

# Las rocas ultramáficas de la asociación alcalino-carbonatítica del plutón de Montaña Blanca-Milocho, NW Fuerteventura, Islas Canarias. Caracterización e implicaciones genéticas

*The ultramafic rocks of the alkaline-carbonatitic association of the Montaña Blanca-Milocho plutón, NW Fuerteventura, Canary Islands. Characterization and genetic implications*

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

<sup>(1)</sup>Departamento de Petrología y Geoquímica; Fac. C.C. Geológicas; Universidad Complutense; 28040 Madrid.

<sup>(2)</sup>Instituto de Geología Económica, CSIC, Fac. CC. Geológicas; Universidad Complutense; 28040 Madrid.

## ABSTRACT

*This work describes the field relationships, petrography, mineralogy and geochemistry of ultramafic rocks (clinopyroxenites) belonging to the alkaline-carbonatitic association that occurs in the periphery of the Montaña Blanca-Milocho pluton, NW Fuerteventura, Canary Islands. It provides evidence on the genetic connection between these ultramafic silicate rocks and the carbonatites in the area, as well as some preliminary indications concerning the nature and characteristics of the parental magmas from which this association could be derived.*

**Key words:** Clinopyroxenites, carbonatites, alkaline-carbonatitic association, Fuerteventura

Geogaceta, 32 (2002), 59-62  
ISSN:0213683X

## Introducción

El plutón de Montaña Blanca-Milocho, que constituye el afloramiento más septentrional de materiales del Complejo Basal en la isla de Fuerteventura, presenta una asociación de tipo alcalino-carbonatítico en su periferia. Aunque este cuerpo intrusivo presenta menor extensión y peor accesibilidad que otros afloramientos más meridionales, la ausencia de deformación en sus rocas lo hace especialmente apropiado para el estudio de las relaciones de campo entre los distintos tipos de rocas que lo constituyen, incluso a pesar de la presencia de importantes recubrimientos cuaternarios. En este trabajo se presenta un estudio petrográfico, mineralógico y geoquímico de las rocas ultramáficas de esta asociación alcalino-carbonatítica periférica, se discuten las relaciones entre estas rocas y los tipos carbonatíticos y se deducen algunas de las características del magma parental que daría origen a esta asociación.

## Contexto geológico

El cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Milocho está formado por rocas plutónicas y filonianas de asociación

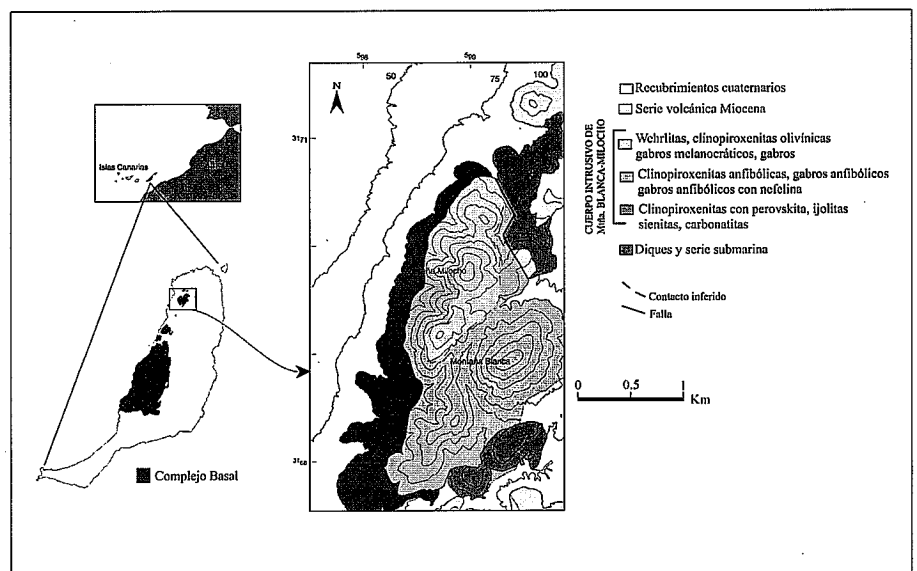


Fig. 1.- Situación y mapa esquemático del cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Milocho.

