

# Evidencias de mezcla de magmas en el Edificio volcánico-subvolcánico de Betancuria (Fuerteventura, Islas Canarias)

*Magma mixing evidences in volcanic-subvolcanic Betancuria Edifice (Fuerteventura, Canary Island)*

M. Muñoz y J. Sagredo

Dpto de Petrología y Geoquímica UCM-CSIC. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid

## ABSTRACT

The volcanic subvolcanic Betancuria edifice belongs to the upper part of subaerial Miocene volcanic serie. It is made of evolved basalts (mainly trachybasalts), polymictic welded tuff and trachyandesyte-trachysyenite annular dikes. These rock-succesions are genetically interrelated by a process of basaltic and trachytic magma mixing. Mingling evidences are represented by polymictic banded welded tuff, composite dikes and emulsion facies trachyandesitic rocks. Chemical mixing (or hibridation) is noted in homogeneous trachyandesitic facies by the «reequilibrated» mixed phenocrystal population. Well defined geochemical linear trends in variation diagrams is a strong evidence of the hibridate origin of the trachyandesite rocks.

**Key words:** basalt, trachyandesite, trachysyenite, magma mixing, mingling, hibridation.

Geogaceta, 20 (3) (1996), 554-557  
ISSN: 0213683X

### Características geológicas y edad de los materiales

El edificio volcánico-subvolcánico de Betancuria (Fig.1) está formado por un anillo externo semicircular, esencialmente subvolcánico de rocas de composición traquiandesítica - traquisienítica. Este cuerpo anular envuelve parcialmente a un conjunto volcánico mayoritariamente basáltico, que está integrado por un apilamiento de unos 400 m. de potencia de materiales lávicos y explosivos (tobas y brechas) en dispositivo subhorizontal. Hacia los tramos medios y culminando a techo aparecen niveles métricos (0.5-15 m) de tobas soldadas polimícticas con líticos y esquirlas vítreas basálticas y traquíticas (Fig 2a) que con frecuencia presentan estructuras bandeadas (Fig 2b). Estos niveles suelen aparecer conectados a diques capas compuestos basáltico-traquíticos (Fig 2c) o con apuntamientos domáticos de composición traquiandesítica.

La unidad anular periférica es en realidad una inyección de diques múltiple, subvertical en sus extremos oriental y occidental y más tendido en su sector N-NW, aunque buzando siempre hacia el exterior. El conducto semicircular parece haber estado controlado por la intersección de un sistema de fracturas NNW-SSE, NNE-SSW y E-W. La presencia de brechas de colapso, jalonando la mayor parte del contacto con la unidad basáltica interna, sustenta la interpretación precedente y además sugiere la existencia de mecanismos de tipo «cauldron subsidence» (en sentido de Walker,

