

# Influencia del F en la Distribución de Nb, Ta y REE en las Lavas Carbonatíticas de Catanda, Angola

/ MARC CAMPENY (1, 2\*), JOAN-CARLES MELGAREJO (1), JOSÉ MANGAS (3), AURORA C. J. M. BAMBI (4), ALESSANDRA CONSTANZO (5), JOSÉ MANUEL (4), PURA ALFONSO (6)

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

(2) Museu d'Arenys de Mar (Museu Mollfuleda de Mineralogía). L'Església 43, 08350 Arenys de Mar, Barcelona

(3) Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus Universitario de Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria

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

(5) Department of Earth and Ocean Sciences, School of Natural Sciences, National University of Ireland Galway, Galway (Irlanda)

(6) Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, Universitat Politècnica de Catalunya. Avda. Bases de Manresa 61-63, 08242 Manresa

## INTRODUCCIÓN

En las inmediaciones de Catanda (provincia de Kwanza Sul, Angola) se localiza un conjunto de edificios volcánicos de naturaleza carbonatítica. Los depósitos de materiales volcánicos pueden alcanzar potencias de hasta 400 m y están en su mayoría formados por capas de coladas piroclásticas con alternancia de flujos lávicos. El objetivo del presente trabajo es la realización de un estudio mineralógico de las lavas carbonatíticas de Catanda, haciendo énfasis en la distribución de REE y HFSE en las distintas fases minerales que las forman y su relación con la cristalización de las fases ricas en flúor (F). Este volátil es uno de los elementos clave en la complejación y distribución de estos elementos.

## GEOLOGÍA

La actividad volcánica de Catanda se estima de edad Cretácico superior (ca. 92 Ma; Silva, 1973) y está relacionada estructuralmente con el cinturón de Lucapa (Issa Filho et al. 1991). Esta estructura de más de 1200 km de longitud está delimitada por sistemas de fracturas distensivas NE-SO, donde se concentran la práctica totalidad de las carbonatitas y kimberlitas de Angola.

Los volcanes carbonatíticos de Catanda están encajados en granitos del Arcaico y están restringidos a un área de unos 50 km<sup>2</sup> de extensión, delimitada por la intersección de tres sistemas de fallas normales con orientaciones respectivas ENE-OSO, NNO-SSE y ONO-ESE.

## PETROGRAFIA

### Rocas piroclásticas

Los materiales piroclásticos representan aproximadamente el 80% de los depósitos volcánicos de la zona. Se trata principalmente de tobas, en las cuales se pueden diferenciar dos tipos según el tamaño de sus componentes: tobas cineríticas y tobas lapílicas. La mineralogía es muy heterogénea en ambos tipos, con predominio de minerales procedentes de los granitos encajantes (cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa) y de origen carbonatítico (calcita y apatito) (Fig. 1). Como minerales accesorios predominan los cristales idiomórficos de ulvöespinela, la ilmenita en granos alotriomorfos redondeados de varios milímetros y el pirocloro en pequeños cristales corroídos con varias fases de zonación. Además se han observado otros minerales minoritarios, como perovskita o baddeleyita.

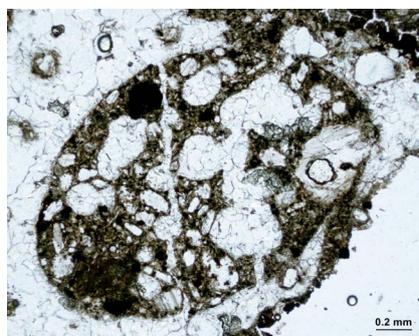


fig 1. Fragmento de lapilli lacrimale. Se distinguen cristales de calcita y apatito junto con algún grano idiomórfico de ulvöespinela. El espacio intersticial y las fracturas están rellenas de calcita esparítica de origen secundario.