Fig. 1.- Location and schematic map of the Montaña Blanca-Milocho intrusive body.

alcalina y alcalino-carbonatítica. Estas rocas son intrusivas en un denso enjambre de diques (80-100% de afloramiento) que, en consecuencia, se encuentra muy fracturado y caóticamente dispuesto. La roca caja de este enjambre, donde llega a apreciarse, está constituida por una bre-

cha verdosa con morfologías que recuerdan a *pillows* y que por tanto se adscribe a la denominada serie volcánica submarina.

El cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Milocho está constituido fundamentalmente por rocas máficas y ultramáficas alcalinas, con pequeños volúmenes de ro-

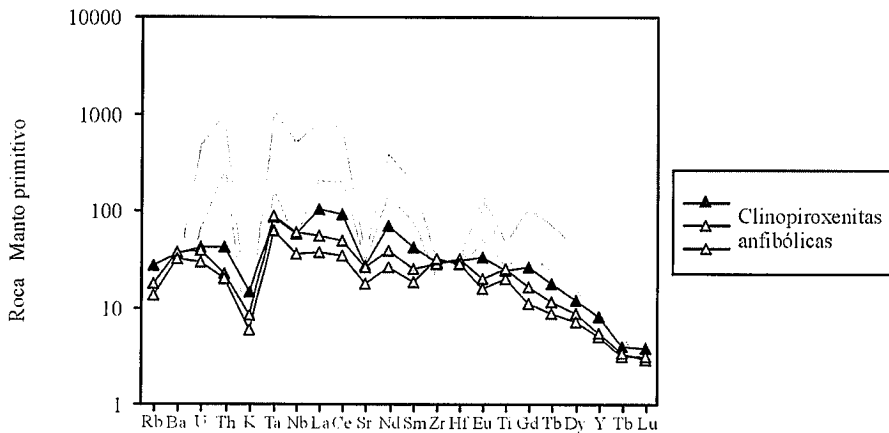


Fig. 2.- Diagramas de tipo *spider* para las rocas ultramáficas de la asociación alcalino-carbonatítica de Montaña Blanca-Milocho. Se observa una gran similitud en las pautas de ambos tipos petrográficos, cuya variación se explica en función de la naturaleza y proporciones de fases acumuladas (ver texto). El área sombreada corresponde al campo de variación de los tipos clinopiroxeníticos con perovskita. Datos normalizados según Sun y McDonough (1989).

Fig. 2.- Spider diagrams for the ultramafic rocks belonging to the alkaline-carbonatitic association of Montaña Blanca-Milocho. A great resemblance in the patterns of both petrographic types is observed, the variation of which is explained on the basis of the nature and proportions of the cumulate phases (see text). Shaded area corresponds to the variation field of perovskite-bearing clinopyroxenitic terms. Data normalization after Sun and McDonough (1989).

cas diferenciadas. Estas rocas son de textura acumulada, por lo que entre ellas existe una gran diversidad de tipos petrográficos, con amplias variaciones tanto en el tamaño de grano como en la naturaleza y proporciones modales de minerales acumulados. Así, este cuerpo intrusivo posee una disposición plurifacial aproximadamente zonada (Fig. 1). En las zonas más internas aflora una facies de rocas máficas y ultramáficas alcalinas ricas en olivino, que comprenden desde tipos wehrlíticos a clinopiroxenitas olivínicas, gabros melanocráticos y gabros (de Ignacio 1999). Hacia zonas más periféricas, este conjunto rico en olivino pasa gradualmente, por el aumento del contenido modal en anfíbol y la disminución en el de olivino, hacia otra facies de rocas máficas y ultramáficas alcalinas, ricas en anfíbol, que comprenden clinopiroxenitas anfibólicas, gabros anfibólicos y gabros anfibólicos con nefelina. En ambas facies, los términos ultramáficos pasan gradualmente a términos máficos mediante el aumento modal de minerales félsicos.

