

# Relaciones de campo y geoquímica de las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada, NW de Fuerteventura, Islas Canarias

*Field relationships and geochemistry of the Esquinzo-Agua Salada carbonatites, NW Fuerteventura, Canary Islands*

C. de Ignacio <sup>(1)</sup>, M. Muñoz <sup>(2)</sup> y J. Sagredo <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento Biología y Geología, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid. cristina.deignacio@urjc.es

<sup>(2)</sup> Departamento Petrología y Geología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid. fuertm@geo.ucm.es

<sup>(3)</sup> Instituto de Geología Económica, CSIC, Universidad Complutense, 28040, Madrid. sagredo@geo.ucm.es

## ABSTRACT

*Carbonatites are rather uncommon rocks, the origin of which still stands a subject of debate, especially regarding if they crystallize from primary carbonatitic melts from the mantle, or if they are generated, by some magmatic differentiation process, from an alkaline-silicate parent magma. The Esquinzo-Agua Salada carbonatites are associated, both in space and time, to an ensemble of alkaline silicate lithologies comprising, from ultramafic-mafic (perovskite-clinopyroxenites-ijolitic rocks) to felsic (nepheline-syenites) types. In this work, field relationships between both groups of lithologies as well as the main geochemical characteristics of the carbonatites, which are compared to those of the alkaline silicate rocks, are presented. Both aspects seem to indicate an origin for the carbonatites by liquid immiscibility, from a CO<sub>2</sub>-rich, alkaline silicate parental magma.*

**Key words:** carbonatites, geochemistry, Fuerteventura, immiscibility

*Geogaceta*, 44 (2008), 11-14

ISSN: 0213683X

## Introducción

Las carbonatitas son rocas formadas en más de un 50% en volumen por carbonatos de origen ígneo (Le Maitre, 1989). El origen de estas rocas mantélicas ha sido y continúa siendo objeto de debate, ya que en muchas ocasiones las carbonatitas aparecen asociadas a un conjunto de rocas alcalinas silicatadas, que puede incluir desde litologías félsicas (sienitas nefelínicas, p.e. Khibina, Rusia) hasta litologías ultramáficas-máficas (piroxenitas-ijolitas, p.e. Phalaborwa, Sudáfrica). En los casos en los que existen este tipo de asociaciones alcalino-carbonatíticas se han propuesto tres mecanismos fundamentales de origen para las carbonatitas: 1) fusión directa a partir de un manto metasomatizado; 2) fundidos inmiscibles separados de un magma alcalino silicatado, rico en CO<sub>2</sub>; 3) productos tardíos de la cristalización fraccionada de un magma alcalino silicatado (p.e. Wyllie y Lee, 1998; Veksler *et al.*, 1998, y referencias en ambos).

Las relaciones espacio-temporales entre las carbonatitas y las rocas alcalinas silicatadas, así como sus principales rasgos de geoquímica de roca total e isotópica son, en la mayoría de los casos,

indicativos de uno u otro modelo de origen. En este trabajo, se presenta dicho conjunto de características para las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada. Estas rocas afloran en el sector noroeste de la isla de Fuerteventura, en asociación con rocas alcalinas silicatadas que comprenden, principalmente, clinopiroxenitas con perovskita, rocas ijolíticas-urtíticas y sienitas nefelínicas. Todo este conjunto pertenece al episodio magmático EM1 del Complejo Basal (Muñoz *et al.*, 2003; Muñoz y Sagredo, 2004), cuya edad, en Esquinzo-Agua Salada, ha sido establecida en 25-23 Ma (Cantagrel *et al.*, 1993; Muñoz *et al.*, 2005).