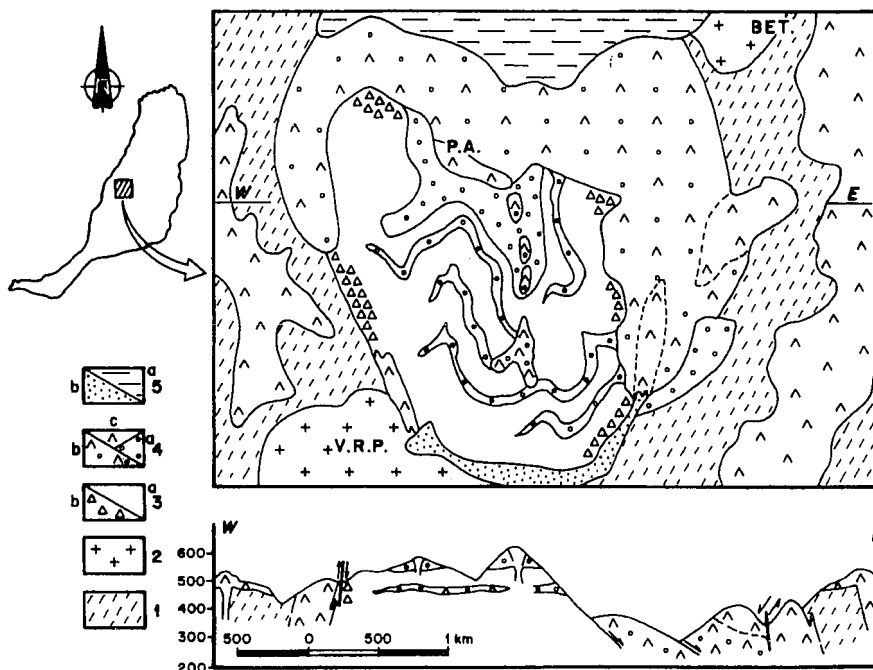


Fig.1.- Esquema geológico del sector de Betancuria: 1) tobas basálticas-traquibasálticas, en parte submarinas, atravesadas por diques máficos y sálicos; 2) gabros; 3) basaltos masivos (a) y brechoides (b); 4a) tobas soldadas basáltico-traquíticas; 4b) traquiandesitas (rocas híbridadas); 4c) diques traquíticos-sieníticos, traquibasálticos junto con tobas y brechas volcánicas relacionadas; 5a) emisiones basálticas posteriores; 5b) recubrimientos.

Fig.1.- Geological sketch of Betancuria area: 1) basaltic-trachybasaltic tuffs (partly submarine) cut by trachybasalt and trachyte dikes; 2) gabbro; 3) brecciated (a) and massive (b) basalts; 4a) basaltic-trachytic welded tuffs; 4b) trachyandesites (hybrid rocks); 4c) trachybasalt, trachyte-syenite dikes together with their related tuffs and volcanic breccias; 5a) recent basalts; 5b) sedimentary cover

1984). Este tipo de mecanismo explicaría la asociación espacial entre los materiales volcánicos (bloque subsidente basáltico) y la unidad anular subvolcánica. Con posterioridad el mismo sistema de fracturas actúa en el desmantelamiento del edificio descolocando en parte los contactos de colapso previos.

En posición claramente externa al edificio de Betancuria (Fig. 1) hay corredores NNE-SSE de enjambres de diques y productos fragmentarios asociados (tobas y brechas polimícticas) de composición traquítica-traquibasáltica. La analogía composicional y la similar posición cronoestratigráfica de los materiales de éstos corredores con los del edificio de Betancuria les incluyen en las fases terminales del mismo episodio volcánico.

Todos estos materiales son bien intrusivos ó recubren discordantemente al tramo alto de la serie submarina superior de Fúster *et al.*, (1984) de edad comprendida entre Oligoceno y el Mioceno inferior. Así mismo, los gabros y sienitas de B. E. T. (Betancuría); V. R. P. (Vega de Río Palmas) (V.R.P., Fig. 1) de edades comprendidas entre 20-18 ma. (Abdel-Monen *et al.*, 1971 y Cantagrel *et al.*, 1993) son también, en parte intruídos y cubiertos por los materiales del edificio de Betancuria.

Además, las edades K-Ar de una traquiandesita y de una traquisienita del anillo externo (14 y 13 Ma. respectivamente, Cantagrel *et al.*, 1993) confirman el carácter post-Complejo Basal de éstos materiales. Estas edades se corresponden con las de los materiales de los tramos superiores del vulcanismo subaéreo Mioceno. Por ello y teniendo en cuenta analogías composicionales, Sagredo y Muñoz (1995) los equiparan a los materiales del Edificio Norte superior y/o Central superior según la clasificación de Ancochea *et al.*, (1993)

#### Evidencias de fenómenos de mezcla de magmas.

Son numerosos los aspectos que ponen de manifiesto la existencia de mezcla de magmas, uno máfico y otro sáfico, en sus dos vertientes: como mezcla mecánica (mingling) y como hibridación composicional (mixing). A escala de afloramiento resaltan especialmente las estructuras y texturas de mezcla mecánica:

- Presencia de tobas soldadas con bandeados composicionales basáltico-traquítico (Fig. 2b), formas globulares, lobuladas, de tipo micropillow (Fig. 2a).

