

MINERALES DEL GRUPO DEL PLATINO EN CROMITITAS OFIOLÍTICAS DE DISTINTAS EDADES E HISTORIAS POST-MAGMÁTICAS

J.A. PROENZA ⁽¹⁾, F. ZACCARINI ⁽²⁾, F. GERVILLA ⁽³⁾, G. GARUTI ⁽⁴⁾, J.M^a. GONZÁLEZ-JIMÉNEZ ⁽³⁾ Y J.C. MELGAREJO ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona*

⁽²⁾ *Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Universidad de Granada, Avda. Fuentenueva s/n, 18002 Granada, España.*

⁽³⁾ *Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Avda. Fuentenueva s/n, 18002 Granada*

⁽⁴⁾ *Department of Earth Sciences, University of Modena and Reggio Emilia, Italy*

INTRODUCCIÓN

Las cromititas ofiolíticas concentran principalmente Os, Ir y Ru, y están fuertemente empobrecidas en Pt y Pd (ej: Leblanc, 1991). Los minerales del grupo del platino (MGP) presentes en las cromititas reflejan esta distribución geoquímica ya que los minerales predominantes pertenecen a la serie laurita-erlichmanita (RuS₂-OsS₂) o son aleaciones de Os e Ir. También, se acepta mayoritariamente que la cristalización de los MGP tiene lugar de forma coetánea a la de la cromita. Por lo tanto, las asociaciones y composición de los MGP nos permiten estimar las condiciones termodinámicas (ej: fugacidad de azufre, temperatura) del sistema magmático durante la cristalización de cromita (ej: Garuti et al., 1999; Gervilla et al., 2005). En cambio, nuestro conocimiento es muy limitado sobre el comportamiento de los elementos del grupo del platino (EGP), y la estabilidad de los MGP, durante los procesos metamórficos, de alteración hidrotermal y/o meteórica que afectan a las cromititas ofiolíticas.

El objetivo de este trabajo es la caracterización mineralógica y textural de las asociaciones de MGP presentes en cromititas ofiolíticas de distintas edades y afectadas por diferentes grados metamórficos, de alteración hidrotermal y/o de alteración supergénica. Para ello, se han seleccionado para su estudio y comparación depósitos de cromita en:

- (i) La faja ultramáfica occidental de las Sierras Pampeanas de Córdoba (Argentina), de edad Neoprotozoica (Esacayola et al., 2006). Estas unidades ofiolíticas registran condiciones metamórficas de alta temperatura (facies de anfibolita y localmente granulíticas).
- (ii) Las serpentinitas de Tehuiztingo, ofiolitas Xayacatlán (México) de edad Paleozoica. Estas unidades ofiolíticas han experimentado un metamorfismo en facies de eclogitas, con una marcada evolución retrógrada a facies de anfibolitas y esquistos verdes.
- (iii) La Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental). Este complejo ofiolítico es de edad Cretácica y ha sufrido mayoritariamente un metamorfismo de muy bajo grado (típico metamorfismo de fondo oceánico), así como una intensa meteorización laterítica.
- (iv) Las Peridotitas Loma Caribe (República Dominicana). Estas rocas ultramáficas, al igual que las de Cuba Oriental, son de edad Cretácica y registran metamorfismo de fondo oceánico, y una intensa meteorización laterítica.

CROMITITAS DE LA FAJA ULTRAMÁFICA OCCIDENTAL DE LAS SIERRAS PAMPEANAS DE CÓRDOBA (ARGENTINA),

Los cuerpos de cromititas son de pequeño tamaño (ej: cuerpos del Cerro Los Guanacos y Los Congos), y tienen texturas masivas, diseminadas y bandeadas. La cromita de las cromititas está fuertemente alterada y, sólo en algunos cuerpos masivos se preserva la composición ígnea primaria. En estos casos, la cromita presenta un #Cr [Cr/(Cr+Al)]~0.58, y un #Mg [Mg/(Mg+Fe²⁺)]~0.48. De acuerdo con esta composición, la cromita primaria de los afloramientos estudiados es rica en Al (#Cr < 0.6). Sin embargo, los granos de Cr-espínela tienen texturas metamórficas complejas y mayoritariamente están compuestos por dos zonas: una rica en Fe y una rica en Al (Proenza et al., 2006a).

