

# Petrogénesis de Apatitos de los Sills de Diabasa de La Codosera (Badajoz)

/ F. JAVIER LÓPEZ MORO (1\*), ASCENSIÓN MURCIEGO (1), MIGUEL LÓPEZ PLAZA (1), MARC DE RAFÉLIS (2), M.A. RODRÍGUEZ GONZÁLEZ (3)

(1) Departamento de Geología. Plaza de los Caídos s/n. Universidad de Salamanca. 37008, Salamanca (España)

(2) Laboratoire Biominéralisations et Paléoenvironnements, Case postale 116, 4 place Jussieu, Université P. & M. Curie, 75252 Paris Cedex 05

(3) Facultad de Ciencias, Área de Cristalografía y Mineralogía, Avd. Elvas s/n, Universidad de Extremadura, 06071, Badajoz (España)

## INTRODUCCIÓN.

El sinclinal de La Codosera presenta sills de diabasa muy singulares que constituyen, junto con otro sill de diabasa en Siberia (Latypov com. pers.), los únicos cuerpos conocidos de gran espesor (>100 metros) que han experimentado un emplazamiento en un solo pulso de magma y una cristalización *in situ*. López-Moro et al. (2007) han establecido que la composición química de los bordes de estos cuerpos ("chilled margins") representa la composición original, a partir de la cual se produjo un proceso de cristalización fraccionada. Hacia la zona de techo de este cuerpo, en una facies de tamaño de grano medio, se ha puesto de manifiesto un fuerte enriquecimiento en P (Fig. 1) debido a proporciones modales de apatito de hasta un 3%.

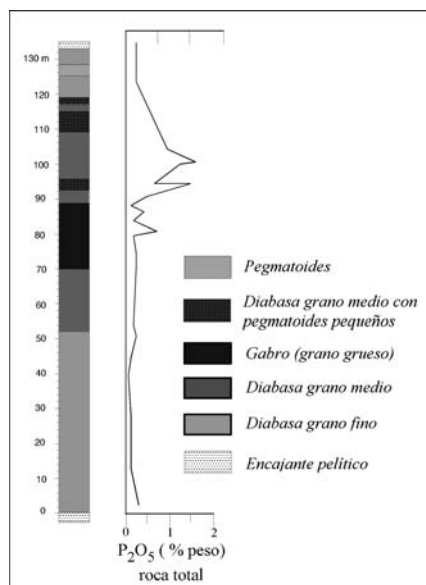


fig 1. Distribución de P en una sección transversal del sill de diabasa estudiado.

Dicha facies se localiza en una zona donde la roca presenta una elevada tasa

de deformación post-cristalina, asociada a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba, y donde la mineralogía original ha sido fuertemente transformada bajo condiciones en facies de esquistos verdes.

Murciego et al. (2002) realizaron un estudio por catodoluminiscencia (CL) fría en los mencionados apatitos, observándose luminiscencias amarillentas que sugerían la presencia de Mn<sup>2+</sup> como activador y un origen cortical de dichos apatitos. En este sentido, es comúnmente aceptada la presencia de apatitos formados a partir de fluidos hidrotermales movilizados por planos de cizalla, como podría ser el caso de las diabasas de La Codosera.

El objetivo de este trabajo es establecer la petrogénesis de estos apatitos a partir de datos composicionales (geoquímica de roca total y química mineral), así como por los espectros y las imágenes de catodoluminiscencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se seleccionaron del mismo sill de diabasa 4 láminas delgadas para el estudio por microsonda electrónica y CL: dos de la zona de fuerte enriquecimiento en P, una de la zona de mayor transformación subsolidus del sill, y otra de una facies de grano grueso con cristales de apatito de tamaño similar a los de la zona enriquecida en P.

La concentración de elementos mayores, trazas y REE de estos apatitos se determinó por microsonda electrónica en la Universidad de Oviedo. Los espectros de emisión fueron realizados en la Université P. & M. Curie de París y han sido interpretados de acuerdo con el trabajo de Blanc et al. (2000).