- Diques compuestos, en los cuales la interacción del fundido basáltico y traquítico tiene como consecuencia el enfriamiento rápido del primero. Ello da lugar a que las canalizaciones basálticas (Fig. 2c) se descompongan en formas lobuladas de tipo pseudo pillow. En la mayor parte de los casos se produce una mayor disgregación de los fragmentos basálticos en

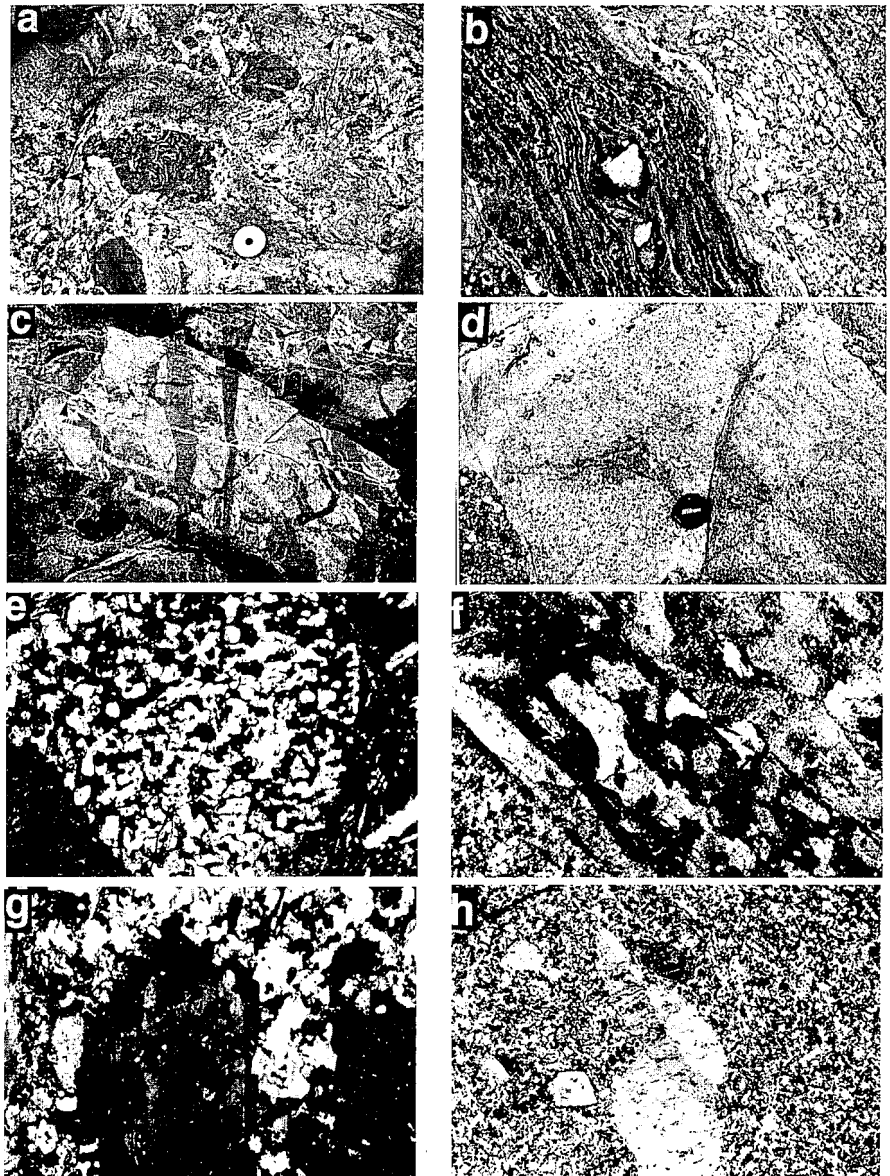


Fig. 2.- a) toba soldada (la flecha señala globulos lobulados); b) toba con textura bandeada (N ;x29); c) dique compuesto (las flechas señalan fragmentos basálticos lobulados); d) textura de emulsión en traquiandesita; e) plagioclasa dendrítica (NX;x113); f) plagioclasa de crecimiento celular encajonado (NX;x29); g) plagioclasa reabsorbida rodeada de plagioclasa más cálcica (NX;x113); h) fenocristales ovoides de sanidina (NX;x29). (Detalles en texto)

Fig. 2.- a) welded tuff (arrows shows lobate globules); b) banded tuff (N ); c) composite dike (arrows show lobate basaltic fragments); d) emulsion texture in trachyandesite; e) dendritic plagioclase; f) «boxy cellular growth plagioclase»; g) resorbed oligoclase mantled by more calcic plagioclase; h) ovoid sanidine phenocrystal.

glóbulos milimétricos o inferiores característicos de facies de emulsión (Fig. 2d)

En los enclaves de las facies de emulsión aparecen texturas de enfriamiento rápido variolíticas o microcristalíticas con fenocristales de plagioclasa dendrítica (Fig. 2e).

