

# Enriquecimiento Hidrotermal en Pd y Pt en Cromititas Podiformes de Calzadilla de los Barros

/ RAUL MERINERO (1\*), ROSARIO LUNAR (1), LORENA ORTEGA (1), RUBÉN PIÑA (1), SERAFÍN MONTEERRUBIO (2), FERNANDO GERVELLA (3)

(1) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Universidad Complutense de Madrid. C/José Antonio Novais 2. 28040, Madrid (España)

(2) Escuela Politécnica Superior de Zamora. Universidad de Salamanca.

(3) Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada.

## INTRODUCCIÓN

La composición de la cromita y la geoquímica de los elementos del grupo del platino (PGE) en cromititas ofiolíticas aportan información útil para inferir la naturaleza del manto y el ambiente geodinámico del cual proceden (p.e. Gervilla et al., 2005). Además, estos parámetros también pueden utilizarse como indicadores de eventos post-magmáticos que afectaron a las cromititas y las rocas en las que se emplazan (p.e. Zaccarini et al., 2005). Las cromititas ofiolíticas tienen un contenido total en PGE muy variable, aunque la mayoría de ellas presenta entre 100 y 500 ppb de PGE (Leblanc, 1991). Estos enriquecimientos se atribuyen a procesos magmáticos (fraccionamiento cristalino o fusión parcial) y post-magmáticos de alteración hidrotermal. Estos procesos provocan enriquecimientos generales en todos los PGE, principalmente en IPGE (Os, Ir y Ru) los primeros y PPG (Rh, Pt y Pd) los segundos. Las cromititas de Calzadilla de los Barros constituyen un interesante ejemplo de alteración hidrotermal a escala regional asociada a procesos de mineralización y enriquecimiento en paladio y platino.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Calzadilla de los Barros (Badajoz), se encuentra sobre el flanco noreste del anticlinal de Olivenza-Monesterio (AOM en Fig. 1). Esta estructura de la zona de Ossa Morena se caracteriza por la presencia de multitud de plutones asociados a depósitos minerales de alto interés económico tanto de origen magmático (Ni-Cu y PGE, p.e. Piña et al., 2010) como a partir de fluidos hidrotermales (óxidos de Fe-Cu-Au, p.e. Tornos et al., 2005).

En Calzadilla de los Barros se localizan

dos macizos peridotíticos y una estrecha franja de serpentinitas muy deformadas que formaron parte de una secuencia ofiolítica (Monteerrubio, 1991). Estos macizos están constituidos por láminas tectónicas de poca potencia (<2 km) emplazadas sobre materiales de la formación Malcocinado y en contacto con esquistos y pizarras de la Serie Negra (Jiménez et al., com. pers.).

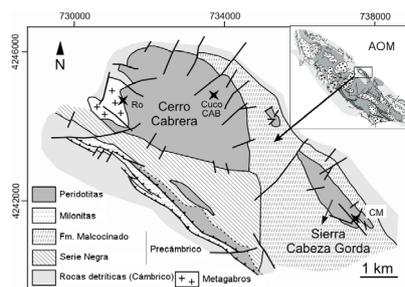


fig. 1. Mapa geológico esquemático de los macizos peridotíticos de Calzadilla de los Barros (modificado de Jiménez et al., 2009) y la localización de las áreas muestreadas (RO, Cuco, CAB, CM).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se han estudiado diversas muestras obtenidas *in-situ* y sondeos realizados por Río Narcea Gold Mines en las peridotitas de Calzadilla de los Barros. Además de un amplio estudio mediante microscopía óptica y electrónica y difracción de rayos X, se han analizado los contenidos de PGE mediante NiS/MS y la composición de las distintas fases minerales mediante microsonda electrónica.

## RESULTADOS

### Peridotitas

Los macizos peridotíticos de Calzadilla de los Barros están constituidos por harzburgitas muy serpentinizadas, dentro de las cuales se sitúan gabros metamorizados y cuerpos duníticos que contienen en su interior pods de

cromititas. El estudio de sondeos muestra diversas zonas cizalladas y fuertemente alteradas en las harzburgitas. Esta alteración está caracterizada por la formación de epidota, tremolita, actinolita, pargasita, calcita y talco. Además, está acompañada de mineralizaciones de Cu-Fe-Ni junto a bandas de magnetita masiva. Dichas mineralizaciones se caracterizan por presentar calcopirita, bornita, cubanita, pirita, pirrotita, carrolita ( $\text{Cu}(\text{Co},\text{Ni})_2\text{S}_4$ ) y pequeñas inclusiones de esfalerita, bismuturos y telururos en la calcopirita (Fig. 2). A partir de estas asociaciones minerales, las temperaturas de los fluidos hidrotermales asociados con la alteración de las harzburgitas y la formación de mineralizaciones de Ni-Cu se estiman entre 250 y 350 °C.

