

# Estudio de los isótopos estables (C, O, S) de la carbonatita de Bonga (Huila, Angola)

/ SANDRA AMORES (1\*), AURORA BAMBI (2), ANTONIO OLIMPIO GONÇALVES (2), EDUARDO ALVES MORAIS (2), JOAN CARLES MELGAREJO (1)

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

(2)Departamento de Geología, Universidade Agostinho Neto. Av/4 de Fevereiro, 71. Caixa postal, 815, Luanda (Angola)

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los isótopos de C y O puede aportar información muy valiosa referente al origen y evolución de los carbonatos en carbonatitas debido a que las fuentes magmática y los procesos de alteración post-magmática tienen firmas isotópicas características y diferenciadas (Deines, 1989; Olivera Cordeiro et al., 2011).

Sobre la firma isotópica de S en carbonatitas existen relativamente pocos estudios, aunque los sulfuros sean fases presentes en la mayoría de estas rocas generalmente de forma minoritaria, si bien en algunos casos pueden llegar a constituir menas, principalmente de Cu. La mayor parte de estudios se centran en el análisis de  $\delta^{34}\text{S}$  en pirita, calcopirita y pirrotina para evaluar el origen magmático o hidrotermal de los fluidos carbonatíticos ricos en azufre, la temperatura de formación de estos minerales, los cambios de  $f\text{O}_2$  durante la evolución del magma carbonatítico (Mitchell y Krouse, 1975; Deines et al., 1989), los mecanismos de fenitización y mineralización (Drüppel et al., 2006) o la desgasificación de  $\text{SO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  magmático (Zheng, 1990).

El objetivo del presente estudio es el de analizar la composición isotópica de C y O en calcita y dolomita así como la variación de  $\delta^{34}\text{S}$  en pirita de las distintas litologías presentes en la mina Bonga con la finalidad de determinar su origen y la posible influencia de procesos de alteración por fluidos de origen continental. Este trabajo además presenta los primeros datos de isótopos de S en pirita del cuerpo sub-volcánico carbonatítico de Bonga.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La carbonatita de Bonga, localizada en el estado de Huila en el suroeste de Angola, se emplaza en la estructura de

Lucapa, un aulacógeno de edad Cretácico Inferior que originó un sistema de fallas con orientaciones noreste-suroeste de 1200 km cortando el cratón de Angola-Congo (Issa Filho et al., 1991). En la zona central y suroeste de la estructura dominan los complejos alcalinos asociados a carbonatitas que intruyen el basamento Proterozoico (granitos, gneises y migmatitas) (de Carvalho, 1983). Según Alberti et al. (1999) estos complejos pertenecen a la provincia de Paraná-Angola-Etendeka, un rift formado durante la ruptura del supercontinente Pangea. El complejo poligenético de Tchivira-Bonga se caracteriza por dos grandes intrusiones carbonatíticas encajadas en basamento granítico Proterozoico. Debido a su proximidad, Bambi et al. (2012) sugirió que las dos intrusiones provienen del mismo evento magmático.

## LA CARBONATITA DE BONGA

El complejo de Bonga está situado al noreste del complejo de Tchivira. Se trata de un domo carbonatítico de 800 m de altitud rodeado por brechas de composición fenítico-carbonatítica. El domo conforma una estructura concéntrica constituida en el centro por calciocarbonatitas parcialmente reemplazadas por carbonatitas ankeríticas y rodeadas por diques anulares de carbonatitas de dimensiones decamétricas. Algunos diques de lamprófidios ultramáficos (alnoitas, ailikitas) y traquitas cortan todo el conjunto. Estudios anteriores (Bambi et al., 2012) sugieren que el macizo de Bonga fue producido en condiciones subvolcánicas, y por ello hay un desarrollo generalizado de brechas carbonatíticas.

Las calciocarbonatitas primarias están compuestas principalmente por calcita, con fluorapatito y magnetita como accesorios y pequeñas cantidades de pirocloro, flogopita, zircón y baddeleyita,

así como cristales milimétricos de pirita idiomórfica diseminados. El conjunto ha sufrido fuertes procesos hidrotermales, dando lugar al reemplazamiento de calcita por dolomita y ankerita asociados a otros minerales secundarios tales como cuarzo, barita, estroncionita, synchisita-Ce y generaciones tardías de pirocloro. Además hay nuevas generaciones de sulfuros, incluyendo pequeñas cantidades de calcopirita, esfalerita, galena, hessita, acantita, tetraedrita, sulfosales de plomo y oro nativo. Además, la roca está fuertemente meteorizada donde ésta aflora. No obstante, en las galerías de la nueva mina de Bonga, situada en el extremo norte del complejo y que avanza unos 100 m en dirección N-S, se corta uno de los anillos de brechas carbonatíticas en donde la roca no está meteorizada. Por ello, esta galería ha sido aprovechada para tomar muestras libres de procesos de meteorización.