El contacto entre el microenclave y la roca sáfica se hace a través de un discreto bandeado que progresa a expensas de la desintegración de los glóbulos basálticos (Fig. 2d), lo que indica que se ha alcanzado la homogeneización química (hibridación magmática). Simultáneamente, se va

produciendo la transferencia de fenocristales. En este momento es cuando la roca comienza a tener una matriz homogénea y fenocristales con síntomas de reequilibrio.

#### Características de los términos extremos

Los términos extremos máficos y sáficos se reconocen por la ausencia de texturas de desequilibrios mineralógicos. Los candidatos máficos serían los tipos basálticos representados en éste edificio. Los dos tipos basálticos existentes

son términos fraccionados, aunque en proporciones variables (MgO=5,25%, Ni=125ppm y MgO=2.69, Ni=27ppm). Los menos fraccionados quedan clasificados como traquibasaltos en el diagrama TAS y los más fraccionados como traquiandesitas basálticas. Atendiendo al término menos evolucionado (Hy+Ol normativo y Nb/Y=1) corresponderían a una serie ligeramente alcalina-transicional. Los espectros de REE (Fig.3) manifiestan su carácter moderadamente alcalino y fraccionado.

Ambos tipos basálticos presentan texturas porfídicas-glomeroporfídicas en matriz hipocristalina o microcristalina. En ambos la plagioclasa es el fenocristal dominante, siempre con zonado normal y composiciones reflejadas en la Tabla 1. En los términos más fraccionados los fenocristales de clinopiroxeno y olivino, sobre todo éste último, son muy raros. Las composiciones mineralógicas que se muestran en la Tabla 1, pertenecen al grupo traquibasáltico menos fraccionado.

Representando a los términos sálicos hay traquitas muy fraccionadas y traquisienitas menos extremas. Todas ellas se proyectan en el diagrama TAS en el campo de traquitas. Son rocas sobresaturadas en SiO<sub>2</sub> (Qn=7,48-9.93) representadas por tipos metaaluminicos y peralcalinos moderados (Din=2,23-0,95 y Egn=2,75).

En general son rocas de textura porfídica. La matriz varía entre criptocristalina y microcristalina fluidal en traquitas y microgranuda en traquisienitas. De los componentes mineralógicos que aparecen en la Tabla 1 los feldespatos son dominantes. Así, las traquisienitas la augita egirínica-egirina, anfíbol y biotita pueden llegar a constituir como máximo el 5% del volumen, mientras que en las traquitas más fraccionadas estas proporciones son muy inferiores (1%).

**Evidencias texturales y geoquímicas del proceso de hibridación magmática.**

Las facies con texturas de emulsión y las de matriz homogénea y composición híbrida aparecen bien representadas en la masa anular periférica. Las rocas híbridas por su posición en el diagrama TAS, son traquiandesitas, en el límite con traquitas. Ello es debido a su concentración relativamente alta en SiO<sub>2</sub> (58,00%-60,72%) lo cual hace que sean siempre Q normativas (2,70-5,89). Esto y el resto de las concentraciones de elementos mayores las sitúan como términos intermedios entre los basaltos y traquitas-traquisienitas, aunque siempre más próximas a éstas últimas. En relación con su rango de variación en SiO<sub>2</sub> (Fig.4) hay dos variedades petrográficas ligeramente diferentes. Una de matriz más fina, microcristalina, de coloración algo más oscura y otra de matriz microgranular de coloración más clara. En ésta última hay una mayor proporción de feldespato alcalino, menor de componente piroxénico y nula presencia de xenocristales de oli-

vino. El resto de la composición mineralógica es muy similar en ambas (Tabla 1). Ambas variedades tienen textura porfídica, con profusión de fenocristales, la mayoría de los cuales muestran síntomas de desequilibrios y reequilibrios típicos del proceso de mezcla magmática. Especialmente los feldespatos, representados siempre por dos poblaciones (alcalinos y calcosódicos), con zonación composicional compleja (Tabla 1), muestran muchas de las texturas adscritas a procesos de mezcla (Hibbar, 1991)

- Plagioclasa de crecimiento celular encajonado («boxy cellular growth plagioclase» de Hibbar 1991) como la de la Fig.2f. Esta textura, similar a un zonado en parches, indicaría que la plagioclasa más cálcica (An 53-58, de color más claro en la Fig.2f) cristaliza de forma dendrítica como respuesta al enfriamiento rápido del fundido basáltico. El relleno epitaxial de borde a centro (oscuro en la Fig.2f), de composición más sódica (An25-35) se produce cuando el sistema máfico-sálico se ha «reequilibrado».

