

# El dique de alimentación del volcán La Cornudilla (Región Volcánica del Campo de Calatrava): estructura, petrografía y geoquímica convencional

*The feeder-dyke of La Cornudilla volcano (Campo de Calatrava Volcanic Field): structure, petrography and conventional geochemistry*

Fernando Sarrionandia<sup>1</sup>, Manuel Carracedo Sánchez<sup>2</sup> y Luis Eguiluz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Paseo de las Universidades, 7, 01006 Vitoria-Gasteiz (Álava, España). fernando.sarrionandia@ehu.es, luis.eguiluz@ehu.es

<sup>2</sup> Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Sarriena s/n, 48940 Leioa (Vizcaya, España). manuel.carracedo@ehu.es

## ABSTRACT

A ca. 250 m long dyke with variable thickness (< 1.65 m) has been identified in the La Cornudilla volcano (Campo de Calatrava Volcanic Field, CCVF). The dyke exhibits a rectilinear and continuous trend when intruding the cinder that constitutes the base of the volcanic edifice, and an annular discontinuous shape as it intrudes into the summit spatter facies. The dyke is formed by basanites and alkali basalts generated in a continental intraplate setting through OIB-type enriched mantle melting. The dyke mineralogy and chemical composition is similar to both the summit spatter deposits and a lava flow emitted from the volcano. It is therefore interpreted as a feeder-dyke and represents one of the few dykes identified in the CCVF so far.

**Key-words:** Geochemistry, feeder-dyke, tephrite, La Cornudilla, Calatrava.

## RESUMEN

En el volcán de La Cornudilla (Región Volcánica del Campo de Calatrava, RVCC) se ha identificado un dique de 250 metros de corrida y potencia variable (<1.65 m). El dique muestra un trazado rectilíneo, continuo, cuando intruye en los materiales escoriáceos (cinder) que forman la base del edificio volcánico, y un trazado anular, discontinuo, al intruir en las facies de spatter cimeras. Las rocas que forman el dique son basanitas y basaltos alcalinos generados en un ambiente de intraplaca continental a partir de magmas procedentes de la fusión de fuentes mantélicas enriquecidas de tipo OIB. El dique presenta una composición mineralógica y química similar a la de los depósitos de spatter y a la de una colada de lava emitida desde el volcán, por lo cual se interpreta como un dique de alimentación. Se trata de uno de los pocos diques identificados hasta el momento en la RVCC.

**Palabras clave:** Geoquímica, dique de alimentación, tefrita, La Cornudilla, Calatrava.

Geogaceta, 55 (2014), 95-98.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 21 de junio de 2013  
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2013  
Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2013

## Introducción

La Región Volcánica de Campo de Calatrava (RVCC) está caracterizada esencialmente por la presencia de rocas básicas y ultrabásicas alcalinas (p. ej., Ancochea, 1982; Cebriá, 1992) formadas durante el Neógeno-Cuaternario (8,6 Ma - 5200 BP; Ancochea, 1982; González Cárdenas *et al.*, 2010). Los magmas que formaron estas rocas proceden de la fusión de una fuente sublitosférica lherzolitica (European Asthenospheric Reservoir, EAR) enriquecida en elementos traza con respecto a los contenidos condriticos. La EAR fundió en respuesta

a procesos extensionales localizados que provocaron el ascenso de pequeños diapiros mantélicos (Cebriá y Wilson, 1995; Cebriá y López Ruiz, 1995).

La RVCC es extraordinariamente rica y variada en cuanto a productos, sucesiones y formas volcánicas. Hay unos 200 volcanes (p. ej., Ancochea, 1982). Los edificios volcánicos son conos de escorias, maeres y anillos de tobas resultado de erupciones estrombolianas, freatomagmáticas y hawaianas; además hay numerosas coladas de lava.

El notable grado de preservación de los edificios volcánicos impide en la mayor

parte de los casos observar su sistema de alimentación, existiendo muy pocas referencias a conductos volcánicos en la bibliografía de la RVCC (p. ej., Carracedo Sánchez *et al.*, 2012). En este trabajo presentamos las características morfológicas, petrográficas y geoquímicas del dique de alimentación descubierto en el volcán La Cornudilla.

