

Minerales de tierras raras en las carbonatitas del Complejo Basal de Fuerteventura (Islas Canarias)

Rare earth minerals in carbonatites at the Fuerteventura Basal Complex (Canary Islands)

J. Mangas Viñuela (*), F. J. Pérez Torrado (*), A. Martín Izard (**) & R. M. Reguilón Bragado (***).

(*) Departamento de Física-Geología. Universidad de Las Palmas de G.C.. Campus de Tafira. Apdo. 550. 35080 Las Palmas de G.C.

(**) Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. 33005 Oviedo.

(***) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca.

ABSTRACT

The Fuerteventura carbonatites appear in the Complejo Basal as veins, breccias and shear bands in the coastline between Puerto de la Peña and Cueva de Lobos, and in the Esquinzo ravine zone. These carbonatites are formed by calcite mainly and apatite, aegirine-augite, albite, orthoclase-sanidine, biotite, epidote and ore minerals occur in lower amounts, and as accessory minerals titanite, zircon, garnet, celestite, barite, britholite, allanite, pyrochlore and monazite. Geochemical analysis of these carbonatites show high values of REE between 511 and 7,372 ppm, with high relation LREE/HREE. Microprobe studies show that these elements mainly are associated with phosphates (britholite, monazite and apatite), silicates (allanite and titanite), oxides (pyrochlore), carbonates (bastnäesite) and sulphates (barite). The carbonatites have been generated in the last magmatic-hydrothermal crystallization phases of the alkaline intrusive complexes of Fuerteventura.

Key words: carbonatites, Fuerteventura, rare earth elements, britholite, allanite, pyrochlore, monazite, bastnäesite.

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1511-1513

ISSN: 0213683X

Geología regional

Dos grandes unidades geológicas se han definido en Fuerteventura (Fuster *et al.*, 1968): el Complejo Basal (CB) está formado por rocas plutónicas, volcánicas y sedimentarias submarinas, y el grupo de rocas volcánicas subaéreas, más tardías. En el CB se han descrito sedimentos pelágicos del Cretácico Superior hasta el Oligoceno en conformidad con hialoclastitas y lavas submarinas basálticas alcalinas. Esta secuencia volcánica-sedimentaria inferior fue intruida por plutones ultramáficos, gabros tholeiíticos-álcalinos, sienitas y un complejo ijolítico-sienítico-carbonatítico (≈ 60 m.a., Le Bas *et al.*, 1986), el cual aflora en la costa centro-oeste de Fuerteventura y que denominaremos complejo Puerto de la Peña-Cueva de Lobos (PP-CL). Estas rocas están atravesadas por abundantes diques de dirección NNE-SSW y plutones subvolcánicos de composiciones variadas y con edades comprendidas entre 48 y 12 m.a.. En este último episodio intrusivo destaca un segundo complejo ijolítico-sienítico-carbonatítico (≈ 25 m.a., Le Bas *et al.*,

1986) que aparece en el noroeste de la isla (complejo de Esquinzo, E), y que es atravesado a su vez por una red de diques y plutones posteriores. Por lo que se refiere a la actividad volcánica subaérea, esta se centró en el Mioceno con características eruptivas fisurales y en el Plioceno-Cuaternario con un carácter estromboliano.

Minerales de tierras raras

Las carbonatitas aparecen junto con las rocas intrusivas de composición ultramáfica a sálica de los complejos y afloran en forma de: diques y venas irregulares de centímetros a metros de espesor como las que aparecen en el litoral comprendido entre Punta de Nao y Caleta Mansa (PP-CL); brechas métricas con fragmentos angulosos heterogéneos como las del Barranco de los Encantados (E); y bandas de cizalla dúctil caracterizadas por espectaculares texturas de flujo, potencias entre 25 y 50 m., dirección N20-50E, buzamientos hacia el noroeste o subverticales, como las que existen entre Caleta de la Cruz y Punta del Peñón Blanco (PP-CL).