- Plagioclasas con zonado inverso (An 20-50), Fig.2g en las cuales el núcleo más sódico (An 20-25) aparece reabsorbido. Fenocristales de sanidina ovoidales (Fig.2h) o de anortosa fuertemente reabsorbidos a veces con envueltas de tipo rapakivi. Texturas todas ellas que indican, al contrario del caso anterior, sobrecalentamiento de la fracción sálica con cristales propios en suspensión que son reabsorbidos y envueltos por los productos del «equilibrio» subsiguiente del sistema híbrido.

Los «fenocristales» de componentes máficos muestran, así mismo, texturas que reflejan los reajustes térmicos y los reequilibrios químicos:

- Presencia de restos de olivino (Fo 80-82), rodeados de placas de flogopita, junto a fenocristales de biotita con bordes parcialmente reabsorbidos.

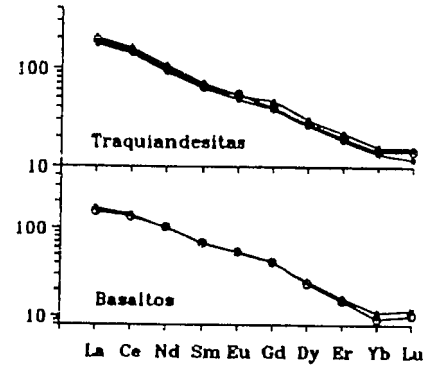


Fig.3.- Espectros normalizados de REE.

Fig.3.- REE condrite normalized patterns.

- Fenocristales de clinopiroxeno (Tabla 1), afín al del fundido basáltico con bordes rodeados de plaquitas de kaersutita o Mg-Hornblenda, mientras que fenocristales de richterita presentan bordes de resorción.

En la mesostasis la homogeneización es prácticamente total. La presencia de pequeñas tabletas de plagioclasa, con fuerte zonación normal (Tabla 1), junto al feldespato alcalino (Anortosa o Sanidina), en proporciones variables, así como la presencia de pequeños nidos de diminutos agregados de Mg-Hornblenda o Richterita e Ilmenita son los únicos vestigios del sistema híbrido «reequilibrado».

Los datos químicos actualmente disponibles, confirman que el fenómeno de hibridación magmática está involucrado en el origen de los términos traquiandesíticos. Así, como es característico en éstos casos (Vogel et al., 1984; Gorgaud, 1991), los términos traquiandesíticos ocupan posiciones intermedias en los diagramas de variación definiendo siempre una tendencia lineal con relación a los términos extremos (Fig.4). Esto

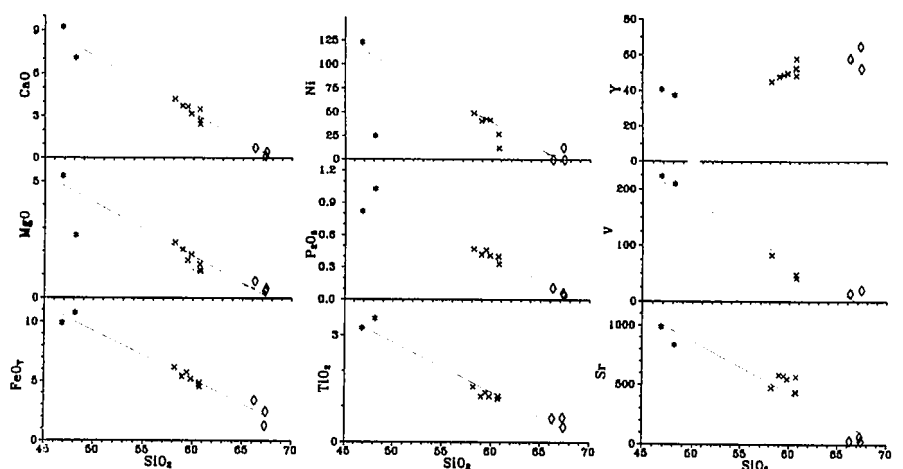


Fig.4.- Diagramas de variación de las muestras analizadas. (\* Basaltos; x Traquiandesitas; ◊Traquitas-traquisienitas)