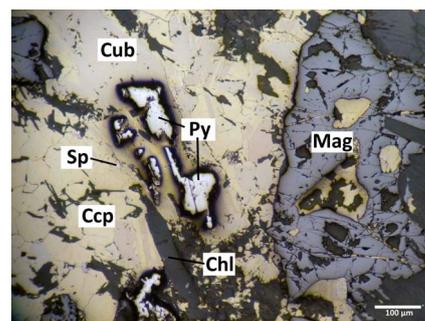


fig. 2. Asociación de sulfuros de Fe-Ni-Cu con magnetita formada como consecuencia de alteración hidrotermal en harzburgitas del macizo peridotítico de Cerro Cabrera. Ccp = calcopirita, Cub = cubanita, Sp = esfalerita, Py = pirita, Mag = magnetita, Chl = clorita.

### Cromititas

Las cromititas de Calzadilla de los Barros presentan porcentajes de cromita entre el 60 y el 95% (semi-masivas a masivas) con desarrollo de texturas nodulares y granos de cromita euhedrales. Los estudios preliminares sobre la composición de los núcleos de cromita no alterados muestran altos contenidos en aluminio (media  $\text{Cr}\# = 0,50$ , desv. tip. = 0,025,  $n = 123$ ) y

valores de Mg# y TiO<sub>2</sub> que apuntan a un origen a partir de la fusión de rocas mantélicas tipo MORB (Lunar et al., 2011). Las cromitas presentan halos de alteración poco desarrollados y núcleos bien conservados, mientras que la matriz está constituida exclusivamente por clorita magnésica (clinocloro). En cromitas semi-masivas la cromita presenta muchas inclusiones de sulfuros de Cu-Ni y carbonatos. Además, en estas cromitas es frecuente encontrar sulfuros de cobre, rutilo e intercrecimientos de calcedonia y magnetita junto a la matriz clorítica. En algunas cromitas masivas también se han descrito estas características aunque en menor grado.

### Elementos del Grupo del Platino

El contenido medio en PGE de las cromitas de Calzadilla de los Barros es de 179 ppb (desv. típ.=63, n=37) con ligeras variaciones entre localidades. La representación de las concentraciones normalizadas a los valores condriticos muestra pendientes abruptas positivas entre Pd y Pt (Fig. 3).

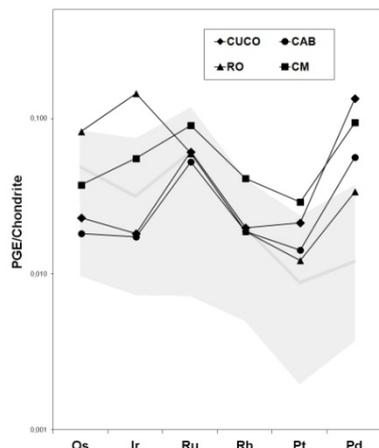


Fig. 3. Comparación de las composiciones medias de PGE, normalizadas a los valores condriticos, de Calzadilla de los Barros y las cromitas ofiolíticas ricas en Al de Cuba Oriental (Gervilla et al., 2005), área sombreada = rango de valores; línea gris = media recortada al 0,05%.

Por elementos los mayores contenidos se corresponden con PPGE, aunque 7 muestras RO tienen mayores contenidos en IPGE. Se ha observado una relación positiva entre los contenidos en PPGE en las cromitas y la presencia de inclusiones en las cromitas y el desarrollo de sulfuros masivos, rutilos, magnetita y calcedonia en la matriz. También se observan correlaciones negativas entre el contenido total en PGE y el porcentaje de cromita ( $r = 0,40$ ,  $p$ -valor =  $0,035$ ) y Cr# ( $r = 0,61$ ,  $p$ -valor =

$0,044$ ), Además, las muestras con mayores contenidos en IPGE tienen porcentajes de cromita altos y presentan pequeños granos de sulfuros de Ru-Os (miembros de la serie laurita-erlichmanita).