Los principales MGP encontrados son fases de Ru, Os e Ir, con un tamaño de grano inferior a 20 µm, y se encuentran incluidos en cristales de cromita o en contacto con serpentina y/o clorita. Sin embargo, en los granos inalterados de cromita, solo se ha encontrado una inclusión de un cristal euhédrico correspondiente a una aleación de Os-Ir. En general, los MGP presentan relaciones texturales más complejas, típicas de procesos post-magmáticos, y están representados por cristales de laurita zonados, los cuales son reemplazados por óxidos (o hidróxidos) de Ru. Además se han identificado granos de erlichmanita, irarsita, platino, así como fases desconocidas de óxidos o hidróxidos de Ru, Pt e Ir-Ru, telururos de Pt, y fases compuestas de Ir-Ru-As e Ir-Ru-Ti (Figura 1A, B). Estas fases desconocidas de PGM se encuentran en la matriz silicatada alterada, o en la cromita alterada a ferricromita. Los cristales de laurita zonados muestran variaciones en los contenidos de Os entre 11.8 (borde del cristal) y 17.8 % en peso (centro del cristal).

CROMITITAS DE TEHUITZINGO, OFIOLITAS XAYACATLÁN (MÉXICO)

Las cromititas de Tehuiztingo se localizan en el sur de México, en el Estado de Puebla, y están encajadas en cuerpos de serpentinitas que forman parte de las denominadas ofiolitas Xayacatlán de edad Paleozoica (complejo Acatlán; Ortega-Gutiérrez et al., 1999; Proenza et al., 2004). Los cuerpos de serpentinitas están, asociados con rocas eclogíticas, y englobados en una secuencia metasedimentaria. Los depósitos de cromita son de tama-

ño pequeño, y fueron explotados durante las décadas de 1950 y 1960. En las cromititas todos los silicatos primarios han sido transformados a minerales del grupo de la serpiente y a cloritas. Los cristales primarios de cromita están reemplazados, en mayor o menor grado por ferricromita. La cromita ígnea primaria de Tehuiztingo es rica en Al, con valores del #Cr entre 0.53 y 0.57, y del #Mg entre 0.69 y 0.78.

La asociación de MGP está dominada por minerales de Ru-Os-Ir con un tamaño de grano inferior a 10 µm, y las relaciones texturales indican que mayoritariamente se pueden clasificar como MGP secundarios (asociados a granos de cromita alterados a ferricromita, en fracturas o borde de alteración). Se presentan como granos anhedrales simples o polifásicos asociados con cristales de cromita alterados a ferricromita y clorita. Los MGP identificados son laurita, osmio, irarsita, hollingworthita y óxido de Ru (Figura 1C). La laurita asociada con minerales de alteración están empobrecida en Os e Ir. Por otra parte, la composición de las aleaciones de Os-Ir (osmio) no es consistente con la de las aleaciones de origen magmático (Zaccarini et al., 2005).

CROMITITAS DE LA FAJA OFIOLÍTICA MAYARÍ-BARACOA (FOMB, CUBA ORIENTAL)

En la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (FOMB) se han descrito más de 250 depósitos e indicios de cromita, distribuidos en tres distritos mineros: Distrito de Mayarí, Distrito de Sagua de Tánamo y Distrito de Moa-Baracoa (Proenza et al., 1999; Gervilla et al., 2005). Algunos de estos depósitos de cromita se explotan en la actualidad, y otros presentan una larga historia minera. El depósito más importante es el yacimiento Mercedita en el distrito Moa-Baracoa, el cual contiene reservas superiores a 1.000.000 tn y constituye el yacimiento de cromita ofiolítica más grande de Cuba. Considerando la composición de la cromita, las cromititas de la FOMB se pueden clasificar en dos tipos: (i) cromititas ricas en Cr (#Cr > 0.6),

(ii) cromititas ricas en Al (#Cr < 0.6). Las cromititas ricas en Cr (las existentes en el distrito de Mayarí y en parte del distrito de Sagua de Tánamo) son relativamente ricas en EGP (hasta 3.7 ppm). Las cromititas ricas en Al (las existentes en el distrito de Moa-Baracoa y en parte del distrito de Sagua de Tánamo) están empobrecidas en EGP. Su contenido total de EGP es inferior a 166 ppb, siendo el Ru el elemento más abundante.