## Relaciones espacio-temporales entre las carbonatitas y las rocas alcalinas silicatadas

En el campo, las carbonatitas constituyen tan solo un pequeño volumen de afloramiento (~5-10%), estando la mayoría de éste constituido por rocas ultramáficas (clinopiroxenitas con perovskita) y máficas (rocas ijolíticas-urtíticas). Las carbonatitas aparecen, con frecuencia, en diques de dirección N-S y poca continuidad, de unos 30-50cm de

ancho y 1-2m de largo. Estos diques son, desde sóvíticos (es decir, formados por carbonatitas de grano grueso) hasta alvikíticos (carbonatitas de grano fino). Los primeros presentan cristales subidiomorfos centimétricos de: carbonato de color gris claro, feldespatos, y con frecuencia biotita. Los diques de alvikita presentan un carbonato de tonalidad morada, así como feldespatos, y ocasionalmente, algo de clinopiroxeno y pequeñas concentraciones de óxidos metálicos. Ambos tipos de diques cortan netamente en el campo a las rocas silicatadas, sin desarrollo de bordes enfriados con las mismas. Los de alvikita, en muchos casos, no muestran unos bordes tan netos como los sóvíticos con respecto a las rocas silicatadas, sino que presentan una morfología algo más lobulada e irregular, como si se hubieran emplazado a favor de huecos y fracturas existentes en la pila de acumulados, ya cristalizada pero aún caliente, de las rocas silicatadas. Estas zonas lobuladas progresan, a veces, hacia masas de carbonatita de orden métrico, con algo de variación en el tamaño de grano y, ocasionalmente, con un hábito muy alargado de sus cristales de carbonato, que recuerda -aunque con menor grado de desarrollo- a las texturas de enfria-

miento rápido típicas de carbonatitas volcánicas, como las descritas en algunas carbonatitas del sector centro-occidental de la isla (Muñoz *et al.*, 2003). Además de en diques y masas métricas, las carbonatitas forman también venas de 1-2cm de ancho y unos 20cm de largo. Estas venas, formadas casi exclusivamente por carbonato, presentan morfología sinusoide, pueden observarse a su vez cortando a todas las litologías silicatadas, y a veces ocupan el centro de venas de morfología similar de sienitas nefelínicas.

En el entorno de las carbonatitas, el material encajante suele aparecer bastante roto. Aunque el emplazamiento de estos magmas, debido su alto contenido en volátiles, suele ir acompañado de brechificación del material encajante, todas las litologías (carbonatíticas y silicatadas) de Esquinzo-Agua Salada, han sido afectadas con posterioridad a su emplazamiento por cizallas frágiles, relacionadas con el colapso de los edificios volcánicos miocenos, de manera que se hace difícil discernir a cuál de ambos procesos (incluso a ambos) correspondería dicho aspecto del encajante. En este sentido, las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada, presentan en general una recristalización de ligera a moderada, en la que siguen reconociéndose texturas de flujo de sus cristales de carbonato, y alineación en dicha dirección de flujo de cristales y fragmentos arrancados de las litologías silicatadas encajantes. La presencia de estos últimos es indicativa de que las carbonatitas se emplazan a alta temperatura.

Otro aspecto típico de los magmas carbonatíticos consiste en su alta reactividad química, que suele traducirse en la presencia de fenitización (metasomatismo alcalino) en sus materiales encajantes. En el contacto entre las carbonatitas y piroxenitas-rocas ijolíticas de Esquinzo-Agua Salada, se desarrollan estrechas zonas de reacción (1-2mm) en las que se observan cristales de piroxeno verdoso, a veces rodeados por bordes de oxidación de color oscuro, en una matriz félsica. En los contactos de carbonatitas con sienitas nefelínicas, las mencionadas zonas están marcadas por la presencia de feldspatos con bordes de reacción y, a veces, morfologías ovoides. A su vez, en las sienitas nefelínicas aparecen, en ocasiones, carbonatos con bordes de reacción, lo que es indicativo de que estas rocas silicatadas son de emplazamiento algo tardío con respecto al resto de litologías silicatadas, y desde ligeramente anterior hasta simultáneo (al menos en parte) al de las carbonatitas.