## METODOLOGÍA

Para el estudio se han seleccionado 12 muestras de dolomita, 19 de calcita y 14 de pirita en calciocarbonatitas, carbonatitas dolomitizadas y ankeritizadas, brechas dolomitizadas y fenítico-carbonatíticas. Para el análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  se ha extraído 50 mg de calcita y dolomita mientras que para el estudio de  $\delta^{34}\text{S}$  100 mg de pirita de cada una de las muestras.

Las muestras han sido analizadas mediante un espectrómetro de flujo continuo Delta-D Finnigan en los Centros Científicos y Tecnológicos de la Universitat de Barcelona. Las relaciones  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  han sido calculadas en base a los estándares PDB, SMOW y CDT respectivamente.

## ISÓTOPOS DE C Y O

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  obtenidos para los carbonatos de la mina Bonga están

**palabras clave:** isótopos estables, carbonatita, Bonga

**key words:** Stable isotopes, carbonatite, Bonga

representados en la figura 1. Se pueden diferenciar dos tipos de carbonatos según su signatura isotópica: un grupo muestra valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  de origen claramente mantélico ya que coinciden con los valores esperados para carbonatos del manto (valores entre -4 y -8‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y entre 6 y 10‰ para  $\delta^{18}\text{O}$ ) según Taylor et al., (1967).

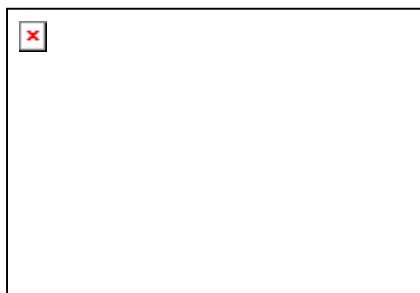


fig 1. Diagrama  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $\delta^{13}\text{C}$  de los carbonatos analizados en la carbonatita de Bongá.

Sin embargo la mayor parte de los análisis obtenidos exhiben valores más altos de  $\delta^{13}\text{C}$  y un enriquecimiento notable en  $^{18}\text{O}$  alejándose del dominio mantélico. Estos carbonatos corresponden a fases tardías que se encuentran rellenando vetas o reemplazando los carbonatos primarios en las áreas dolomitizadas, ankeritizadas y constituyendo parte de las brechas dolomitizadas y fenítico-carbonatíticas, ambas posteriores a la formación de la carbonatita primaria. Estas variaciones isotópicas, sobretudo el enriquecimiento en  $^{18}\text{O}$ , se deben a procesos de alteración y reacción de las carbonatitas por fluidos hidrotermales (Oliveira Cordeiro et al., 2011). Según Deines (1989), tal enriquecimiento en  $^{18}\text{O}$  de los carbonatos tardíos en carbonatitas suele estar particularmente relacionado con la alteración de carbonatitas subvolcánicas.

## ISÓTOPOS DE S

El valor de  $\delta^{34}\text{S}$  obtenido para piritita en calciocarbonatitas es de -6,2 mientras que las muestras dolomitizadas están más empobrecidas en  $^{34}\text{S}$  (fig. 2); no obstante, los valores más ligeros se obtienen en las brechas feníticas. Las piritas analizadas pertenecientes a calciocarbonatitas primarias muestran valores empobrecidos en  $\delta^{34}\text{S}$  y difieren de los valores de sulfuros primarios derivados del manto terrestre (alrededor de  $0 \pm 2\%$ , según Marini et al., 2011). Sin embargo, la variación isotópica obtenida coincide con el rango de  $\delta^{34}\text{S}$  determinado en piritas de otras

carbonatitas de América del Norte (i.e. Magnet Cove (Arkansas, Estados Unidos o Oka, Quebec, Canadá) comprendida entre -1 y -11‰ y que ha sido explicada por cambios físicos en las condiciones dominantes durante el emplazamiento de la intrusión, siendo el azufre derivado del manto (Mitchell y Krouse, 1975).

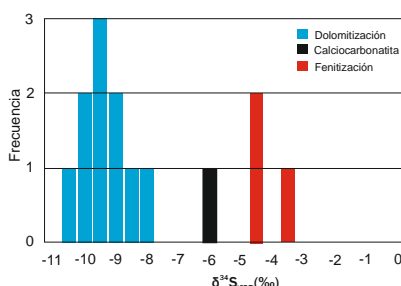


fig 2. Histograma de frecuencias de  $\delta^{34}\text{S}$  para piritita de la carbonatita de Bongá.