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los patrones de PGE (normalizados a los valores condriticos) de las cromitas ofiolíticas se caracterizan por presentar anomalías positivas en Ru y pendientes abruptas y negativas entre este elemento y Rh y Pt y Pd; es decir, enriquecimientos relativos en IPGE con respecto a PPGE (Leblanc, 1991). Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, las cromitas ofiolíticas de Calzadilla de los Barros presentan patrones de PGE totalmente singulares, caracterizados por una fuerte pendiente positiva entre Pt y Pd. Estos elementos pueden movilizarse en condiciones hidrotermales frente a los IPGE. Además, las correlaciones negativas del contenido total en PGE con el porcentaje en cromita y Cr# excluye un enriquecimiento en PGE durante la fase magmática. En caso contrario cabría esperar una correlación positiva. La presencia de sulfuros de Ni-Cu y carbonatos en las cromitas con mayor enriquecimiento en PGE así como la formación de intercrecimientos de calcedonia y magnetita junto con la formación de sulfuros de cobre y rutilo en la matriz de estas cromitas, sugiere una relación entre los enriquecimientos en Pt y Pd y la circulación de fluidos hidrotermales. Estos fluidos hidrotermales podrían estar a su vez relacionados con los procesos de alteración hidrotermal descritos en las harzburgitas en las cuales se encuentran incluidos los cuerpos duníticos que contienen los pods de cromitas.

Las láminas peridotíticas que afloran en Calzadilla de los Barros están emplazadas en una zona caracterizada por la presencia de numerosos plutones y el desarrollo de importantes mineralizaciones de origen hidrotermal. Diversos autores han propuesto que estas mineralizaciones magmáticas están relacionadas con la presencia en profundidad de un complejo máfico-ultramáfico de grandes dimensiones (p.e. Tornos et al., 2005) en cuya área de influencia estarían situadas las peridotitas de Calzadilla de los Barros. Por lo tanto, una fase hidrotermal con circulación de fluidos con temperaturas

entre 250 y 350 °C parece ser el proceso más probable que causó la singular composición en PGE de las cromitas de Calzadilla de los Barros.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto CGL2007-60266-BTE (DCICYT).

### REFERENCIAS

Gervilla, F., Proenza, J.A., Frei, R., González-Jiménez, J.M., Garrido, C.J., Melgarejo, J.C., Meibon, A., Díaz-Martínez, R., Lavaut, W. (2005): Distribution of platinum-group elements and Os isotopes in chromite ores from Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba). *Contrib. Mineral. Petrol.* **150**, 589-607.

Leblanc, M. (1991): Platinum-group elements and gold in ophiolitic complexes: distribution and fractionation from mantle to oceanic floor. En: Peters, T.J., Nicolas, A., Coleman, R.G. (eds) *Ophiolite genesis and evolution of oceanic lithosphere*. Kluwer, Dordrecht, 231-260.

Zaccarini, F., Proenza, J.A., Ortega-Gutiérrez, F., Garuti, G. (2005): Platinum-group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuiztzingo (Acatlán complex, southern Mexico): implications for postmagmatic modification. *Mineral. Petrol.* **84**, 147-168.

Piña, R., Romeo, I., Ortega, L., Lunar, R., Capote, R., Gervilla, F., Tejero, R., Quesada, C. (2010): Origin and emplacement of the Aguablanca magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposit, SW Iberia: a multidisciplinary research. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **122**, 915-925.

Tornos, F., Casquet, C., Relvas, J.M.R.S. (2005): Transpressional tectonics, lower crust decoupling and intrusion of deep mafic sills: A model for the unusual metallogenesis of SW Iberia. *Ore Geol. Rev.* **27**, 133-163.

Lunar, R., Ortega, L., Piña, R., Gervilla, F., Monterrubio, S., Merinero, R. (2011): Podiform chromitites from the Calzadilla de los Barros serpentinite, Iberian Massif, SW Spain. *11th Biennial Meeting SGA 2011, Antofagasta (Chile)*.

Monterrubio, S. (1991): *Las mineralizaciones de Cr-platinoides asociadas a las rocas ultrabásicas del macizo Hespérico*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 323 p

Jiménez-Díaz, A., Capote, R., Tejero, R., Lunar, R., Ortega, L., Monterrubio, S., Maldonado, C., Rodríguez, D. (2009): La fábrica de las rocas miloníticas de la zona de cizalla de Los Llanos (Calzadilla de los Barros, Badajoz). *Geogaceta* **46**, 27-30.