## El volcán La Cornudilla

El volcán La Cornudilla está situado en el centro de la sierra cuarcítica (Cuarcita Armoricana; edad Ordovícica) que se levanta entre las localidades de Valenzuela y Gra-

nátula de Calatrava (Ciudad Real). Según Becerra (2010), se trata de un cono de escorias (altura 61 m, diámetro basal medio 290 m, pendiente 14°) construido por un episodio estromboliano seguido de uno hawaiano. El episodio estromboliano originó un cono de *cinder* (bombas, lapilli y bloques escoriáceos) y el episodio hawaiano formó un anillo de *spatter* en el borde del cráter. Ambos episodios aparecen acompañados por la emisión de coladas de lava que fluyen hacia el sur (Fig. 1).

Nuestros datos indican que el *spatter* es un depósito de intracráter, ya que la mayor parte de los buzamientos del anillo de *spatter* son hacia el centro del edificio volcánico (Fig. 1A). Por tanto, el cono volcánico original esta notablemente erosionado, lo cual permite observar parte del sistema de alimentación, concretamente el dique objeto de estudio (Figs. 1B, C y D).

### Características estructurales del dique de La Cornudilla

En la parte meridional del volcán, intruyendo posiblemente en su mayor parte dentro de las facies de muro proximales del cono de escorias, el dique tiene 1-1,65 m de potencia, dirección N 060° E y es subvertical (Fig. 1A). El dique presenta un diaclasado irregular poco espaciado (5-8 cm), vertical y paralelo a las paredes, marcado esencialmente por el aplastamiento de las vesículas, que señala la dirección de flujo. El trazado del dique en este sector es relativamente recto y continuo aunque en su extremo meridional se hace más sinuoso, e incluso se ramifica localmente albergando un ojal de materiales encajantes antes de desaparecer definitivamente al entrar en contacto con una pequeña colada de lava que aflora al SO del volcán (Fig. 1A).

Hacia el NO, donde el dique intruye en la pila de *spatter*, su trazado se complica, y se ramifica en varios diques menores (al menos 6) de dirección y potencia variables (10-60 cm), muchos de los cuales dibujan en planta pliegues con charnelas verticales. Algunos de estos diques menores adoptan después, dentro de la pila de *spatter*, una disposición anular, subconcordante con la estratificación del depósito.

La roca que forma el dique tiene un color gris oscuro a marrón, su estructura es homogénea y su fábrica es isotropa. La roca es afanítica y de visu es casi afírica, aunque se perciben algunos microfocristales

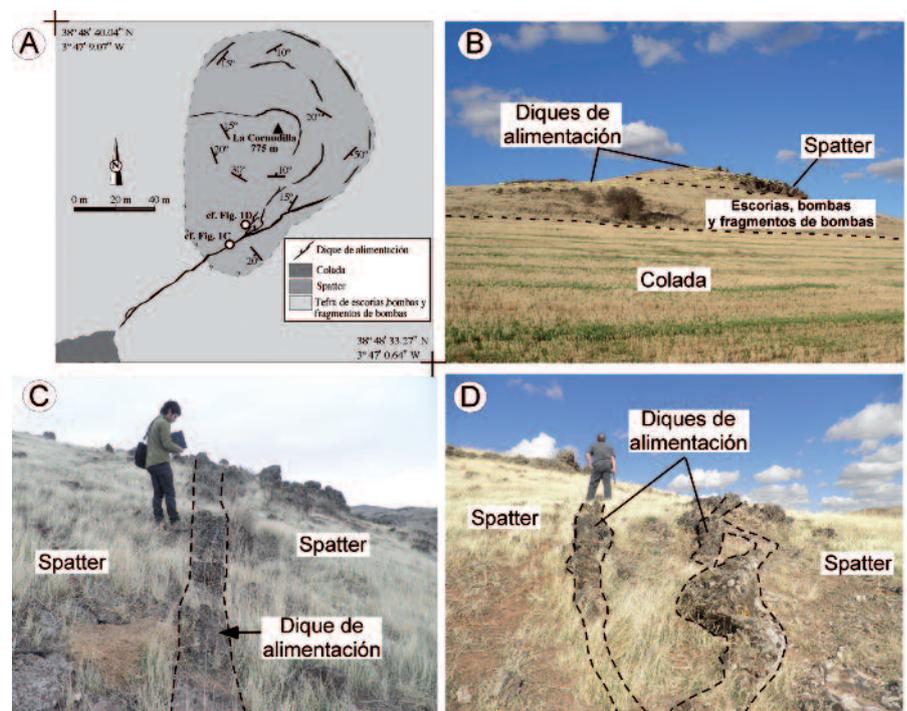


Fig. 1.- A) Esquema geológico simplificado del volcán La Cornudilla (RVCC). B, C y D) Diversas perspectivas del dique de alimentación del volcán La Cornudilla.