Las clinopiroxenitas anfibólicas son rocas heterogéneas, con amplias variaciones en el tamaño de grano. Además de clinopiroxeno y anfíbol, acumulan apatito y óxidos de Fe-Ti, y como mineralogía accesoria presentan mica, esfena y ocasionalmente, plagioclasa intercumular. Estas rocas presentan venas y bolsadas de fraccionados sálicos subsaturados, volumétricamente poco importantes. Estos diferenciados cortan tanto a las rocas plutónicas como filonianas a

ellas asociadas, engloban con frecuencia fragmentos de las mismas, y presentan también fuertes variaciones en el tamaño de grano, que puede ser desde fino, con anfíboles de hábito acicular, hasta grueso (pegmatoides). Sus relaciones de corte, carácter diferenciado y texturas pegmatoides hacen suponer que se trata de fundidos residuales atrapados y expelidos en forma de diques en movimientos extensionales durante el emplazamiento.

Además, en las zonas más periféricas del cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Milocho, las clinopiroxenitas anfibólicas pasan gradualmente a clinopiroxenitas con perovskita e ijolitas, cuya variación textural comprende también desde tipos de grano fino hasta tipos pegmatoides. A su vez, estas rocas gradan hacia diferenciados sieníticos, que constituyen desde venulaciones en clinopiroxenitas e ijolitas hasta pequeñas masas, con frecuencia hibridadas con carbonatitas, constituyendo por tanto una asociación alcalino-carbonatítica. Las clinopiroxenitas con perovskita son acumulados de distintas proporciones modales de clinopiroxeno, perovskita, óxidos de Fe-Ti, apatito, anfíbol y mica. La proporción de diques que atraviesan tanto a clinopiroxenitas anfibólicas como a clinopiroxenitas con perovskita es similar. Ello, unido a la similitud en cuanto a texturas y asociación con diferenciados para ambos tipos de clinopiroxenitas, indica una gran afinidad entre ellas. Dicha afinidad queda patente en dataciones recientes de estas clinopiroxe-

nitadas mediante huellas de fisión en apatito, y K-Ar en mica (de Ignacio *et al.*, en prensa). Estas edades dan valores similares para ambos tipos: 25 Ma (clinopiroxenita anfibólica) y 26 Ma (clinopiroxenita con perovskita), y además se encuentran en el intervalo de edades publicadas para ijolitas y carbonatitas próximas: 23 Ma (edad U-Pb en zircón de carbonatita; Cantagrel *et al.*, 1993) y 25 Ma (edad K-Ar en mica de ijolita (Le Bas *et al.*, 1986).

### Petrografía y mineralogía

Las rocas ultramáficas de la asociación alcalino-carbonatítica del plutón de Montaña Blanca-Milocho comprenden, por tanto, dos tipos petrográficos (clinopiroxenitas anfibólicas y clinopiroxenitas con perovskita) que son indistinguibles en el campo, donde pasan gradualmente de uno a otro por el aumento o disminución de los minerales que acumulan. En las clinopiroxenitas anfibólicas, los grandes cristales cumulares de clinopiroxeno y anfíbol, incluyen poiquilíticamente a óxidos de Fe-Ti y apatito, lo que indica la cristalización temprana de estas dos últimas fases. Hay que destacar que el apatito puede llegar a ser muy abundante en estas rocas, hasta constituir prácticamente un mineral principal. En las clinopiroxenitas con perovskita, este mineral y el apatito son también fases de cristalización temprana, que suelen estar incluidas total o parcialmente en grandes cristales cumulares de anfíbol intercrecido con clinopiroxeno.

El clinopiroxeno, el anfíbol, los óxidos de Fe-Ti, la mica y el apatito presentan composiciones muy similares en ambos tipos petrográficos de clinopiroxenitas. El clinopiroxeno es diópsido titanado rico en calcio ( $Wo_{48-52}$ ), con composición poco variable en FeO y MgO ( $Di_{78-75}$ ), característicamente rico en  $TiO_2$  (2-3% en peso) y  $Al_2O_3$  (4-7% en peso), y con  $Na_2O$  apreciable en el borde de los cristales, sobre todo en las clinopiroxenitas con perovskita donde puede alcanzar hasta 1% en peso.