Los minerales del grupo del platino (MGP) encontrados en las cromititas tienen mayoritariamente tamaño de grano inferior a 10 µm, y los más abundantes son los términos de la solución sólida laurita-erlichmanita y en menor medida irarsita, aleaciones de Os-Ir y aleaciones Ru-Os-Ir, Ru-Os-Ir-Fe-Ni (Figura 1D). También se han identificado, diferentes sulfuros de Ir, Os, Ru, Ni y Pd. La composición de los disulfuros del grupo de la laurita-erlichmanita no muestra variaciones significativas entre los incluidos en cromitas sin alterar ricas en Cr y los incluidos en las ricas en Al. Sin embargo, uno de los rasgos significativos de algunos de los granos estudiados es que muestran una fuerte zonación con núcleos ricos en OsS₂ y bandas progresivamente más ricas en RuS₂ hacia la periferia (Gervilla et al., 2005) entre las que se intercalan, en ocasiones delgadas bandas de irarsita.

CROMITITAS DE LOMA PEGUERA (CORDILLERA CENTRAL DE LA REPÚBLICA DOMINICANA)

Las cromititas de Loma Peguera se localizan en las denominadas peridotitas de Loma Caribe, en la Cordillera Central de la República Dominicana (Proenza et al., 2006b). Sobre estas rocas ultramáficas se han desarrollado extensas cortezas lateríticas ricas en Ni. Recientemente, durante las actividades mineras de extracción de estas lateritas se han encontrado numerosos cuerpos pequeños de cromititas, específicamente en el área de Loma Peguera. La composición de la cromita en estas cromititas (#Cr=0.75-0.78, TiO₂=0.79-0.93 % en peso; Fe₂O₃ 7.23-8.46 % en peso) es muy diferente de la de la cromita presente