Fig.4.- Variation diagrams of the analyzed samples. (\* Basalts; x Trachyandesites; Trachyte-trachysyenite)

	Feldespato	Olivino	Piroxeno	Anfibol	Biotita
Basalto	Fenocristales c:An 53-60 b:An 50-51 Matriz An 47-51	Fo 85-80	Fenocristales c:Fe <sub>16</sub> Mg <sub>40</sub> Ca <sub>45</sub> b:Fe <sub>12</sub> Mg <sub>40</sub> Ca <sub>48</sub> Matriz Fe <sub>13</sub> Mg <sub>35</sub> Ca <sub>48</sub> T = 1088-1052	--	--
Traquiandesitas (rocas híbridas)	Fenocristales c:An 50-64; 24-34 b:An 50-59; 20-30; 16-24 Ab 41 Or 66; Ab 24-Or 73 Ab 4 Or 96 Matriz An 47-51; 25-35; 18-25 Ab 3-15 Or 81-96 Ab 80-90	Fo 80-82	Fenocristales c:Fe <sub>14</sub> Mg <sub>41</sub> Ca <sub>45</sub> Fe <sub>13</sub> Mg <sub>41</sub> Ca <sub>46</sub> b:Fe <sub>14</sub> Mg <sub>35</sub> Ca <sub>47</sub> Fe <sub>15</sub> Mg <sub>35</sub> Ca <sub>44</sub> T = 1038	Kaersutita Mg-Hornb. Richterita Mg-Arvved T' = 929-966	Flogopita Biotita
Traquitas-Traquisienitas	An 20-25 Ab 15 Or 84 Ab 56 Or 41 Ab 87-92	--	Fe <sub>25</sub> Mg <sub>1</sub> Ca <sub>10</sub> Fe <sub>22</sub> Mg <sub>2</sub> Ca <sub>6</sub>	Edenita Richterita Arvedsonita T' = 744-716	Biotita

\* Geotermómetro anfíbol-plagioclasa

Tabla 1.- Composición mineralógica.

es evidente para todos los elementos mayores, salvo Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O y para aquellos elementos traza que se comportan como compatibles en los términos intermedios. Como es también común en

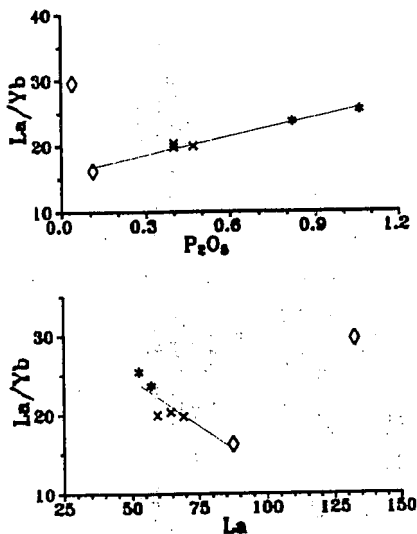


Fig.5.- Diagramas La/Yb frente a La y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mismos símbolos que Fig.4)

Fig.5.- La/Yb versus La and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagrams (same symbols as in Fig.4)

estos casos, dentro de la tendencia lineal se observan discontinuidades con «gap» composicional esencialmente con los términos basálticos.

Las tendencias que se muestran en relación con elementos como MgO y Ni indican que la única correlación posible del basalto más fraccionado es con el grupo de traquiandesitas más feldespáticas y silíceas. Esto sugiere la posibilidad de mezcla efectiva de diferentes fracciones basálticas con un miembro sálico común, hecho que ha sido constatado en casos similares (Gorgaud.,1991; Sparks y Marshall.,1985).

Con respecto a los elementos incompatibles, es de remarcar el valor casi constante, en términos basálticos y traquiandesíticos, de elementos como el Zr (426-517ppm), Th (8,31-9,00) y Rb (61-72ppm). Esto mismo sucede para todo el conjunto de las REE (Fig.3), cuyos espectros muestran el mismo patrón de fraccionación para basaltos y traquiandesitas. Todo ello excluye posibles mecanismos de fraccionación en la génesis de éstas últimas y refleja el comportamiento anómalo que es común en procesos de mezcla de magmas.