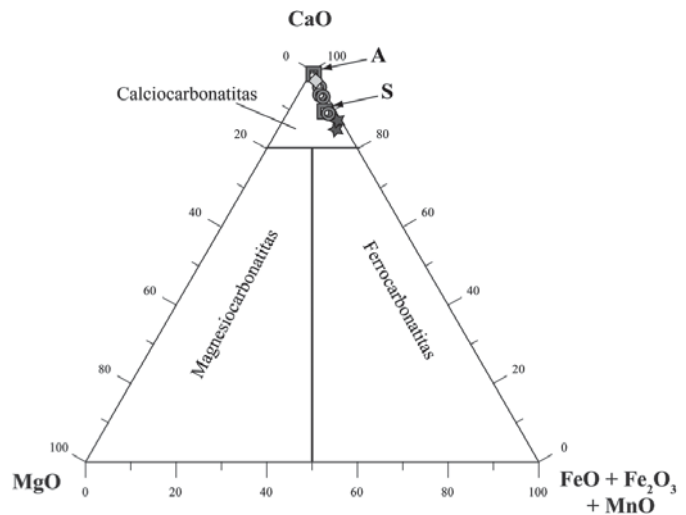


Fig. 1.- Diagrama de clasificación de carbonatitas según Woolley y Kempe (1989). Las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada se proyectan en el campo correspondiente a calciocarbonatitas. Cuadrados = Diques de alvikita (A) y sövita (S); Rombo y círculos = Carbonatitas masivas de grano fino y de grano grueso respectivamente; Estrellas = Silicocarbonatitas.

Fig. 1.- Classification diagram for carbonatites, after Woolley and Kempe (1989). The Esquinzo-Agua Salada samples plot in the field of calciocarbonatites. Symbols: Squares = Alvikitic (A) and sövitic (S) dykes; Diamond and circles = Massive, fine-grained carbonatites and massive, coarse-grained carbonatites, respectively; Stars = Silicocarbonatites.

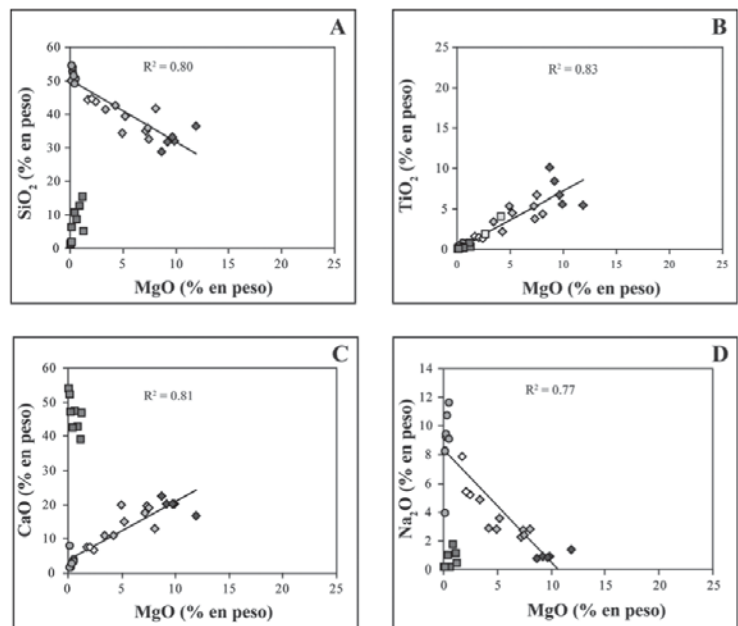


Fig. 2.- Selección de diagramas de elementos mayores para calciocarbonatitas (cuadrados) y rocas alcalinas silicatadas de Esquinzo-Agua Salada. Rombos: gris oscuro = clinopiroxenitas con perovskita; gris claro = rocas ijolíticas; blanco = rocas ijolíticas con feldespato y urtíticas. Círculos = sienitas nefelínicas. Los coeficientes de correlación mostrados corresponden a los ajustes lineales para las rocas alcalinas silicatadas.

Fig. 2.- Selected major element diagrams for calciocarbonatites (squares) and alkaline silicate rocks from Esquinzo-Agua Salada. Diamonds: in dark grey = perovskite clinopyroxenites; in light grey = ijolitic rocks; in white = feldspar-bearing ijolitic, and urtitic rocks. Circles = nepheline-syenites. The correlation coefficients shown belong to the linear fits for the alkaline silicate rocks.