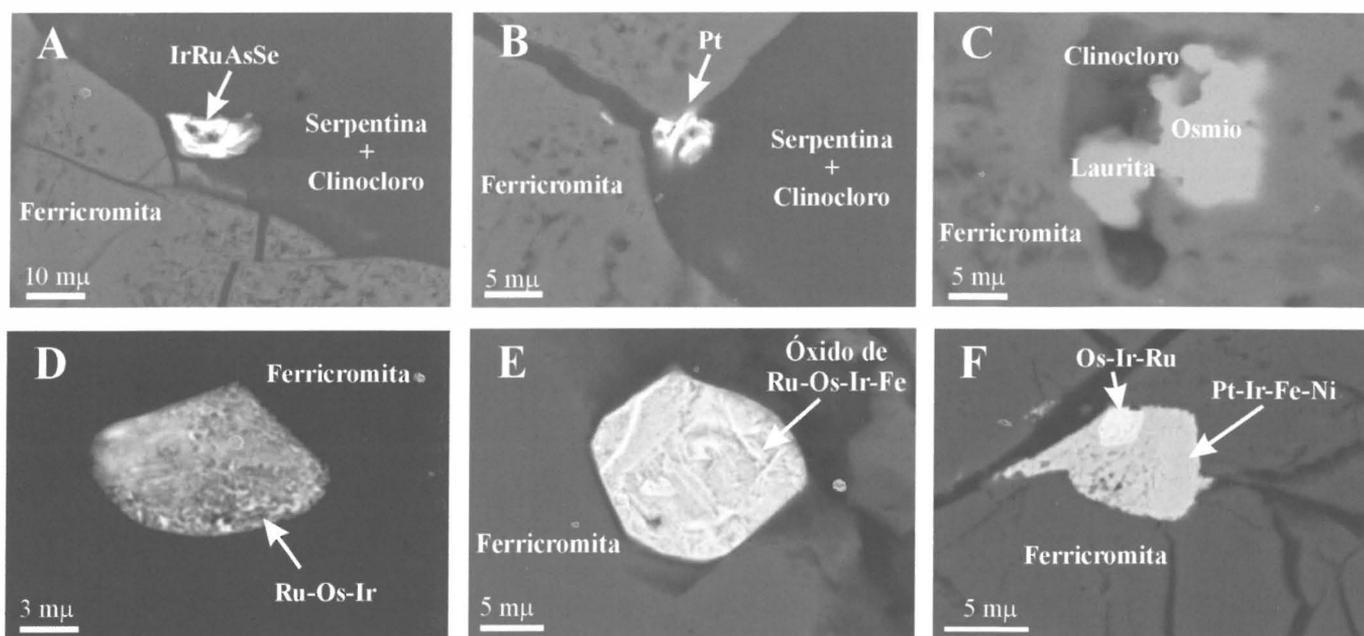


Figura 1: Imágenes de electrones retrodispersados mostrando la morfología, texturas y asociaciones de los MGP en las cromititas estudiadas: A y B, Los Congos (Argentina); C, Tehuiztingo (México); D, Sagua de Tánamo (Cuba); E y F, Loma Peguera (República Dominicana).

en otras cromititas encajadas en peridotitas mantélicas. Las cromititas son ricas en EGP (hasta 2.04 ppm). La mineralogía de los EGP incluye fases de Ru, Os, Ir y Pt, y esta constituida por laurita, irarsita, una fase con fórmula que se aproxima a Ru_3As_2 , óxidos de Ru-Os-Ir-Fe, aleaciones de Pt-Ir-Ni-Fe y Ru-Os-Ir-Pt-Fe-Ni, Ru nativo, aleaciones de Fe-Ni ricas en Ru. La mayoría de los MGP se localizan en fracturas o bordes de granos donde la cromita esta alterada a ferricromita y en contacto con clorita, y pueden ser clasificados como MGP secundarios. Ellos se caracterizan por tener formas irregulares, superficie rugosa y una alta porosidad (Figura 1E, F).

CONSIDERACIONES FINALES

Nuestros resultados confirman que los MGP presentes en las cromititas ofiolíticas incluyen dos asociaciones diferentes:

(I) incluida en cristales inalterados de cromita, formada a temperaturas magmáticas (asociación primaria),

(II) en contacto con clorita y ferricromita, formada en un estadio post-magmático (asociación secundaria).

La presencia de MGP de Pt raros, como telururos, óxidos e hidróxidos y fases de PGE-As-Se se ha encontrado, sólo, en las cromititas de las Sierras Pampeanas de Córdoba (Argentina). Esta asociación de MGP puede ser interpretada como un resultado de la movilización de Te y As por fluidos hidrotermales durante el metamorfismo regional polifásico que han experimentado estas cromititas, similar a los procesos sugeridos por Malitch et al. (2003) para explicar la mineralización de EGP en las cromititas de Kraubath (Austria). Esta conclusión es soportada por la evolución metamórfica propuesta por Escayola et al (2004). De acuerdo con estos autores, los cuerpos de rocas ultramáficas de las Sierras Pampeanas de Córdoba han registrado varios eventos metamórficos: (i) metamorfismo de bajo grado, de fondo oceánico, (ii) un metamorfismo regional progrado en facies de anfibolitas, relacionado con un proceso colisión (540-350 Ma), (iii) un metamorfismo retrogrado representado por antofilita y antigorita + brucita relacionado con la descompresión y exhumación del orógeno, (iv) un metamorfismo de bajo grado representado por venas de talco y crisotilo relacionado a la circulación de fluidos tardíos.