Los óxidos de Fe-Ti son Ti-magnetitas bastante ricas en MgO (2-4% en peso). En las clinopiroxenitas anfibólicas, la presencia de exoluciones de ilmenita permite calcular la  $fO_2$ , que resulta moderadamente baja, en el buffer NiNiO, para la formación de estas rocas, en comparación con las clinopiroxenitas con perovskita, donde estas exoluciones no están presentes (de Ignacio, 1999).

El anfíbol, también cálcico, es de composición variable entre kaersutita (clinopiroxenitas anfibólicas) y Mg-hastingsita (clinopiroxenitas con perovskita). Ambas composiciones son variedades de

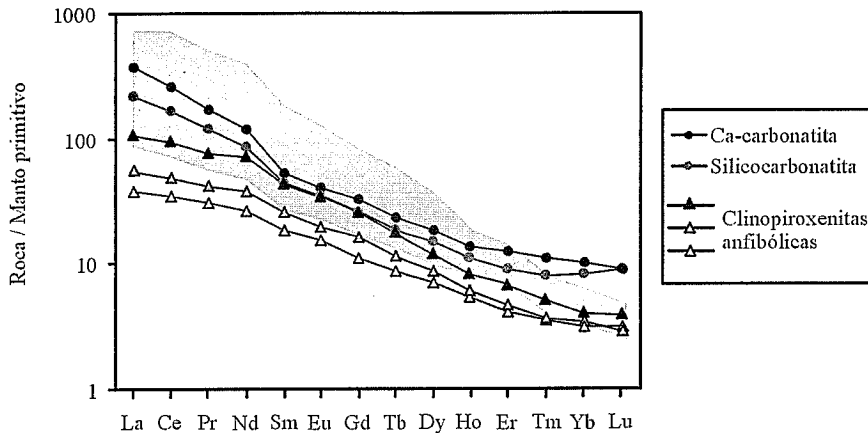


Fig. 3.- Espectros de tierras raras de las clinopiroxenitas y carbonatitas de la asociación alcalino-carbonatítica de Montaña Blanca-Milocho. La similitud entre las pautas indica la existencia de una estrecha relación genética entre ambos tipos petrográficos ultramáficos, así como entre ellos y las carbonatitas de esta asociación. El área sombreada corresponde al campo de variación de los tipos clinopiroxeníticos con perovskita. Datos normalizados según Sun y McDonough (1989).

Fig. 3.- Rare earths spectra of the clinopyroxenites and carbonatites of the alkaline-carbonatitic association of Montaña Blanca-Milocho. The similarity among their patterns indicates the existence of a close genetic relationship between both ultramafic types and also between them and the carbonatites belonging to this association. Shaded area corresponds to the variation field of perovskite-bearing clinopyroxenitic terms. Data normalization after Sun and McDonough (1989).

pargasita, que se distinguen por su mayor contenido en  $\text{TiO}_2$  y  $\text{MgO}$  respectivamente. Aunque los anfíboles de estas dos composiciones representan fases primarias de cristalización temprana en complejos intrusivos alcalinos (Mitchell, 1990), las pequeñas diferencias en su composición reflejan a su vez diferencias en sus condiciones de cristalización. Así, en las clinopiroxenitas anfibólicas, las kaersutitas, que engloban poiquilíticamente óxidos de Fe-Ti con el par ilmenita-magnetita, se forman a  $f\text{O}_2$  bajas, en el buffer NiNiO. Sin embargo, en las clinopiroxenitas con perovskita, los anfíboles de composición Mg-hastingsita, presentan menores contenidos de  $\text{Fe}_{\text{total}}$  y  $\text{Al}^{\text{VI}}$  y mayores contenidos de  $\text{Na}_{\text{total}}$  y OH cualitativo (menores sumas analíticas para porcentajes similares de F y Cl) con respecto a las kaersutitas de clinopiroxenitas anfibólicas (de Ignacio, 1999). Estas tendencias concuerdan con las propuestas por King *et al.*, (2000) para la cristalización de Mg-hastingsitas a  $f\text{O}_2$  mayores, en el buffer HM, donde estos autores explican el aumento de Mg frente a Ti en estos anfíboles como consecuencia de la estabilización en el fundido de una fase titanada de tipo óxido previamente a su cristalización. Así, en las clinopiroxenitas con perovskita, la cristalización temprana de este óxido de calcio y titanio, se correlaciona con estas estimaciones de la  $f\text{O}_2$ , y es la causa de que el anfíbol que se forma más tarde presente composiciones de Mg-hastingsita en lugar de kaersutita.