## Lavas

Los materiales de origen lávico forman capas de potencia métrica que se encuentran interestratificadas entre niveles piroclásticos. Según sus características mineralógicas, texturales y composicionales, pueden distinguirse dos tipologías de lavas en Catanda:

- Lavas calciocarbonatíticas, de textura porfídica con una matriz formada esencialmente por calcita y pequeños cristales de apatito. Hay fenocristales de apatito claramente zonados y xenocristales de pirocloro, flogopita y feldespatos. Los minerales accesorios son de grano fino y se encuentran en proporciones entre el 5-10 % modal; entre ellos se distinguen cristales idiomórficos de ulvöespinela, granos de pirocloro zonados y corroídos y otros minerales más escasos como la baddeleyita.
- Lavas silicocarbonatíticas de textura afanítica y muy bajo contenido en carbonatos (≈35 %). Su matriz está compuesta básicamente por calcita criptocristalina, apatito y silicatos como cuspidina  $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{F},\text{OH})_2$ , britolita  $\text{Ca}_2(\text{Ce},\text{Ca})_3(\text{SiO}_4,\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$  y spurrita  $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{CO}_3)$ . Los minerales accesorios se encuentran en proporciones más elevadas que en las calciocarbonatitas y comprenden cristales idiomórficos de ulvöespinela, perovskita, pirocloro claramente zonado y otros minerales minoritarios como baddeleyita u oldhamita  $(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe})\text{S}$ . Se encuentran, además, xenocristales de augita titanífera

**palabras clave:** Carbonatitas volcánicas, Angola, Flúor, REE, Niobio, Tántalo, Pirocloro, Cuspidina

**key words:** Volcanic carbonatites, Angola, Fluorine, REE, Niobium, Tantalum, Pyrochlore, Cuspidine

resumen SEM/SEA 2012

\* corresponding author: mcampeny@ub.edu

zonada, flogopita altamente pleocroica y, de forma puntual, granos alotriomorfos y fracturados de olivino alterados a minerales del grupo de la serpentina.

## QUÍMICA MINERAL

### Calcita

La calcita de origen primario tiene una composición convencional, si bien cabe destacar altos contenidos de Sr, entre 1,21 y 1,8 % en peso de SrO. En la calcita esparítica secundaria estos porcentajes descienden hasta valores por debajo del límite de detección.

### Apatito

El apatito es abundante en ambos tipos de lavas. Sus cristales presentan zonación concéntrica, especialmente en las calciocarbonatitas, caracterizada por dos zonas. La del borde se encuentra enriquecida en REE, con contenidos de  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3$  comprendidos entre 0,62 y 1,06 % en peso, mientras que en el centro de los cristales el contenido desciende desde valores inferiores al límite de detección hasta un máximo de 0,52 % en peso. Por el contrario, los contenidos de F presentan un comportamiento inverso y son inferiores en el borde de los cristales, con valores de entre 0,73 y 1,69 % en peso hasta 1,12-2,29 % en las zonas centrales. El silicio se comporta como las tierras raras y su contenido desciende desde los bordes de grano con valores que van de 1,33 a 3,52 % en peso de  $\text{SiO}_2$  hasta 0,13-0,93 % en peso en los centros.

### Perovskita

La perovskita es un mineral que en Catanda se ha encontrado sólo en las lavas silicocarbonatíticas. Muchos de los granos se encuentran zonados, mostrando enriquecimientos en Nb y REE en la zona externa de los cristales.

### Pirocloro

Los minerales del grupo del pirocloro aparecen tanto en las lavas como en los materiales piroclásticos. Se presentan en cristales de tendencia idiomórfica {111} si bien pueden presentar corrosión. Se reconoce una zonación concéntrica, distinguiéndose un enriquecimiento generalizado en Nb, Ta y REE hacia la parte externa de los cristales. Estas zonas son pobres en F. Los contenidos de Zr + Ta en los bordes

pueden llegar a 0,3 apfu, siendo los más elevados que se han descrito hasta ahora en el conjunto de las carbonatitas de Angola (Bambi et al., 2012).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir del estudio textural de las diferentes fases de silicatos de Ca que aparecen en las silicocarbonatitas, se ha determinado que las fases ricas en flúor como la cuspidina  $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{F},\text{OH})_2$ , se formaron durante los primeros estadios de cristalización. Más tarde, fueron formándose fases más empobrecidas en flúor como la britolita  $\text{Ca}_2(\text{Ce},\text{Ca})_3(\text{SiO}_4,\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$  y finalmente durante los estadios tardíos los silicatos carentes en este elemento como la spurrita  $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{CO}_3)$  (Fig. 2). Esta secuencia de cristalización indica un descenso en la actividad del flúor desde los primeros estadios de cristalización hasta los más avanzados.