Para la geoquímica de roca total se

cuenta con un total de 36 análisis de un corte transversal del sill realizado a partir de dos sondeos simétricos que recorren todo el espesor del cuerpo (López Moro et al., 2007). También se cuenta con una muestra del encajante pizarroso de estos sills.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La geoquímica de roca total evidencia una falta de correlación en diagramas de variación cuando se enfrentan elementos móviles como el Ba, K o el Rb frente al número de magnesio, lo que indicaría una interacción de la roca con fluidos en estadios subsolidus. En cambio, cuando se consideran elementos típicamente inmóviles en una fase fluida (REE, Zr, Hf, Nb, Ta...), se obtienen buenas correlaciones para el conjunto de muestras del sill, exceptuando las enriquecidas en apatito cuando se consideran elementos fraccionados fuertemente por dicho mineral, como son las REE o el Y (Fig. 2).

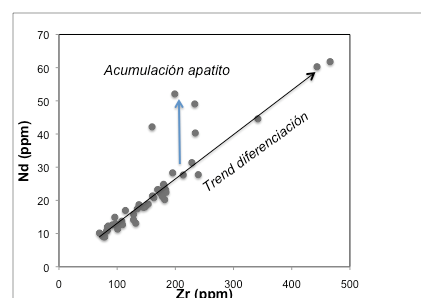


fig 2. Diagrama Nd-Zr de roca total mostrando el trend de diferenciación y el de acumulación de apatitos.

Teniendo en cuenta las relaciones interelementales como Y/Ho se minimiza el efecto de enriquecimiento del apatito y se obtienen valores en torno a 29 para todas las muestras. Este valor es prácticamente igual al del condrito (28) e indica que la distribución del Y y del Ho tuvo un comportamiento controlado por su propia carga y radio (comportamiento CHARAC), típico de

ambientes puramente magmáticos. En contraste, valores muy diferentes a los del condrito son esperables en una fase fluida, donde la distribución de dichos elementos no está controlada por su carga y radio. Por otra parte, el denominado efecto tétrada de los lantánidos que aparece en los espectros de REE en rocas que han experimentado una fuerte interacción con un fluido rico en F y Cl (Jahn et al., 2001) no aparece en ninguna de las muestras, ya que los valores de TE1,3 están siempre en torno a 0,8.

Por tanto, estos hechos excluyen la formación de apatito a partir de una fase fluida, cuya incidencia, en todo caso, no afectó a los elementos inmóviles, como Y y REE.

La catodoluminiscencia pone de manifiesto luminiscencias amarillentoverdosas en la mayoría de apatitos y excepcionalmente tonos violáceos. Las principales bandas de emisión se presentan a 360-380, 483, 576, 600, 647, 750, y 875 nm. La banda de 360-380 nm es la de mayor intensidad pero no está relacionada con un elemento en particular sino que es debida a una emisión de la red (Blanc et al. 2000). El resto de bandas de emisión son debidas a la activación del Dy<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>, Sm<sup>3+</sup> y probablemente Er<sup>3+</sup> (Fig. 3). Se pone, por tanto, de manifiesto que la luminiscencia amarillento-verdosa, a veces violácea, es debida a las REE y no al Mn<sup>2+</sup>.

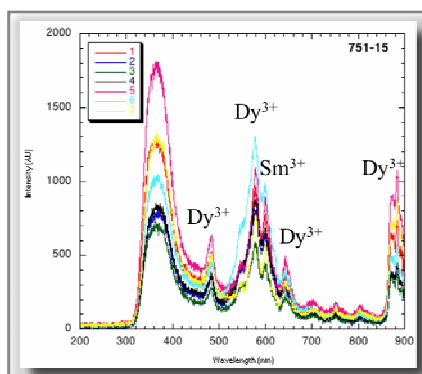


fig 3. Espectros de emisión de catodoluminiscencia en distintos puntos de un gran cristal de apatito de luminiscencia amarillenta y amarillento-verdosa.

Los análisis de microsonda electrónica revelan bajos contenidos de Mn (rango 324-795 ppm, media=545 ppm), dentro del rango de apatitos de doleritas muestreados por Belousova et al (2002) (rango 527-734 ppm, media=633 ppm). Con respecto a los contenidos de REE, los valores de los apatitos de La

Codosera son equiparables a los apatitos de doleritas, con valores promedio de algunas LREE, como Ce, o de HREE, como Er, de 1115 ppm y 76 ppm respectivamente frente a 1081 ppm y 78 ppm en doleritas siberianas. La relación  $Mn/\sum REE$  es baja (promedio = 0,13) en contraste con el valor de la de apatitos con luminiscencia amarillenta debida a Mn<sup>2+</sup> como activador (1 a 23, Murciago et al., este volumen; Kempe y Götze, 2002).