La mica se clasifica como flogopita de composición poco variable en FeO y MgO (Phl<sub>73-67</sub>). Sin embargo, en las clinopiroxenitas anfibólicas presenta altos contenidos de  $\text{TiO}_2$  (8-10% en peso) y ocasionalmente, contenidos apreciables de BaO (1% en peso), mientras que en las clinopiroxenitas con perovskita, nuevamente debido a la cristalización temprana de este mineral (mayor  $f\text{O}_2$ ), al igual que ocurre en el caso del anfíbol, los contenidos de  $\text{TiO}_2$  son bajos (2-3% en peso) y la mica es una flogopita de composición muy magnésica (prácticamente pura), con contenidos de BaO que no superan el 0.5% en peso.

El apatito presenta alrededor del 1% en peso de F y solamente trazas de Cl, así como contenidos de SrO de 0.3-0.6% en peso.

Aparte de los minerales arriba descritos, en las clinopiroxenitas anfibólicas aparece ocasionalmente, como mineral intercumular, plagioclasa con zonado normal, donde los centros son de labradorita ( $\text{An}_{60}$ ) y los bordes de andesina (hasta  $\text{An}_{34}$ ). La esfena en estas rocas aparece en pequeños cristales idiomorfos con zonado aproximadamente concéntrico en  $\text{ZrO}_2$  (~2% en peso en los centros, y 0.7-0.8% en peso en los bordes) y pequeñas cantidades de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (0.5% en peso).

En las clinopiroxenitas con perovskita, este mineral aparece en cristales idiomorfos de composición prácticamente pura (>90% de componente  $\text{CaTiO}_3$ ), con zonado concéntrico en tierras raras (2-3% en peso para el total de REE en el centro y hasta 5% en

peso en el borde) y bajos contenidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.3-0.8% en peso), FeO (0.4-0.9% en peso) y  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (0.2-0.6% en peso). Esta composición química es típica de perovskitas de cristalización magmática temprana en rocas ultramáficas de complejos alcalinos (Chakmouradian y Mitchell, 1997; Dawson *et al.*, 1995).

### Geoquímica

El carácter alcalino tanto de las clinopiroxenitas anfibólicas como de las clinopiroxenitas con perovskita se manifiesta en sus normas CIPW subsaturadas, con 5-6% de nefelina normativa y 18-26% de olivino normativo para las clinopiroxenitas con perovskita, y 9-11% de nefelina normativa con 17-21% de olivino normativo para las clinopiroxenitas anfibólicas. Esta subsaturación en  $\text{SiO}_2$  está reflejada también en las altas cantidades normativas de fases no-silicatadas: 14-19% en las clinopiroxenitas anfibólicas y 21-32% en las clinopiroxenitas con perovskita. Las proporciones normativas indican de nuevo una mayor subsaturación junto con aumento del contenido de álcalis y la  $f\text{O}_2$  para las clinopiroxenitas con perovskita con respecto a las clinopiroxenitas anfibólicas, al igual que se observó para la composición mineralógica.

Las afinidades entre estos dos tipos petrográficos son muy claras en la geoquímica de elementos traza. En diagramas de tipo spider (Fig. 2) estas rocas muestran pautas muy similares, enriquecidas en HFSE (Ta, Nb, Hf, Zr) y tierras raras ligeras (LREE) con respecto a elementos LILE (Rb, K, Sr), y en las que las pequeñas diferencias se explican en función de la naturaleza y proporciones de los minerales que acumula cada una de estas rocas. Así, en las clinopiroxenitas anfibólicas, el control de HFSE y LREE se realiza por medio del apatito y en mucha menor medida, la esfena. Como puede observarse en la Fig. 2, en las muestras donde el apatito es más abundante, se observan fuertes anomalías positivas de LREE, que son retenidas por el apatito, así como de U y Th, también controlados por este mineral; asimismo, las ligeras anomalías positivas de Hf y Zr se encuentran en relación con la presencia de esfena accesoria. Sin embargo, en las clinopiroxenitas con perovskita, es este óxido el que controla la distribución de las tierras raras, de modo que en las muestras que más perovskita y apatito acumulan, aparecen los mayores enriquecimientos en estos elementos, lo que confiere a las pautas de los diagramas spider un aspecto fuertemente quebrado, y a los espectros de tierras raras una fuerte pendiente (Fig. 2 y 3).