## Geoquímica de roca total

El análisis químico de las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada revela que se trata de calciocarbonatitas (Fig. 1) y, en algunos casos, por su relativamente alto contenido en sílice (20-33%  $\text{SiO}_2$ ), de silicocarbonatitas. Entre ellas, los diques alvikíticos (A) y las carbonatitas masivas de grano fino son más cálcicos, mientras que los diques sövíticos (S) y carbonatitas masivas de grano grueso se proyectan en el diagrama de clasificación de Woolley y Kempe 1989 (Fig.1) más próximos al campo de las ferrocronatitas.

Los datos subsiguientes y la posterior discusión de los mismos se referirán a las calciocarbonatitas. Estas rocas se encuentran constituidas casi exclusivamente por  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$ , y presentan bajos contenidos de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 0.2-2.2\%$  en peso),  $\text{TiO}_2$  y  $\text{MgO}$  (ambos  $\leq 1\%$  en peso).  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y  $\text{P}_2\text{O}_5$  son algo más abundantes y variables (en general de 0-5% en peso), en función de las proporciones modales de apatito, feldespatos y piroxeno-biotita que presenten las carbonatitas. En cuanto a los elementos traza, los más abundantes son, como es típico de carbonatitas (Woolley y Kempe, 1989): Ba, Sr, y, en menor medida, REE. Dos rasgos característicos de las calciocarbonatitas de Esquinzo-Agua Salada son: por una parte, su escasez de Cr y Ni (en concordancia con sus bajos contenidos de  $\text{MgO}$ ), y por otra parte, sus bajos contenidos en general de trazas de tipo HFSE (a su vez, en concordancia con su carencia de  $\text{TiO}_2$ ). Entre estos trazas HFS, tanto Hf y Ta como Zr y Nb son mucho menos abundantes de lo que es frecuente en carbonatitas (Woolley y Kempe, 1989).

La comparación de las composiciones químicas de elementos mayores entre las carbonatitas y las rocas alcalinas silicatadas (Fig. 2) revela algunos aspectos interesantes. Así, en los diagramas tipo Harker para estos elementos, se observa claramente que, mientras todas las litologías silicatadas parecen encontrarse relacionadas entre sí mediante procesos de fraccionamiento, las carbonatitas quedan claramente separadas de ellas, salvo en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total y  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Los diagramas multielemento (*spider*) de las calciocarbonatitas (Fig. 3A), presentan pautas similares, a grandes rasgos, a las de las rocas alcalinas silicatadas máficas y ultramáficas, aunque muy empobrecidas, en los elementos HFS (Nb-Ta, Zr-Hf y Ti), así como

con anomalías complementarias de Sr y Ba (enriquecidos en las carbonatitas). El empobrecimiento en elementos HFS se explica por la acumulación, en las litologías ultramáficas y máficas, de perovskita, que presenta altos coeficientes de reparto para estos elementos, así como para U y Th (también enriquecidos en las rocas ultramáficas-máficas (Fig. 3A). Así, las carbonatitas habrían derivado de un magma resultante del fraccionamiento de fases ricas en HFSE, que queda por tanto empobrecido en dichos elementos. Con respecto a las REE, es de destacar el que las pautas de las carbonatitas cortan a las de las rocas alcalinas silicatadas en las tierras raras pesadas. Este hecho, también patente en los espectros de REE para ambos con-

juntos litológicos (diagrama no mostrado), es de gran importancia en la interpretación genética, como se verá en el apartado de discusión. En la figura 3B, se observa, además, cómo las carbonatitas presentan una serie de anomalías complementarias con las sienitas nefelínicas en: 1) Rb, K y Zr-Hf (empobrecidos en las carbonatitas y enriquecidos en las sienitas nefelínicas), y 2) REE, enriquecidas en las carbonatitas y empobrecidas en las sienitas nefelínicas).