Fig. 1.-A) Simplified geological sketch of La Cornudilla volcano (CCVF). B, C and D) Different perspectives of the La Cornudilla volcano feeder-dyke.

(olivino de 0,25-1 mm) de olivino, y variablemente vesicular (10-50 %). Las vesículas son esféricas y de tamaño muy variable (0,1-10 mm), o elipsoidales y también de tamaño muy variable (2-20 mm); en algunos sectores están fuertemente aplastadas y reducidas a una simple línea. Algunas vesículas están ocupadas por zeolitas y/o calcita.

### Petrografía

La mayor parte de las muestras estudiadas son holocristalinas y tienen una textura microporfídica con matriz microcristalina variablemente vesicular (10-50 %). Los microfocristales de mayor tamaño ( $\leq 0,5-1$  mm) son de olivino, idio-hipidiomorfos, con frecuentes golfos de corrosión, y están parcialmente alterados a iddingsita. Aunque son escasos, también hay algunos microfocristales de clinopiroxeno, idiomorfos, muy pequeños (seriados: 0,5 mm - hasta el tamaño de la matriz). La matriz está formada por clinopiroxeno, opacos y plagioclasa.

Una de las muestras estudiadas, posiblemente una facies de borde, es hialocristalina y tiene una textura microporfídica

(olivino de 0,5-2 mm; idio-hipidiomorfos) con matriz microlítica (plagioclasa, clinopiroxeno) y mesostasis taquilítica escasamente vesicular.

### Características geoquímicas

Todas las muestras analizadas, excepto la MC12-51, se proyectan en el campo de las tefritas/basanitas ( $\text{SiO}_2 = 43,70\% - 45,13\%$ ;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,50\% - 5,30\%$ ) del diagrama TAS (Le Maitre *et al.*, 2002); dado que los contenidos en  $ol_{CIPW}$  son en todas ellas superiores al 10 %, se clasifican como basanitas. De acuerdo con los criterios TAS, la muestra MC12-51 es un basalto alcalino (Le Maitre *et al.*, 2002). En el diagrama Nb/Y-Zr/Ti (Pearce, 1996) todas las muestras se proyectan dentro del campo de los basaltos alcalinos. Este carácter alcalino se refleja también en la norma CIPW, ya que todas las muestras tienen  $ne_{CIPW}$  (3,5 % - 12,2 %), y en el diagrama TAS (Le Maitre *et al.*, 2002), todas las muestras se sitúan dentro del campo de las series fuertemente alcalinas. En cuanto a la geoquímica de elementos mayores, destaca que la mayoría de las muestras tienen contenidos en  $\text{K}_2\text{O}$  algo