En la Fig. 3 se han representado además una muestra de silicocarbonatita y otra de calcio-carbonatita de Montaña Blanca-Miloch. Se observa claramente cómo las pautas de estas rocas son muy similares a las de ambos tipos de clinopiroxenitas, de donde se deduce la existencia de una estrecha relación entre ambas. El enriquecimiento en tierras raras pesadas (HREE) en las carbonatitas se correlaciona con la presencia de zircón accesorio en estas muestras.

### Discusión

Como ya se ha visto, los términos ultramáficos (clinopiroxenitas) de la asociación alcalino-carbonatítica que ocupa la periferia del cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Miloch, presentan dos tipos petrográficos con grandes afinidades texturales, mineralógicas y geoquímicas entre ellos. Estos dos tipos petrográficos de clinopiroxenitas son indistinguibles en el campo, donde se encuentran en relación con ijolitas, sienitas y carbonatitas. Por ello, sus características y afinidades nos pueden proporcionar una información muy importante acerca de la naturaleza de los magmas de los que se deriva esta asociación alcalino-carbonatítica.

Las principales diferencias observadas en la mineralogía y geoquímica de estas clinopiroxenitas reflejan ciertas diferencias en sus condiciones de cristalización. Las clinopiroxenitas anfibólicas cristalizan a temperaturas algo mayores que las clinopiroxenitas con perovskita, como indican las temperaturas de formación de sus anfíboles cúmulo, en torno a 1080°C para las primeras y en torno a los 970°C para las segundas, según el termómetro de Ti en anfibol de Otten (1984). Además, la mineralogía y geoquímica indican una disminución en SiO<sub>2</sub> y aumento de álcalis en las clinopiroxenitas con perovskita con respecto a las clinopiroxenitas anfibólicas, lo que indica la cristalización de las primeras bajo condiciones de fO<sub>2</sub> mayor. Así, en las clinopiroxenitas con perovskita, dominadas por una paragénesis abundante en fases oxidadas frente a fases silicatadas, la bajísima  $\alpha$ SiO<sub>2</sub> unida a la alta fO<sub>2</sub>, estabiliza la perovskita en etapas muy tempranas. La acumulación de este mineral, que es perfectamente plausible mediante simple diferenciación magmática, sin que tenga que estar involucrado ningún proceso metasomático (Veksler y Teptev, 1990), provoca el que las fases que cristalizan después, como el anfibol y la mica, queden empobrecidas en TiO<sub>2</sub> y comparativamente enriquecidas en MgO con respecto al anfibol y mica de las clinopiroxenitas anfibólicas.

Los datos de química mineral y geoquímica de roca total indican que ambos tipos de clinopiroxenitas derivan de magmas subsaturados, ricos en: CaO, elemento que está presente en prácticamente toda la mineralogía de estas rocas ultramáficas, TiO<sub>2</sub> + FeO, como se refleja en las altas proporciones modales y normativas de fases oxidadas, y elementos incompatibles + volátiles. Esto último se deduce de la presencia de apatito y perovskita en etapas muy tempranas de la cristalización. El apatito, además, se concentra en ellas, y no en rocas más diferenciadas, como sería de esperar, donde su abundancia decrece drásticamente. Asimismo, la abundancia de anfibol cumúlítico en estas rocas también indica una cierta saturación de volátiles en el magma original. En esta fase volátil probablemente predominaba CO<sub>2</sub> sobre H<sub>2</sub>O, ya que por una parte el CO<sub>2</sub> moviliza más fácilmente tanto LREE como HFSE (TiO<sub>2</sub>, FeO, ZrO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Beccaluva *et al.*, 1992), elementos que presentan enriquecimientos en los diagramas *spider*, y por otra parte la actividad de este volátil va unida a la subsaturación de los magmas (Kaszuba y Wendlandt, 2000). Además, recientes estudios de inclusiones fluidas en xenolitos de Lanzarote (Neumann *et al.*, 1995) concluyen que el manto bajo las islas Canarias orientales se encuentra metasomatizado por la infiltración de fundidos silicatados ricos en FeO y TiO<sub>2</sub>, y fluidos ricos en CO<sub>2</sub>.