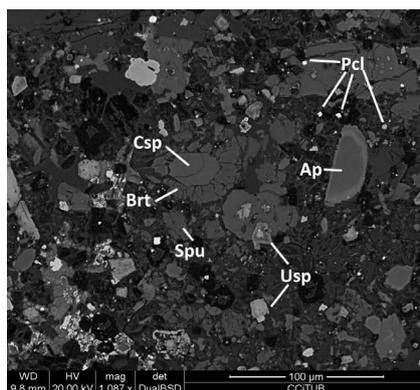


Fig. 2. Imagen de microscopio electrónico donde se aprecian las relaciones texturales entre los silicatos de las lavas silicocarbonatíticas. (Ap: apatito, Brt: britolita, Csp: cuspidina, Spu: spurrita, Usp: ulvöspinel, Pcl: pirocloro).

Por otro lado, la mayor parte de los fenocristales presentan marcadas zonaciones, caracterizadas por un enriquecimiento en Nb, Ta y/o REE en la zona más externa de los granos. Esta tendencia se aprecia perfectamente en fases como el apatito, la perovskita o el pirocloro.

Teniendo en cuenta las características texturales y composicionales, se interpreta que, durante los primeros estadios de cristalización del magma carbonatítico, la actividad del flúor era elevada, dando lugar a la formación de minerales ricos en flúor, como la cuspidina. Bajo estas condiciones tanto los HFSE como los REE no precipitarían, concentrándose en fundidos residuales. Este hecho explicaría el empobrecimiento generalizado en Nb,

Ta y REE que se aprecia en las primeras etapas de cristalización de los fenocristales de perovskita, pirocloro y apatito respectivamente.

La cristalización extensiva de los silicatos con flúor (cuspidina y posteriormente britolita), más los posibles procesos de desgasificación relacionados con la actividad volcánica, habrían provocado un acusado descenso de la actividad del flúor en el medio, lo que se traduciría en la cristalización de silicatos carentes de flúor como la spurrita y en la precipitación de los HFSE y las REE. Este último proceso habría permitido la formación de fases enriquecidas en Nb, Ta y REE produciendo la formación de las zonaciones descritas en los fenocristales de apatito, perovskita o pirocloro.

La actividad del silicio en las lavas silicocarbonatíticas debió mantenerse inicialmente prácticamente constante, lo que permitió la continua formación de las fases silicatadas que se observan durante los diferentes estadios de cristalización (cuspidina, britolita, spurrita). En los estadios más avanzados, el descenso de la actividad del flúor se realizaría en paralelo a un aumento de la actividad del silicio, lo que explicaría el aumento del contenido de  $\text{SiO}_2$  en las últimas etapas de formación del apatito.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Xavier Llovet de los CCT de la Universitat de Barcelona su apoyo en la realización de análisis de microsonda electrónica, así como a José Fortuna y Felipe Correia su ayuda en la realización del trabajo de campo. Este trabajo está apoyado por el proyecto SGR 444 de la Generalitat de Catalunya y el CGL2009-13758 del MICCIN.

## REFERENCIAS

- Bambi, A.C.J.M., Costanzo, A., Gonçalves, A.O., Melgarejo Draper, J.C. (2012): Tracing chemical evolution of primary pyrochlore from plutonic to volcanic carbonatites: The role of F. *Mineralogical Magazine* **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. *Journal of Geochemical Exploration*, **40**, 205-26.
- Silva, M.V.S., Pereira, E. (1973): Estrutura Vulcânica-Carbonatítica da Catanda (Angola). *Boletim dos Serviços de Geologia e Minas de Angola*, **24**, 5-14.