Análisis químicos de elementos ma-

yores y menores llevados a cabo en muestras representativas de carbonatitas de ambos complejos, permiten definir las en su mayor parte como calciocarbonatitas (Mangas *et al.*, 1994). Estos análisis señalaban generalmente concentraciones notables de Sr, Ba y TR ligeras (Ce, La y Nd), y en menor proporción Nb, Zr, Y y V. Las concentraciones de Σ TR máximos y mínimos medidos en las carbonatitas del complejo de E oscilaban entre 511 y 4.974 ppm y en el complejo PP-CL entre 697 y 7.372 ppm, con valores positivos en la relación TR ligeras/TR pesadas y la concentración de $Ce \geq La \geq Nd$.

Con el objeto de conocer los minerales portadores de TR de estas carbonatitas analizadas, se ha llevado a cabo un estudio de mineralogía óptica y de microsonda electrónica (Camebax SX 50 en las universidades de Oviedo y París VI). Las carbonatitas están compuestas esencialmente de calcita (>70%) que es heterogranular (sövitas-alwikitas) de color blanco o con tinciones pardo-rojizas y con contenidos altos en SrO (<13%) y bajos en TR (<0,6%). Como minerales subordinados y accesorios íntimamente

cristalizados aparecen apatito, augita-egirina, albita (Ab 97-98%, An 0,7-2%, Or 0,7-2%), ortoclasa-sanidina (Or 88-94%, Ab 3-10%, An 1-3%), biotita, opacos, epidota, titanita, circón, granate (Grs 68-75%, Alm 22-26%, Sps 3-6% y Prp 0,1-1%), celestina, barita, britholita, allanita, pirocloro y monacita; y como secundarios sericita y clorita. Los minerales opacos principales son magnetita, ilmenita y pirita, en menor proporción se encuentran hematites, calcopirita, pirrotina y esfalerita, y como secundarios hematites, goethita, calcosina y covelina. Así pues, los minerales específicos de TR en estas carbonatitas son por orden de abundancia britholita, allanita, pirocloro y monacita, los cuales presentan contenidos en TR₂O₃ ligeras entre el 4 y 68% (Tabla 1). También hay que señalar que otros minerales de la paragénesis llevan trazas de TR₂O₃ ligeras, como por ejemplo: barita (3-5%), apatito (0,2-4%) y titanita (<1,6%). A continuación se describen las características de los minerales de TR.