Por otra parte, la asociación y composición de los MGP en las cromititas de Tehuiztzingo también indican movilización de los EGP durante el metamorfismo, en particular la laurita pierde Os y probablemente Ir, los cuales se incorporan en las aleaciones secundarias de Os-Ir y en irarsita. La composición de la ferricromita encajante de los PGM, así como los datos de geotermometría de clorita, sugieren que muchos de los MGP sufren modificaciones dentro de la parte baja de las facies de anfibolitas, las cuales probablemente continúan con la formación de aleaciones secundarias de Ru-Os-Ir-Fe-Ni durante la serpentización y/o la alteración meteórica. Estas aleaciones secundarias están presentes, también, en las cromititas de Cuba Oriental afectadas por procesos tardíos de serpentización/meteorización.

La asociación de PGM dominada por óxidos de Ru-Os-Ir-Fe es característica de las cromititas de Loma Peguera en República Dominicana, las cuales están encajadas en peridotitas que han sufrido procesos de meteorización laterítica. Estos óxidos de Ru-Os-Ir-Fe tienen relaciones catiónicas similares a las de las series laurita-erlichmanita, lo cual sugiere que se han formado por una progresiva desulfurización, y posterior oxidación, de la laurita primaria (ej: Garuti y Zaccarini, 1997). Estos óxidos (e hidróxidos de EGP) puede ser producto de la meteorización laterítica.

Aunque es difícil determinar la extensión de la movilización de los EGP en base a observaciones mineralógicas, nuestros datos indican que las modificaciones post-magmáticas que afectan a las cromititas (metamorfismo, alteración hidrotermal y meteórica) solo produce una redistribución de los EGP a pequeña escala, probablemente circunscrita a los cuerpos de cromitita. En general estos procesos modifican las asociaciones primarias de los MGP, pero no provocan cambios importantes en las concentraciones totales de EGP en las cromititas.

REFERENCIAS

- Escayola, M.P., Pimentel, M.M., Armstrong, R. (2006). *Geology* (in press).
- Escayola, M., Proenza, J.A., Schalamuk, A., Cávana, C. (2004). En: Pereira, E., Castroviejo, R., Ortiz, F. (Eds.). *Complejos ofiolíticos en Iberoamérica*, Proyecto XIII.1-CYTED, pp. 133-155.
- Garuti, G. y Zaccarini, F. (1997). *Can. Mineral.*, 35, 611-626.
- Garuti G., Zaccarini F., Moloshag V., Alimov, V. (1999). *Can. Mineral.*, 37, 1099-1115.
- Gervilla, F., Proenza, J.A., Frei, R., González-Jiménez, J.M., Garrido, C.J., Melgarejo, J.C., Meibom, A., Díaz-Martínez, R., Lavaut, W. (2005). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 150, 589-607.
- Leblanc, M. (1991). En: Peters, T.J., Nicolas, A. y Coleman, R.G. (eds.), *Ophiolite Genesis and Evolution of Oceanic Lithosphere* Kluwer Academic. Publ., Dordrecht: 231-260.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macías-Romo, C., López, R. (1999). *Geology*, 27, 719-722.
- Malitch, K.N., Thalhammer, O.A.R., Knauf, V.V., Melchor, F. (2003). *Mineral. Deposita*, 38, 282-297.
- Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Bodinier, J.L. (1999). *Econ. Geol.*, 94, 547-566.
- Proenza J.A., Ortega-Gutiérrez, F., Camprubí, A., Tritlla, J., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M. (2004). *Jour. S. Am. Earth Sc.*, 16, 649-666.
- Proenza, J.A., Zaccarini, F., Escayola, M., Cávana, C., Schalamuk, A., Garuti, G., (2006). *Ore Geol. Rev.* (en prensa).
- Proenza, J.A., Zaccarini, F., Lewis, J.F., Longo, F., Garuti, G. (2006). *Can. Mineral.* (aceptado).
- Zaccarini, F., Proenza, J.A., Ortega-Gutiérrez, F., Garuti, G. (2005). *Mineral. Petrol.*, 84, 147-168.