Por último, la relación entre estas clinopiroxenitas y las rocas carbonatíticas queda también patente en los diagramas de geoquímica de elementos traza (Fig. 2 y 3). La influencia de la cristalización temprana de perovskita y apatito en esta asociación alcalino-carbonatítica explicaría el empobrecimiento relativo en tierras raras ligeras y otros elementos incompatibles que se observa en las carbonatitas, así como su mayor contenido en tierras raras pesadas, que se acumularían a medida que progresa la diferenciación magmática, hasta ser retenidas por zircón accesorio en estas rocas.

### Conclusiones

Los términos ultramáficos de la asociación alcalino-carbonatítica periférica del cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Miloch son clinopiroxenitas, que comprenden dos tipos petrográficos indistinguibles en el campo: clinopiroxenitas anfibólicas y clinopiroxenitas con perovskita. Estos dos tipos petrográficos poseen una gran afinidad textural, mineralógica y geoquímica, y sus principales diferencias residen en el tipo de

paragénesis que presentan (predominio de fases silicatadas frente a predominio de fases oxidadas, respectivamente) y en las proporciones de los minerales que acumulan, lo que a su vez refleja diferencias en las condiciones de cristalización (T, fO<sub>2</sub>). Sin embargo, el estudio de su química mineral y geoquímica indica que ambos tipos de clinopiroxenitas derivan de magmas subsaturados ricos en CaO, HFSE, volátiles y LREE. Además, sus pautas en diagramas de tipo *spider* y de espectros de tierras raras (Fig. 3) indican que ambos tipos clinopiroxeníticos se encuentran estrechamente relacionados con las rocas carbonatíticas de esta asociación periférica del cuerpo intrusivo de Montaña Blanca-Miloch.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto DGICYT PB-98-0854. Agradecemos a J. González del Tánago y A. Fernández Larios por su asesoramiento en los análisis de microsonda electrónica.

### Referencias

- Beccaluva, L., Barbieri, M., Born, H., Brotzu, P., Coltorti, M., Conte, A., Garbarino, C., Gomes, C. B., Macciotta, G., Morbidelli, L., Ruberti, E., Siena, F. y Traversa, G. (1992): *Jour. Petrol.*, 33, 1371-1404.
- Cantagrel, J.M., Fúster, J.M., Pin, C., Renaud, U., Ibarrola, E. (1993): *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*, 316, 1147-1153.
- Chakhmouradian, A.R. y Mitchell, R.H. (1997): *Can. Mineral.*, 35: 1293-1310.
- Dawson, J.B., Smith, J.V. y Steele, I.M. (1995): *Jour. Petrol.*, 36, 797-826.
- de Ignacio, C. (1999): Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense, Madrid, 138 pp.
- de Ignacio, C., Muñoz, M., Sagredo, J. y Barbero, L. (en prensa): *Geotemas*.
- Kaszuba, J. P. y Wendlandt, R. F. (2000): *Jour. Petrol.*, 41, 363-386.
- King, P.L., Hervig, R.L., Holloway, J.R., Delaney, J.S. y Dyar, M.D. (2000): *Earth Planet. Sci. Letters*, 178, 97-112.
- Le Bas, M.J., Rex, D.C., Stillman, C. J. (1986): *Geol. Mag.*, 123, 287-298.
- Mitchell, R.H. (1990): *Lithos*, 26: 135-156.
- Neumann, E.R., Wulff-Pedersen, E., Johnsen, K., Andersen, T. y Krogh, E. (1995): *Lithos*, 35, 83-107.
- Otten, M.T. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 189-199.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989): *Geol. Soc. London Special Publication*, 42, 318.
- Veksler, I. V. y Teptev, M. P. (1990): *Lithos*, 26, 177-189.