La gran afinidad de las TR por PO₄³⁻ viene confirmada por la presencia de fosfatos como britholita y monacita. La **britholita** es una especie isoestructural del apatito y se forma por sustituciones acopladas de Ca²⁺ + P⁵⁺ por TR³⁺ + Si⁴⁺, ocupando las TR el lugar del Ca. Este es un mineral poco común en carbonatitas, habiéndose estudiado en Pilangshber (Sudáfrica) y una variedad rica en Th aparece en Oka (Canadá). En Fuerteventura, este mineral se ha encontrado en las carbonatitas de Punta del Peñón Blanco (**PP-CL**) y del Barranco de Agua Salada (**E**), siendo la primera vez que se cita en España. Esta britholita aparece como cristales individuales de tamaños entre 0,02 y 0,5 mm, en mosaicos policristalinos o en bandas con otros minerales de la paragénesis. Tiene aspecto similar al apatito con: morfología exagonal, prismática o globular; incoloro o amarillo pálido; relieve moderado; birrefringencia gris de primer orden; superficies nítidas o con escasas fracturas; y sin exfoliación. Desde el punto de vista químico hay una variación importante en los análisis efectuados con relación a la proporción de TR-Ca y Si-P, pero se comprueba en la Tabla 1 que estas diferencias corresponden a sustituciones iónicas perfectamente acopladas. La concentración de TR ligeras oscila de 4,5 a 60% (sin llegar nunca a la teórica de 62%) y siempre la proporción de Ce>La>Nd>Sm. Aunque se han citado en la bibliografía britholitas donde el contenido en Ce₂O₃ llega al 22,5 %, algunas de las analizadas en Fuerteventura alcanzan el 28%. El contenido de SrO varía de 1,1 a 4,3% y este elemento está en la posición del Ca, de tal ma-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	% peso											
SiO ₂	2.21	6.83	16.08	21.37	0.53	0.21	34.73	32.21	35.67	27.80	0.44	0.00
TiO ₂	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.02	0.02	0.06	0.01	0.19	9.75	10.49
Al ₂ O ₃	0.01	0.00	0.01	0.00	0.07	0.04	27.19	16.56	21.19	11.95	0.06	0.09
FeO	0.00	0.05	0.03	0.00	0.11	0.07	2.33	10.32	12.15	14.61	0.89	0.96
MnO	0.14	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1.14	1.49
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	1.10	0.42	0.38	0.10	0.00
CaO	47.73	39.28	21.90	11.86	3.21	0.14	17.00	11.85	17.87	9.15	14.73	13.49
Na ₂ O	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.07	0.01	0.01	0.10	3.50	3.50
K ₂ O	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.01	0.00	0.02	0.00	n.a.	n.a.
P ₂ O ₅	38.36	29.83	10.88	0.84	30.17	29.77	0.07	0.06	0.00	3.18	0.03	0.03
SO ₃	0.20	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00
SrO	3.43	3.11	2.74	1.32	1.01	0.00	2.91	1.19	3.76	0.62	0.60	0.44
BaO	0.03	0.01	0.08	0.00	0.07	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00
Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	45.34	43.43
ZrO ₂	0.03	0.03	n.a.	n.a.	0.10	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.36	0.34
ThO ₂	0.00	0.04	n.a.	n.a.	18.01	0.23	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.59	0.54
Y ₂ O ₃	0.00	0.70	n.a.	n.a.	0.38	0.07	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.06
Ce ₂ O ₃	2.56	8.16	20.77	28.11	20.18	32.09	4.97	11.43	2.44	13.79	8.38	10.10
La ₂ O ₃	1.22	4.11	14.17	21.50	10.79	22.72	3.83	7.21	1.39	11.34	1.99	2.43
Nd ₂ O ₃	1.24	4.55	7.93	9.85	12.13	12.42	0.54	1.72	0.93	3.00	3.04	3.84
Sm ₂ O ₃	0.11	0.55	0.68	0.58	1.34	0.65	0.00	0.00	0.00	0.06	0.30	0.40
Total	97.27	97.41	95.38	95.45	98.11	98.46	93.73	93.72	95.86	96.17	91.24	91.24
	fórmula estructural											
Si	0.41	1.36	4.01	6.11	n.s.	n.s.	3.16	3.32	3.30	3.16	n.s.	n.s.
Ti	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.65
Al	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	2.91	2.01	2.31	1.60	n.s.	n.s.
Fe	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.18	0.89	0.94	1.39	0.06	0.07
Mn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.00	0.00	0.08	0.10
Mg	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.01	0.00
Ca	9.39	8.37	5.86	3.64	0.87	0.04	1.66	1.31	1.77	1.12	1.31	1.19
Na	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.01	0.00	0.00	0.00	0.56	0.56
P	5.96	5.02	2.30	0.21	6.44	6.31	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Sr	0.37	0.36	0.40	0.22	0.15	0.00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.03	0.02
Ba	0.00	0.00	0.01	0.00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Nb	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1.94	1.98
Th	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1.04	0.02	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.01	0.01
Y	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.01	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ce	0.17	0.59	1.90	2.94	1.86	2.94	0.17	0.43	0.08	0.57	0.26	0.30
La	0.08	0.30	1.31	2.27	1.00	2.10	0.13	0.27	0.04	0.48	0.06	0.07
Nd	0.08	0.32	0.71	1.01	1.63	1.66	0.02	0.06	0.03	0.12	0.06	0.12
Sm	0.01	0.04	0.06	0.06	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Total	16.47	16.43	16.56	16.46	13.14	13.14	8.24	8.29	8.47	8.44	5.08	4.95
O	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	13.00	13.00	13.00	13.00	6.50	6.50

Tabla 1. Análisis de microsonda electrónica de minerales de TR presentes en las carbonatitas de Fuerteventura. 1 a 4: Britholitas de Punta del Peñón Blanco; 5 y 6: Monacitas de Punta del Peñón Blanco y Caleta de la Cruz, respectivamente; 7 a 10: Allanitas (7-8 Punta Nao y 9-10 Barranco de los Encantados); 11 y 12: Pirocloros de Punta del Peñón Blanco. n.a.: elemento no analizado. n.s.: elemento no seleccionado para la fórmula estructural. O: número de oxígenos utilizados para calcular el número de cationes de la fórmula estructural.

