conoce la existencia de 2Mt de gossan @ 4,5% Pb, 5,1 g/t Au y 115 g/t Ag.

Posterior a la formación del yacimiento y al desarrollo de su perfil de alteración, éste ha quedado enterrado bajo 150m de sedimentos detríticos-carbonatados que forman parte de la cuenca de antepaís del Río Guadalquivir. La cobertera sedimentaria ha ocultado y preservado el yacimiento desde prácticamente su formación hasta su reciente descubrimiento. Debido a la intensa explotación minera que ha sufrido la FPI, existen muy pocos ejemplos de perfiles de alteración en este distrito metalogenético, por lo tanto, este estudio proporciona nueva información sobre este tipo de perfiles y su evolución post-paleozoica.

Los objetivos de este trabajo son: hacer una primera descripción mineralógica detallada de la zona de cementación, identificar las paragénesis minerales y establecer cuáles son las analogías y diferencias de la mineralización secundaria de LC con respecto a los modelos de génesis propuestos para este tipo de perfiles.

## GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El yacimiento de LC está formado por un cuerpo de sulfuros masivos y un stockwork pirítico-cuprífero que se encaja en el muro de una secuencia de pizarras negras y material volcánico de edad Devónico Superior - Carbonífero Inferior (Knigh, 2000). En su parte superior, el depósito ha desarrollado un potente perfil de alteración supergénico,

que incluye el gossan y la zona de enriquecimiento secundario de Cu.

La mineralización primaria está afectado por la deformación varisca, que se manifiesta fundamentalmente por fallas de bajo ángulo asociadas al sistema de cabalgamientos que caracteriza a la región (Silva et al., 1990), y fallas subverticales asociadas a la deformación tardi-Varisca y Alpina.

## MINERALOGÍA

Las características mineralógicas de la mineralización primaria de LC son muy similares al resto de los yacimientos de sulfuros masivos de la FPI (Marcoux et al., 1996)

En su parte superior, el depósito ha desarrollado un potente perfil de alteración supergénico, que incluye el gossan y la zona de enriquecimiento secundario de Cu.

El gossan, que está parcialmente erosionado, tiene un espesor que oscila entre 0 y 20 m. Su naturaleza es diferente a la de otros gossans conocidos en la FPI (Yesares et al., 2010). Está formado principalmente por siderita, siendo comunes también calcita, goethita, hematites, diversos sulfuros de Fe y galena. Como accesorios presenta cerusita, sulfuros y sulfosales de Pb, Bi y Ag y amalgamas de Au-Ag-Hg (Yesares et al., 2011).

Infrayacente al gossan se encuentra la zona de cementación. Está formada principalmente por minerales del grupo de la calcocita, covellita, bornita y enargita. Son también comunes calcita, galena y sulfuros y sulfosales de Ag. En esta mineralización se pueden diferenciar tres paragénesis minerales según sus características mineralógicas y texturales.

• **Paragénesis I.** Formada por relictos de la mineralización primaria, principalmente calcopirita y tennantita-tetrahedrita, y por una

primera generación de sulfuros supergénicos de Cu que incluyen bornita, calcocita, enargita y covellita (Fig. 1a). Estos aparecen intercrecidos entre sí, con texturas lamelares, parcheadas, crecimientos en bordes de grano, coliformes, texturas masivas y en venillas. Los sulfuros primarios de Cu muestran un elevado grado de alteración, y sus relaciones texturales con los sulfuros secundarios consisten en patrones de disolución-reemplazamiento.