Las piritas presentes en carbonatitas y brechas dolomitizadas muestran composiciones más negativas hacia valores más empobrecidos en  $^{34}\text{S}$ . De acuerdo con Mitchell y Krouse, 1975 y Deines, 1989, los sulfuros formados en estadios más tardíos, como en este caso la dolomitización de la carbonatita primaria, se caracterizan por exhibir valores de  $\delta^{34}\text{S}$  más negativos como consecuencia del aumento progresivo del estado de oxidación del magma carbonatítico y al inicio de la cristalización de sulfato, el cual está enriquecido en  $^{34}\text{S}$ . Las carbonatíticas ankeritizadas muestran una composición isotópica más negativa siguiendo la misma tendencia. Sin embargo, los sulfuros procedentes de brechas fenítico-carbonatíticas muestran valores menos empobrecidos de  $^{34}\text{S}$  siendo su origen procedente de otros fluidos tardíos.

## CONCLUSIONES

A partir de los valores isotópicos de C y O obtenidos se observa un origen mantélico para los carbonatos estudiados, aunque la signatura isotópica dominante muestra una alteración hidrotermal de la carbonatita por fluidos hidrotermales de origen continental enriquecidos principalmente en  $^{18}\text{O}$  y pero también en  $^{13}\text{C}$ . Respecto la variación  $\delta^{34}\text{S}$  en piritita, se ha determinado una tendencia de enriquecimiento en  $^{32}\text{S}$  en las zonas de alteración dolomítica y ankerítica. Por el contrario, las brechas fenítico-carbonatíticas muestran una tendencia opuesta que sugiere un origen por otro

tipo de fluidos.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido apoyado por el proyecto CGL2009 - 13758 del ministerio de Educación y el SGR 444 de la Generalitat de Catalunya.

## REFERENCIAS

- Alberti, A., Castorina, F., Censi, P., Comin-Chiaromonti, P., Gomes, C.B (1999): Geochemical characteristics of Cretaceous carbonatites from Angola. *J. Afr. Earth Sci.*, **29**, 735 - 759.
- Bambi, A.C.J.M., Costanzo, A., Gonçalves, A.O., Melgarejo, J.C. (2012): Tracing the chemical evolution of primary pyrochlore from plutonic to volcanic carbonatites: the role of fluorine. *Mineral. Mag.*, **76**, 377 - 392.
- Issa Filho A., Dos Santos, A.B.R.M.D., Riffel, B.F., Lapido-Loureiro, F.E.V, McReath, I. (1991): Aspects of the geology, petrology and chemistry of some Angolan carbonatites. *J. Geochem. Explor.*, **40**, 205 - 226.
- De Carvalho, H. (1983): Notice explicative Préliminaire sur la Géologie de l'Angola. Garcia de Horta/Instituto de Investigação Científica Tropical, **6**, 15 - 30.
- Deines, P. (1989): Stable isotope variation in carbonatites. In « Carbonatites: Genesis and Evolution » (Keith Bell, ed.). Unwin Hyman, London, U.K, 301-359.
- Drüppel, K., Wagner, T., Boyce, A.J. (2006): Evolution of sulfide mineralization in ferrocarbonatite, Swartbooisdrif, Northwestern Namibia: Constraints from mineral composition and sulfur isotopes. *Can. Mineral.*, **44**, 877 - 894.
- Marini, L., Moretti, R., Accornero, M. (2011): Sulfur isotopes in Magmatic-Hydrothermal systems, melts and magmas. *Rev. Mineral. Geochem.*, **73**, 423 - 492.
- Mitchell, R.H., Krouse, H.R. (1975): Sulphur isotope geochemistry of carbonatites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**, 1505 - 1513.
- Oliveira Cordeiro, P.F., Brod, J.A., Santos, R.V., Dantas, E.L., de Cordeira, C.G., Rocha Barbosa, E.S. (2011): Stable (C, O) and radiogenic (Sr, Nd) isotopes of carbonates as indicators of magmatic and post-magmatic processes of phoscorite series rocks and carbonatites from Catalão I, central Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **161**, 451 - 464.
- Taylor H.P. Jr., Frechen J., and Degens E.T. (1967): Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See District, West Germany and Alno district, Sweden. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**, 407 - 430.
- Zheng, Y.F. (1990): Sulfur isotope fractionation in magmatic systems: models of Rayleigh distillation and selective flux. *Chinese J. Geochem.*, **9**, 27 - 45.