Table 1.- Microprobe analysis of rare earth minerals in the carbonatites of Fuerteventura. 1-4: Britolites of Punta del Peñón Blanco; 5-6: Monazites of Punta del Peñón Blanco and Caleta de la Cruz, respectively; 7-10: Aclonites (7 and 8 of Punta de Nao and, 9 and 10 of Barranco de Esquinzo); 11-12: Pyrochlores of Punta del Peñón Blanco. n.a.: not available. n.s.: element non selected for structural formulae. O: number of oxygens used to calculate the structural formulae.

nera que las britholitas que presentan más TR tienen menos Sr. La proporción de MnO es reducida y varía de 0,04 a 0,1% con una relación Sr/Mn comprendida entre 26 y 108. El contenido en SO₃ suele ser bajo y alrededor de 0,05%, pero en algunas se han medido valores de hasta 2,7%. La concentración de ThO₂ siempre es inferior a 0,07%, la de Y₂O₃ oscila entre 0,036 y

1,3%, y la de Yb₂O₃ inferior a 0,2%. Por último, hay que indicar que se han analizado britholitas con bajas concentraciones en P, Si y Ca, y en algunos cristales estos elementos han desaparecido por completo sustituyéndose por carbonato y formando un fluorcarbonato de TR que es la **bastnäesita**. Las bastnäesitas son raras y aparecen como cristales amarillentos de 0,05-0,1 mm

de hábito exagonal, relieve superior a la calcita y concentraciones en TR entre 58,5 y 60%.

La **monacita** es escasa y se presenta en cristales individuales incoloros, con relieve muy alto, tamaños entre 0,05 y 0,1 mm y formas de euhedral a anhedral. Se han encontrado monacitas en las carbonatitas de Punta del Peñón Blanco, Caleta de la Cruz y Punta Nao (**PP-CL**). Como era de esperar, las monacitas estudiadas presentan concentraciones altas en TR_2O_3 ligeras, entre el 44 y el 68%, y valores Ce/La entre 1,1 y 1,9, siendo la concentración máxima teórica de este mineral del 69,73% y la relación normal Ce/La de 1. El Th suele estar presente en monacitas sustituyendo a las TR y puede alcanzar el 20% en ThO_2 ; señalando que las de Fuerteventura tienen concentraciones que varían entre 0,2 y 18 % en ThO_2 . Monacitas magmático-hidrotermales se han descrito en las carbonatitas de Kangankunde Hill (Malawi) y en Bayan Obo (Mongolia).

La **allanita**, epidota rica en TR, se ha estudiado en las carbonatitas de Punta Viento y Punta Nao (**PP-CL**), y en los Barrancos de Agua Salada y Encantados (**E**). Ésta se presenta como cristales idiomorfos (prismáticos) o alotriomorfos con tamaños comprendidos entre 0,05 a 0,3 mm. Estas monacitas son incoloras o ligeramente amarillentas, y algunas muestran zonación de color y relieve, siendo más marcados de centro a borde del cristal. Estas zonas centrales tienen características metamórficas y los análisis indican una presencia notable de TR. Las proporciones de TR en estos análisis varían entre 4,5 y 28% siendo el valor del $\text{Ce} > \text{La} > \text{Nd} > \text{Sm}$. Estos datos máximos de TR en las allanitas son raros, aunque se han descrito parecidos en allanitas de la carbonatita de Mountain Pass (California, USA). La zonación geoquímica de centro a borde de algunos cristales de allanita se caracteriza por disminuciones de TR_2O_3 , FeO y MgO e incrementos de CaO, Al_2O_3 , SiO_2 y SrO. Por consiguiente, es

probable que se hayan producido sustituciones acopladas de TR y Fe por Al y Ca.