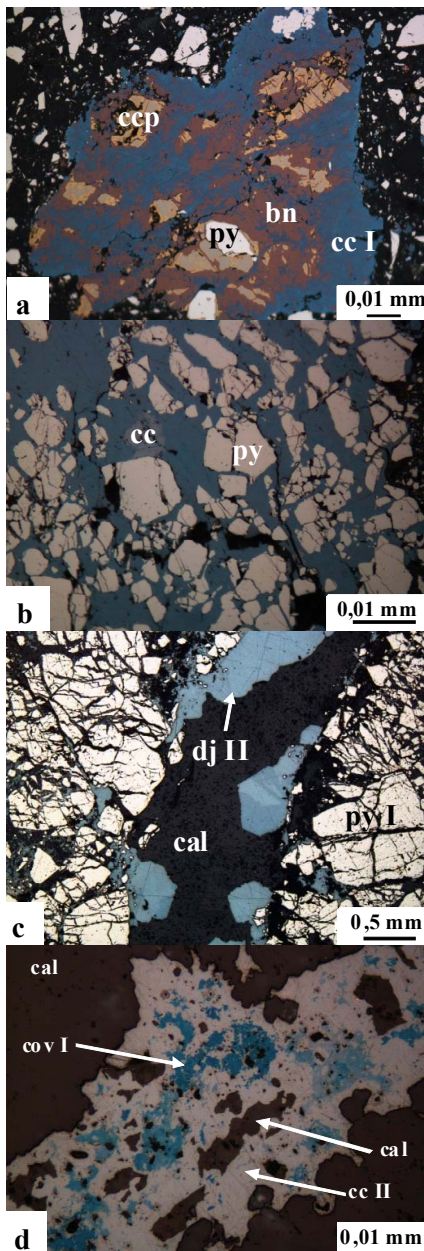
• **Paragénesis II.** Constituida por calcocita masiva que cementa relictos de pirita primaria muy brechificadas (Fig. 1b). Los contactos entre ambos minerales son netos, la pirita no muestra evidencias de corrosión y la calcocita precipita a lo largo de los bordes de granos y fracturas de la pirita.

• **Paragénesis III.** Se caracteriza por contener restos de la primera generación de sulfuros secundarios previamente descritos en las paragénesis I y II, reemplazados por una segunda generación de sulfuros supergénicos de Cu constituidos fundamentalmente por djurleita, y en menor cantidad calcocita. Esta segunda generación se presentan como agregados euhedrales de tamaño de grano muy grueso (1 mm-2 cm), o rellenando espacios abiertos. Estos sulfuros de Cu siempre aparecen asociados a calcita y a agregados de pirita y galena esquelética, los tres de origen supergénico.

La relación textural entre la segunda generación de sulfuros supergénicos de Cu y la calcita es compleja. En unos casos se observan ambas fases intercrecidas entre sí, rellenando fracturas y espacios abiertos (Fig. 1c), y otras veces, la calcita aparece rellenando fracturas pero como recrecimientos sobre la djurleita-calcocita (Fig. 1d).

**palabras clave:** Faja Pirítica Ibérica, Las Cruces, Enriquecimiento supergénico.

**key words:** Iberian Pyrite Belt, Las Cruces, Supergene enrichment.



**fig.1.** Imágenes de luz reflejada. (a) Paragénesis I. Calcopirita (ccp) primaria parcialmente reemplazada por bornita (bn) y esta por calcocita (cc) I; (b) Paragénesis II. Pirita (py) brechificada cementada por calcocita (cc) I; (c) Paragénesis III. Intercrecimiento entre calcita (cal) y djurleita (dj) II; (d) Paragénesis III. Covellita (cv) I reemplazada por calcocita (cc) II y calcita (cal).

## DISCUSIÓN

Los modelos genéticos propuestos para este tipo de perfiles consisten principalmente en la oxidación de los sulfuros percursoros en condiciones subaéreas. Esto da lugar a la lixiviación del perfil de oxidación, y a la movilización de metales hasta la zona de cementación que se forma bajo el frente redox. Los cambios redox y de pH, junto con las soluciones ricas en Cu que

descienden del perfil de oxidación, provoca la desestabilización y alteración de los sulfuros primarios, transformándolos en una amplia variedad de sulfuros supergénicos (Sillitoe et al., 1969).

