

# Composición de las Cromoespinelas Ofiolíticas de Calzadilla de los Barros (Badajoz): Implicaciones Petrogenéticas

/ RUBEN MARTOS (1), LORENA ORTEGA (1, \*), FERNANDO GERVILLA (2), SERAFÍN MONTEERRUBIO (3), RUBÉN PIÑA (1), HELENA ALBERT (1), ROSARIO LUNAR (1)

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

(2) Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Av. Fuentenueva s/n. 18002, Granada (España)

(3) Escuela Politécnica Superior de Zamora, Av. Cardenal Cisneros, 30. 49030, Zamora (España)

## INTRODUCCIÓN.

La Cr-espinela es un mineral de origen ígneo y que cristaliza en los estadios tempranos de la serie de Bowen, en relación con rocas peridotíticas. Su composición puede variar, dentro de la fórmula general  $(Mg, Fe^{2+})(Cr, AlFe^{3+})_2O_4$ , dependiendo de las condiciones de cristalización y de los procesos posteriores de reequilibrio. Por tanto, la Cr-espinela se considera un indicador petrogenético de las rocas ultramáficas a las que se asocia.

El objetivo de este trabajo es determinar la composición de las Cr-espinelas de Calzadilla de los Barros y su variación entre núcleo y borde de grano con el fin de estimar sus condiciones de formación y alteración posterior.

## GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN.

La zona de estudio está situada en el flanco NE del antiformal de Olivenza-Monesterio, en la Zona de Ossa Morena del Macizo Hespérico. Comprende dos zonas con rocas peridotíticas, la Sierra de Cabeza Gorda y el macizo de Cerro Cabrera, situadas junto a Calzadilla de los Barros. Estos macizos peridotíticos están constituidos por harzburgitas y dunitas intensamente serpentinizadas. En estas rocas la Cr-espinela puede aparecer como mineral accesorio (<4% de la roca) o como mineral principal (>20% de la roca). En este último caso la roca se denomina cromitita, considerándose masiva si el contenido en Cr-espinela es >80% de la roca, semimasiva si es del 70 al 80% y diseminada si éste es menor del 70%. En Calzadilla las cromititas aparecen formando acumulados, bandeados o bolsadas de tamaño variable en dunitas, encajadas en una serie harzburgítica.

## Espinelas Accesorias.

Las harzburgitas, muy serpentinizadas, contienen relictos de olivino y ortopiroxeno y muestran una textura fibrosa, entrecruzada, blastogranuda y en malla. La espinela es término rico en magnetita y aparece como pequeños granos (<0,5 mm) diseminados en la roca (<2%). También se observan granos anhedrales de hasta 2 mm con texturas en bola de nieve, intercrecidos en los bordes con clorita de alteración.

En las dunitas se reconocen diferentes minerales del grupo de la serpentina. El más abundante es la antigorita, que muestra texturas no pseudomórficas. También se observan restos de lizardita, con texturas en malla alrededor de relictos de olivino, y fibras de crisotilo rellenando fracturas. La espinela es cromífera, constituye el 2,5% de la roca y aparece como cristales anhedrales, de entre 1 y 2,5 mm, diseminados en la matriz de la roca. Bordeando estas Cr-espinelas y en las fracturas aparece clorita como producto de alteración.

## Cromititas.

La Cr-espinela es el componente principal de estas rocas y se presenta diseminada como granos redondeados de pequeño tamaño (<0,5 mm), o como cristales euhedrales de hasta 2,5 mm formando el esqueleto de la roca. Estas Cr-espinelas muestran una corona externa de menor reflectividad que el núcleo e intercrecida con clorita, dando texturas en bola de nieve. La matriz está formada por clorita magnésica.

En este estudio se han observado cromititas diseminadas, semimasivas y masivas. Las cromititas diseminadas muestran texturas nodulares, mientras

que las cromititas masivas y semimasivas muestran texturas antinodulares.

## METODOLOGÍA.

Las muestras estudiadas proceden de los afloramientos peridotíticos de Calzadilla y de tres sondeos realizados por la empresa Río Narcea Nickel S.A. en el macizo de Cerro Cabrera.