El **pirocloro**, óxido de TR, se ha encontrado en las carbonatitas de Punta del Peñón Blanco y Caleta de la Cruz (**PP-CL**). Estos pirocloros son idiomorfos (secciones cuadradas y triangulares) o alotriomorfos (redondeadas o irregulares) y se encuentran distribuidos al azar o en bandas. Los tamaños de los cristales varían de 0,03 a 0,2 mm y son de color rojo vivo a rojo oscuro, sin pleocroismo y su birrefringencia queda enmascarada por el color natural. Los análisis muestran valores de Nb_2O_3 entre 43,5 y 46,5% y siempre cumplen la relación $\text{Nb} + \text{Ta} > 2 \text{Ti}$. Con referencia a las TR_2O_3 ligeras analizadas, estas varían de 3 a 16,5%, siendo el Ce el más abundante (pero no suficiente para definir al mineral como Ce-pirocloro) y la proporción de Nd es siempre mayor que la de La con una relación entre 1,5 y 1,7. La concentración de Na_2O oscila entre 2,5 y 4,5%, la de ThO_2 entre 0,6 y 0,8%, la de ZrO_2 entre 0,2 y 0,4%, y la de SrO entre 0,4 y 0,6%. No se observan sustituciones importantes de Ti por Nb, ni TR, Th, Ba, Sr por Na y Ca. Pirocloros magmático-hidrotermales se han citado en las carbonatitas de Araxá (Brasil) y Panda Hill (Tanzania).

Las características de afloramiento, mineralógicas, petrológicas y geoquímicas de las rocas que constituyen los complejos alcalinos de Fuerteventura muestran que éstas están relacionadas especial y genéticamente. Así, los materiales ultramáficos y máficos de los complejos representan fracciones magmáticas más tempranas y son intruidas por los cuerpos sálicos más diferenciados que producen localmente un metasomatismo alcalino. Las carbonatitas son las manifestaciones más tardías, cortando a las rocas anteriores en forma de diques, brechas o bandas de cizalla. Las carbonatitas que son las fases petrológicas más evolucionadas de los complejos, representan magmas carbonatíticos residuales origi-

nados por cristalización fraccionada o inmiscibilidad, y donde se concentran elementos incompatibles como las TR. Estos magmas son fundidos de baja viscosidad saturados en volátiles (C, P, S, H_2O , entre otros) que transportan algunos minerales ya formados con anterioridad (augita-egirina, feldespatos Na-K, magnetita, entre otros). Estos fundidos y fluidos se han emplazado en zonas corticales variando sus condiciones físico-químicas desde tardimagmáticas a hidrotermales (inclusiones fluidas en calcita y apatito de la carbonatitas de Punta del Peñón Blanco y Punta Viento contienen soluciones acuosas débilmente salinas --Tm ice -0,1/-0,9°C: <1.6% p. eq. NaCl-- y temperaturas de homogenización en líquido entre 330 y 390°C). En la zona de depósito tiene lugar la cristalización progresiva de una paragénesis heterogénea (donde también son posibles procesos como autometasomatismo y recristalización), con minerales esencialmente carbonatados junto con silicatos, fosfatos, óxidos, sulfuros y sulfatos, además de los minerales precoces. Lógicamente, en las carbonatitas situadas en las bandas de cizalla hay que añadir fenómenos de deformación plástica con procesos de removilización recristalización y neoformación.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto DGICYT (PB 93-1219).

Referencias

- Fúster, J.M., Cendrero, A., Gastesi, P., Ibarrola, E., Lopez Ruiz, J. (1968): Instituto Lucas Mellada (C.S.I.C.) Madrid, 239p.
 Le Bas, M.J., Rex, D.C., Stillman, C.J. (1986): *Geol. Magaz.* 123 (3), 287-298.
 Mangas, J., Pérez-Tórrado, F.J., Reguilón, R., Martín-Izard, A. (1994): *Public. Espec. Instituto Español de Oceanografía*, 18, 71-80.