Se han chequeado relaciones de elementos CHARAC como Y-Ho en los apatitos, pero la escasa precisión de la microsonda electrónica para el Ho produce fluctuaciones carentes de significado. Igual ocurre con las tétradas de los lantánidos, ya que los espectros de REE de los apatitos muestran perfiles aserrados, derivados de la imprecisión analítica de la microsonda.

De acuerdo con la información disponible, se puede descartar que los apatitos de la zona de enriquecimiento en P procedan de fluidos corticales, ya que éstos dan lugar a apatitos con mayores contenidos en Mn que los de La Codosera. Por tanto, los apatitos objeto de estudio deben considerarse magmáticos y su génesis debe estar vinculada al proceso que dio lugar al fuerte enriquecimiento en P, muy probablemente en relación con un proceso de diferenciación magmática en sistema cerrado, en lugar de asimilación, ya que según los modelos AFC, el magma se hubiera empobrecido en P. El magma residual diferenciado y expelido hacia niveles superiores del sill condujo, pues, a la acumulación del apatito, en el sentido descrito para gabros olivínicos por Meurer y Meurer (2006).

### CONCLUSIONES.

El estudio combinado de la geoquímica de roca total, química mineral y CL de apatitos demuestra que los apatitos de La Codosera no se formaron a partir de fluidos metasomáticos corticales, ni que estos han modificado su composición, al menos de REE e Y. Esta es la razón por la que una isocrona Sm-Nd fue obtenida en las diabasas de La Codosera (López-Moro et al., 2007).

El origen del enriquecimiento de apatito en los niveles superiores del cuerpo no se debe a procesos de asimilación del encajante, sino a procesos de cristalización *in situ*.

La catodoluminiscencia amarillenta en apatitos no necesariamente implica la presencia de Mn<sup>2+</sup> como activador, siendo necesarios espectros de emisión de CL para identificar los elementos activadores, evitándose, así, errores en la interpretación petrográfica.

### AGRADECIMIENTOS.

Este estudio ha sido parcialmente financiado por el proyecto 1FD1997-1250 del programa FEDER de Recursos y Espacios Naturales. Los autores expresan su agradecimiento al profesor Ildelfonso Armenteros de la Universidad de Salamanca por las facilidades en el uso de la catodoluminiscencia en una etapa inicial del estudio.

### REFERENCIAS.

- Belousova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Fisher, N.I. (2002): Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type. *J. Geoch. Exploration*, **76**, 5-69
- Blanc, P., Baumer, F., Cesbron, F., Ohnenstetter, D., Panczer, G., Rémond, G. (2000): Systematic cathodoluminescence spectral analysis of synthetic doped minerals: anhydrite, apatite, calcite, fluorite, scheelite and zircon. In: Barbin, P., Blanc y D. Ohnenstetter, (Eds.). *Cathodoluminescence in Geosciences*. Springer Verlag.
- Jahn, B.M., Wu, F., Capdevila, R., Martineau, F., Zhao, Z., Wang, Y. (2001): Highly evolved juvenile granites with tetrad REE patterns: the Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xing'an Mountains in NE China. *Lithos*, **59**, 171-198.
- Kempe, U. & Götze, J. (2002): Cathodoluminescence (CL) behaviour and crystal chemistry of apatite from rare-metal deposits. *Mineral Mag.*, **66**, 151-172.
- López Moro, F.J., Murciago, A., López-Plaza, M. (2007): Silurian/Ordovician asymmetrical sill-like bodies from La Codosera syncline, W Spain: A case of tholeiitic partial melts emplaced in a single magma pulse and derived from metasomatized mantle source. *Lithos*, **96**, 567-590.
- Meurer, W.P. & Meurer, M.E.S. (2006): Using apatite to dispel the "trapped liquid" concept and to understand the loss of interstitial liquid by compaction in mafic cumulates: an example from the Stillwater Complex, Montana. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **151**, 187-201.
- Murciago, A., López-Moro, F.J., Rodríguez, M.A. (2002): Estudio de los diques de diabasa de Alburquerque-Villar del Rey-La Roca de la Sierra. Determinación de su potencialidad como yacimiento de piedra natural". *Memoria Proyecto FEDER*. (Inédito).