En esta investigación se han estudiado 34 láminas transparentes pulidas mediante microsonda electrónica. Los análisis cuantitativos puntuales de fases minerales han sido realizados en el Centro de Microscopía Electrónica "Luis Bru" de la Universidad Complutense de Madrid. El equipo utilizado es una microsonda electrónica JEOL modelo JXA-8900-M con 4 espectrómetros. Para el análisis de espinelas se ha trabajado con un voltaje de aceleración de 15 kV y una corriente de sonda de 20 nA y diámetro del haz incidente de 5µm. El estudio mediante esta técnica ha permitido obtener microfotografías de granos minerales para el estudio de las zonaciones químicas en Cr-espinela. Para el cálculo de la fórmula estructural de las Cr-espinelas se ha seguido el criterio de Droop (1987).

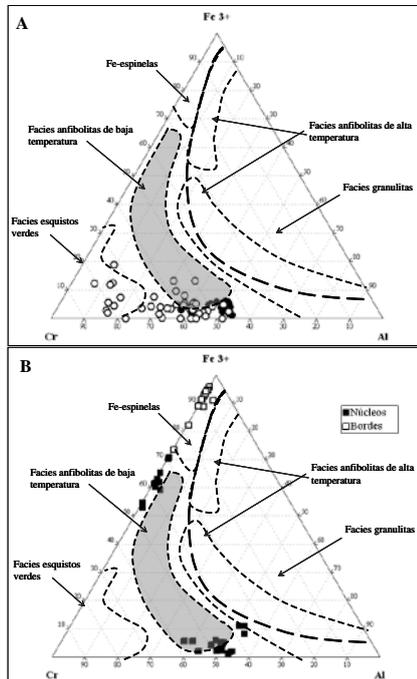
## RESULTADOS.

Los análisis de Cr-espinela muestran que existen variaciones composicionales entre núcleo y borde de grano que son el resultado de procesos de alteración. En la Fig. 1 se han proyectado los datos de Cr-Al-Fe<sup>3+</sup> para Cr-espinelas accesorias y para Cr-espinelas en cromititas. En las Cr-espinelas accesorias el grado de alteración es mayor y se refleja en un aumento en Fe<sup>3+</sup>, tanto en bordes de grano como en núcleos alterados,

**palabras clave:** Cr-Espinela, Ofiolita, Peridotita.

**key words:** Cr-Spinel, Ofiolite, Peridotite.

acompañado de una pérdida de Mg.



**Fig. 1.** Cambios composicionales en las Cr-espínelas de Calzadilla, representados en el diagrama Cr-Fe<sup>3+</sup>-Al, reflejando las facies metamórficas. Modificado de Proenza et al. (2004). A) Cromititas; B) Cr-espínelas accesorias.

En las cromititas la alteración de la Cr-espínela se produce de forma diferente y en general es menos intensa. En el diagrama triangular Cr-Fe<sup>3+</sup>-Al (Fig. 1) se observa en estas Cr-espínelas una tendencia de pérdida de Al con aumento en Cr residual desde el núcleo a los bordes de grano. En algunos de los bordes representados se observa que cuando la pérdida de Al es muy marcada, las Cr-espínelas tienden a ganar algo de Fe<sup>3+</sup>, como se observaba en las Cr-espínelas accesorias. Los núcleos de las Cr-espínelas menos alteradas tienen valores de #Mg y #Cr que corresponden a Cr-espínelas podiformes (Irvine, 1967), mientras que los bordes muestran una tendencia de pérdida de Mg y enriquecimiento relativo en Fe<sup>2+</sup> con la alteración.

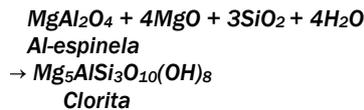
#### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

Los valores de #Cr y TiO<sub>2</sub> de los núcleos inalterados de Cr-espínelas (Arai, 1992) permiten estimar que las Cr-espínelas estudiadas se habrían formado a partir de un magma parental de tipo MORB.

Los procesos de alteración y/o metamorfismo posteriores habrían modificado la composición original de los bordes y de algunos núcleos de

granos de Cr-espínela. Las Cr-espínelas accesorias y las de las cromititas muestran una tendencia común de alteración, con un aumento de Fe<sup>2+</sup> hacia el borde junto con un aumento de Cr<sup>3+</sup>, probablemente debido a la fuerte pérdida de Al<sup>3+</sup>. Sin embargo, las Cr-espínelas accesorias muestran bordes enriquecidos en Fe<sup>3+</sup>, mientras que esta variación no se observa en las Cr-espínelas de cromititas.