## Discusión y conclusiones

La composición química de elementos mayores en las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada indica que estas

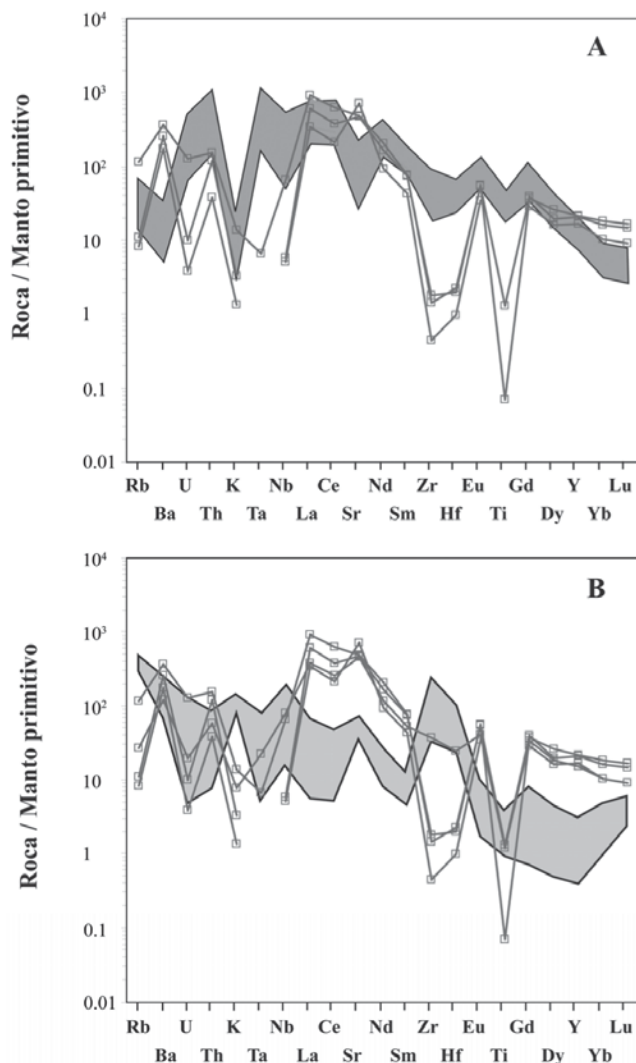


Fig. 3.- Diagramas multielemento (*spider*) para las calciocarbonatitas (cuadrados) y rocas alcalinas silicatadas de Esquinzo-Agua Salada (áreas sombreadas): Arriba = Rocas ultramáficas y máficas; Abajo = Sienitas nefelínicas.

Fig. 3.- Multielemental (*spider*) diagrams for calciocarbonatites (squares) and alkaline silicate rocks of Esquinzo-Agua Salada (shaded areas): Top = Ultramafic and mafic rocks; Bottom = Nepheline-syenites.

rocas constituyen, básicamente, acumulados de calcita. Si tenemos en cuenta, además, que presentan: 1) escasas concentraciones de Cr (<10 ppm) y Ni (<2 ppm), unidos a bajos contenidos de MgO  $\leq$  1% en peso) bajos contenidos de álcalis, todo ello parece indicar que no provienen de la cristalización directa de un magma carbonatítico primitivo, ya que éste sería rico en los mencionados elementos (Wyllie y Lee, 1998). Parece, por tanto, que las calciocarbonatitas de Esquinzo-Agua Salada se encuentran asociadas, en origen, a un magma alcalino silicatado rico en CO<sub>2</sub>. Por otra parte, el hecho de que las calciocarbonatitas se separen nítidamente de las tendencias de evolución geoquímica que ligan a las rocas alcalinas silicatadas (Fig. 2) resulta claramente incompatible con el hecho de que sean el producto final de cristalización fraccionada simple de un magma alcalino silicatado.