Finalmente las Figs.5a y 5b, en las que se expresa el factor de fraccionación de REE (La/Yb) frente a los índices de variación La y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, muestra una correlación entre los términos típica de mezcla o contaminación. Además en éstos diagramas se muestra como la traquita más fraccionada se aparta de la tendencia de variación, por lo cual debe ser excluida como miembro sálico en el proceso de hibridación.

Conclusiones.

El conjunto de los materiales que integran el edificio de Betancuria representan los restos de un edificio de los tramos superiores de la serie subaérea Miocena.

Basaltos fraccionados (traquibasaltos y traquiandesitas basálticas) y traquitas (traquisienitas) representan los términos extremos entre los cuales han tenido lugar procesos de mezcla magmática.

En el fenómeno de mezcla han debido intervenir las dos fracciones basálticas existentes, con un término sálico común representado por las composiciones traquíticas menos fraccionadas.

Los fenómenos de mezcla física aparecen bien representados en las facies explosivas (tobas soldadas polimícticas) y en los diques compuestos. Las rocas de éste tipo resultarían de la mezcla sinérgica de los magmas en el canal de alimentación.

Los fenómenos de mezcla composicional están representados esencialmente en los diques del anillo externo por dos facies texturales: una facies de emulsión con glóbulos basálticos (enclaves) y otra más homogénea, de composición traquiandesita, en la cual la mezcla composicional se reconoce por los disequilibrios minerales. En este caso, la difusión química ha tenido un papel preponderante, por lo cual la mezcla se habría producido durante la cristalización de las dos fracciones, en la parte más profunda del conducto eruptivo.

Aunque de un modo especulativo se puede sugerir, que el modelo de mecanismo de mezcla más compatible con los datos expuestos sería el de dos fundidos mezclándose en el conducto, (principalmente en una fractura de tipo circular) bien procedentes de una cámara magmática común, zonada ó bien de dos cámaras, una máfica y otra sálica, superpuestas.

Este proceso de hibridación no debe ser un hecho local, pues materiales lávicos de composición traquiandesítica del tramo alto de la serie volcánica Miocena, con la que se correlaciona el edificio de Betancuria, muestran vestigios texturales de procesos de hibridación análogos a los que aquí se describen.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PB91-0147-CO2-01 de la DGICYT

Referencias

Abdel-Monen, A.; Watkins, N.D. y Gast, P.W. (1971). *Amer. Jour. Sci.* 271:490-521  
 Ancochea, E.; Brandle, J.L.; Cubas, C.R. Hemán, Fy Huertas, M. J. (1993). *Mem. de la Real Academia de Ciencias. Serie de C. Naturales. Madrid. Tomo XXVII, 151pp.*  
 Cantagrel, J.M.; Fúster, J.M.; Pin, CH.; Renaud, U. et Ibarrola, E. (1993). *C.R. Acad. Sci. Paris, 316: 1147-1153.*  
 Fúster, J.M.; Barrera, J.L.; Muñoz, M.; Sagredo, J. y Yebenes, A. (1984). *Mapa y memoria explicativa de la Hoja 1106 (Pájara) del Mapa geológico Nacional a escala 1:25.000, IGME.*  
 Gorgaud, A. (1991). *In: Enclaves and Granite petrology. Edit. Didier, J. y Barbarin, B. 221-233*  
 Hibbar, M.J. (1991). *In: Enclaves and Granite petrology. Edit. Didier, J. y Barbarin, B. 431-443*  
 Sagredo, J. y Muñoz, M. (1995). *VIII Asamblea Nacional Geodesia y Geofísica. Madrid. p 172.*  
 Sparks, R. S. J. y Marshall, L. A. (1985). *Jour. Volcanol. Geoth. Res.* 29: 99-124.  
 Vogel, T. A.; Younker, L. W.; Wilband, J. T. y Kampmveller, E. (1984). *Contrib. Mineral Petrol.* 87: 231-241  
 Walker, G. P. L. (1984). *Jour. Geophys. Res.* 89: 8407-8416.