En la zona de cementación de LC se han identificado varias paragénesis minerales, cada una de ellas formada en una etapa genética en concreto. Las dos primeras están asociadas a la alteración de los sulfuros primarios en condiciones subaéreas, y son las paragénesis que normalmente se describen en este tipo de perfiles (Sillitoe et al., 1969). Sin embargo, la última paragénesis identificada difiere de las descritas en los modelos clásicos.

La paragénesis I representa la alteración gradual de la mineralización primaria y el reemplazamiento progresivo de esta por los sulfuros secundarios de Cu, mientras que la paragénesis II representa la precipitación directa de las soluciones ricas en Cu, producto de la lixiviación del perfil y de la formación del gossan. El Cu en solución desciende a cotas más bajas hasta el frente redox, donde en condiciones ligeramente reductoras precipita como sulfuro formándose la zona de cementación.

La paragénesis III está asociada a los cambios hidroquímicos a los que se ha visto sometido el perfil supergénico tras su formación y tras su enterramiento bajo la cobertera sedimentaria. Las características mineralógicas y texturales sugieren que durante esta etapa tuvo lugar un cambio en las condiciones del flujo hidrogeológico, junto con el paso progresivo a condiciones más reductoras por la subida del frente redox; y alcalinas, por la circulación de fluidos meteóricos ricos en carbonatos procedentes de los sedimentos calcáreos suprayacentes. En estas condiciones los sulfuros secundarios de Cu se desestabilizaron (Mann et al., 1977) y se disolvieron dejando parte del Cu en solución. Este Cu se removilizó a zonas más profundas del perfil a través de zonas más permeables asociadas a fracturas, en las que en condiciones más reductoras reprecipitó una segunda generación de sulfuros de Cu asociados a carbonatos y otros sulfuros de neoformación como galena y pirita.

## CONCLUSIONES

Las características mineralógicas de la

zona de cementación del yacimiento de LC difieren a las descritas en otros perfiles supergénicos conocidos.

Se han identificado tres paragénesis minerales diferentes. Las dos primeras son las comunes en los modelos genéticos de perfiles de enriquecimiento supergénico. Sin embargo la última paragénesis no se contempla en los modelos clásicos. Esta se formó durante una última etapa genética, en la que el enterramiento del yacimiento bajo la potente pila de sedimentos carbonatados provocó cambios en las condiciones físico-químicas del medio. Esto dio lugar a la desestabilización de las primeras paragénesis minerales y la formación de nuevas fases minerales. Las fallas subverticales que cruzan el yacimiento favorecieron la canalización de los fluidos mineralizadores que transportaron el Cu hasta zonas muy profundas del yacimiento.

## REFERENCIAS

- Knigh, F. (2000): *The mineralogy, geochemistry and genesis of the secondary sulphide mineralization of the Las Cruces deposit, Spain*. PhD, University of Wales, Cardiff.
- Mann, A.W. & Deutscher, R.L. (1977): *Solution geochemistry of copper in water containing carbonate, sulphate and chloride ions*. *Chem. Geo.*, **19**, 253-265.
- Silva, J.B., Oliveira, J.T., Ribeiro, A. (1990): *Structural outline. South Portuguese Zone*. in: "Pre-Mesozoic geology of Iberia" RD Dallmeyer & E. Martinez Garcia (eds). Springer, Berlin, 348-363.
- Sillitoe, R.H., Calrk, A.H. (1969): *Copper and copper-iron sulfides as the initial products of supergene oxidation, Copiapó mining district, Northern Chile*. *Amer. Mineral.* **54**, 1684-1710.
- Yesares, L., Nieto, J.M., Sáez R., Ruiz de Almodóvar, G., Videira, J.C. (2010): *El gossan de Las Cruces (FPI): Litología y evolución mineralógica*. *Macla*, **13**, 225-226.
- Yesares, L., Nieto, J.M., Sáez R., Ruiz de Almodóvar, G., Videira, J.C. (2011): *Enriquecimiento de Au-Ag-Hg en el gossan de Las Cruces, Sevilla*. *Macla*, **15**, 199-200.