Por tanto, el origen más probable de estas rocas correspondería a su desmezcla (inmiscibilidad) a partir de un magma parental alcalino silicatado rico en CO<sub>2</sub>. En este sentido, las anomalías complementarias observadas en los diagramas de tipo *spider* entre sienitas nefelínicas y carbonatitas (Fig. 3B) se explican bien mediante un proceso de inmiscibilidad, en el que elementos como Zr-Hf y Rb-K presentan una mayor afinidad por el líquido silicatado (Veksler *et al.*, 1998), -y por tanto se concentran en la fracción que da lugar a las sienitas nefelínicas-, mientras que las REE, que en un proceso de inmiscibilidad muestran preferencia por la fracción carbonatítica (Veksler *et al.*, 1998) quedan enriquecidas en las calciocarbonatitas. De igual manera quedan explicadas las anomalías complementarias de Ba y Sr entre las rocas

ultramáficas-máficas y las carbonatitas, ya que dichos elementos presentan afinidad por el magma carbonatítico durante un proceso de inmiscibilidad (Veksler *et al.*, 1998). Además, relaciones de corte en las tierras raras pesadas como las descritas para las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada, se interpretan en otros complejos alcalino-carbonatíticos como debidas a inmiscibilidad (Stoppa *et al.*, 2005).

La distribución de elementos HFS entre las rocas ultramáficas-máficas y las carbonatitas, indica una fuerte influencia del fraccionamiento temprano de fases minerales ricas en dichos elementos sobre la química del magma a partir del cual se forma la fracción carbonatítica. Por tanto, el proceso de inmiscibilidad se habría producido tras la cristalización de las litologías ultramáficas-máficas. Esto es coherente con las relaciones de campo, en las que las carbonatitas intruyen, a alta temperatura y baja presión, en la pila de acumulados ultramáficos y máficos, ya cristalizada.

Finalmente, las relaciones isotópicas iniciales de Sr, Nd y Pb de las carbonatitas solapan con las correspondientes a las rocas alcalinas silicatadas, dentro además, de un intervalo de variación muy restringido para ambos conjuntos litológicos, en los tres sistemas radiogénicos (de Ignacio *et al.*, 2006), lo que es compatible con una génesis de las calciocarbonatitas mediante inmiscibilidad líquida. Por todo lo anterior se concluye que: 1) las carbonatitas de Esquinzo-Agua Salada no constituyen los productos de cristalización directa de un magma carbonatítico primitivo; 2) su génesis se encuentra ligada a la de un magma parental alcalino silicatado rico en CO<sub>2</sub>

y 3) dicha génesis se explica mediante un proceso de inmiscibilidad a partir de dicho parental silicatado.

### Agradecimientos

El presente trabajo se ha financiado mediante los proyectos de investigación: CCG07- UCM/AMB-2431 y CGL 2006-034141 BTE.

### Referencias

- Cantagrel, J.M., Fúster, J.M., Pin, C., Renaud, U. e Ibarrola, E. (1993): *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris*, 316, 1147-1153.
- de Ignacio, C., Muñoz, M., Sagredo, J., Fernández-Santín, S. y Johansson, Å. (2006). *Chemical Geology*, 232; 99-113.
- Le Maitre, R.W. (1989). Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193 p.
- Muñoz, M. y Sagredo, J. (2004). *Geología de España* (J.A. Vera, Ed). SGE-IGME, Madrid, 645-649.
- Muñoz M., de Ignacio, C. y Sagredo, J. (2003). *Fieldtrip guide: Fuerteventura*. IV EuroCarb Workshop, Canary Islands, Spain, 83 p.
- Muñoz, M., Sagredo, J., de Ignacio, C., Fernández-Suárez, J. y Jeffries, T.E. (2005). *Lithos*, 85; 140-153.
- Stoppa, F., Rosatelli, G., Wall, F. y Jeffries, T. (2005). *Lithos*, 85; 26-47.
- Veksler, I.V., Petibon, C., Jenner, G.A., Dorfman, A.M. y Dingwell, D.B. (1998). *Journal of Petrology*, 39; 2095-2104.
- Woolley, A.R. y Kempe, D.R.C. (1989): *Carbonatites: Genesis and Evolution* (K. Bell, Ed.). Unwin-Hyman, Londres, 1-14.
- Wyllie, P.J. y Lee, W.J. (1998). *Journal of Petrology*, 39; 1885-1893.