La pérdida de Mg y el enriquecimiento en Fe<sup>2+</sup> se produce por reacciones de equilibrio entre olivino y Cr-espínela, en distintos momentos de la evolución de las peridotitas encajantes. Esta tendencia, junto con la marcada pérdida de Al que muestran los bordes alterados de las Cr-espínelas, puede explicarse mediante la reacción de Cr-espínela primaria con fluidos ricos en MgO y SiO<sub>2</sub> para formar clorita a temperaturas superiores a 400°C (Kimball, 1990):



La alteración combinada de olivino y piroxeno a baja temperatura podría favorecer la incorporación de fluidos ricos en MgO y SiO<sub>2</sub> al sistema (Bach et al. 2006), componentes necesarios para el desarrollo de esta reacción. Las Cr-espínelas con bordes de alteración en los que aparecen inclusiones de clorita de composición magnésica, que además también forma la matriz, confirman la existencia de esta reacción en las muestras estudiadas.

En las cromititas se observan algunos núcleos enriquecidos en Fe<sup>2+</sup>, pero sin variaciones en el contenido en Cr. Esta tendencia puede ser el resultado de un reequilibrio temprano entre el encajante y los núcleos de Cr-espínela o bien reflejar la existencia de un protolito ya alterado.

En las Cr-espínelas accesorias la relación Cr-espínela/silicato es menor y los cristales de Cr-espínela son más pequeños, por lo que el proceso de alteración es más efectivo. En este caso se observa un importante aumento en el contenido en Fe<sup>3+</sup> tanto en bordes de alteración como en núcleos alterados. Este tipo de Cr-espínelas alteradas enriquecidas en Fe<sup>3+</sup> se denominan "ferricromita" (Proenza et al. 2004). Mellini et al. (2005) proponen que la reacción de la espínela con serpentina,

bajo condiciones oxidantes, da lugar a la formación de clorita, y a una Cr-espínela enriquecida en Fe<sup>3+</sup>.

Barnes y Roeder (2001) consideran que la relación Cr-espínela/olivino es un factor determinante en los procesos de alteración de la Cr-espínela. Una mayor cantidad de olivino en la roca generaría cantidades de serpentina suficientes para reaccionar con la Cr-espínela formando Cr-espínelas ricas en Fe y clorita en condiciones de metamorfismo en facies de esquistos verdes. No obstante, en Calzadilla la presencia de lizardita, la fase de baja temperatura de la serpentina, y de antigorita, de mayor temperatura y que no se forma bajo condiciones de alteración retrógrada, indican la existencia de un metamorfismo progrado que pudo alcanzar la facies de las anfíbolitas de baja temperatura.

#### AGRADECIMIENTOS.

Esta es una contribución del proyecto de investigación CGL2007-60266-BTE.

#### REFERENCIAS.

- Arai, S. (1992): *Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry*. *Miner. Mag.*, **56**, 173-184.
- Bach, W., Paulick, H., Garrido, C.J., Ildefonse, B., Meurer, W., Humphris, S.E. (2006): *Unravelling the sequence of serpentinization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from MAR 15°N (ODP Leg 209, Site 1274)* *Geoph. Res. Letters*, **33**.
- Barnes, S.J. & Roeder, P.L. (2001): *The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks*. *Jour. Petrol.*, **42**(12) 2279-3202.
- Droop, G.T.R. (1987): *A general equation for estimating Fe<sup>3+</sup> concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria*. *Miner. Mag.*, **51**, 431-435.
- Irvine, T.N. (1967): *Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part II*. *Can. Jour. Earth Sc.*, **4**, 71-103.
- Kimball (1990): *Effects of hydrothermal alteration on the compositions of chromian spinels*. *Contrib. Min. Petrol.*, **105**, 337-346.
- Mellini, M., Rumori, C., Viti, C. (2005): *Hydrothermally reset magmatic spinels in retrograde serpentinites: formation of "ferrichromite" rims and chlorite aureoles*. *Contrib. Miner. Petrol.*, **149**, 266-275.
- Proenza, J.A., Ortega-Gutiérrez, F., Camprubí, A., Trilla, J., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M. (2004): *Paleozoic serpentinite-enclosed chromitites from Tehuiztzingo, (Acatlán Complex, southern Mexico): a petrological and mineralogical study*. *Jour. South Am. Earth Sc.*, **16**, 649-666.