Muestra Sigla	MC-12-50 Dique	MC-12-51 Dique	MC-12-52 Dique	MC-12-53 Dique	MC-12-54 Dique	MC-12-55 Dique	MC-12-56 Spatter	MC-12-57 Colada
	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub>	44,31	45,13	43,88	43,85	44,04	43,70	43,83	43,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,08	13,23	12,69	12,82	12,89	12,53	12,56	12,52
TiO <sub>2</sub>	2,93	2,97	2,87	2,87	2,90	2,80	2,80	2,81
CaO	11,51	11,66	11,55	11,20	11,43	11,01	10,34	12,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,54	13,26	12,67	12,72	12,66	13,08	13,03	12,42
K <sub>2</sub> O	2,14	2,02	2,14	2,28	1,41	2,36	2,39	1,55
MgO	9,26	9,78	10,03	9,79	9,97	9,82	9,46	10,00
MnO	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Na <sub>2</sub> O	3,18	2,48	3,16	2,76	3,15	2,70	2,98	2,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,82	0,81	0,83	0,82	0,82	0,81	0,87	0,80
LOI	0,00	1,23	0,00	0,65	0,50	0,90	1,33	2,09
	ppm	ppm						
Ba	606,74	629,11	588,76	589,10	594,05	596,74	602,57	1376,02
Co	68,12	67,72	92,40	68,44	68,98	76,33	83,30	69,19
Cr	387,39	431,00	416,13	411,98	412,66	428,60	400,94	401,06
Cs	0,20	0,08	0,02	0,20	0,57	0,15	0,53	0,00
Cu	51,14	56,33	50,93	56,21	47,26	56,62	132,71	57,40
Hf	5,75	5,86	5,66	5,68	5,84	5,62	5,77	5,75
Nb	63,39	65,34	62,29	63,52	62,92	62,35	65,67	64,26
Ni	172,72	187,78	193,49	186,63	188,14	195,51	198,72	196,87
Pb	2,89	2,79	3,06	2,82	2,92	3,04	3,76	2,81
Rb	44,08	38,17	43,65	46,05	31,42	44,19	48,13	30,59
Sc	26,13	27,73	25,92	25,98	26,47	26,69	25,85	25,42
Sn	2,34	2,62	2,32	2,46	2,39	2,60	12,87	2,40
Sr	922,87	941,11	912,50	901,92	957,79	884,15	850,97	1475,15
Ta	4,95	5,12	4,92	4,95	4,97	4,94	5,17	5,13
Th	5,23	5,39	5,14	5,25	5,19	5,19	5,88	5,40
U	1,50	1,46	1,39	1,50	1,32	1,51	1,69	1,42
V	256,41	269,22	253,54	251,62	266,68	257,53	252,83	244,49
Y	30,89	31,69	30,53	30,84	31,21	30,30	30,27	31,58
Zn	122,16	129,11	123,18	124,24	126,04	128,60	130,96	122,19
Zr	266,10	271,89	260,38	264,05	267,34	259,60	263,33	268,85
La	48,06	49,41	49,52	49,98	49,47	48,71	50,01	52,97
Ce	97,68	99,80	97,14	98,00	97,11	95,72	99,36	102,85
Pr	13,03	13,38	12,94	13,08	13,11	12,76	13,21	13,73
Nd	50,79	52,01	50,51	50,77	51,11	49,96	50,89	53,24
Sm	10,11	10,40	10,18	10,16	10,27	9,96	10,09	10,49
Eu	2,95	3,02	2,95	2,96	2,99	2,91	2,91	3,09
Gd	8,44	8,67	8,44	8,43	8,57	8,34	8,31	8,70
Tb	1,14	1,16	1,13	1,14	1,16	1,13	1,12	1,17
Dy	5,69	5,83	5,64	5,70	5,76	5,61	5,60	5,84
Ho	0,94	0,96	0,92	0,94	0,95	0,92	0,92	0,96
Er	2,42	2,49	2,42	2,42	2,46	2,38	2,40	2,47
Tm	0,32	0,33	0,32	0,33	0,33	0,32	0,32	0,33
Yb	1,90	1,96	1,89	1,89	1,91	1,88	1,89	1,94
Lu	0,27	0,27	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27

Tabla I.- Elementos mayores y traza de las rocas del volcán La Cornudilla (Ciudad Real).

Table I.- Major and trace elements of La Cornudilla volcanic rocks (Ciudad Real).

mayores que en Na<sub>2</sub>O, y de este modo, se proyectan dentro del campo de las series potásicas en el diagrama Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O de Middlemost (1975).

Las seis muestras del dique son homogéneas desde el punto de vista composicional, mostrando elevados contenidos en hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 12,82 %), titanio (TiO<sub>2</sub> = 2,89 %), calcio (CaO = 11,39 %), sodio (Na<sub>2</sub>O = 2,91 %) y potasio (K<sub>2</sub>O = 2,06 %), y contenidos relativamente moderados en magnesio (MgO = 9,78 %) y aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 12,87 %). Los contenidos en elementos

traza son muy similares en todas las muestras, destacando las concentraciones relativamente altas de Cr (416 ppm) respecto a Ni (187 ppm), y los enriquecimientos relativos en Ba (600 ppm), Nb (63 ppm) y Zr (265 ppm). Los contenidos totales en tierras raras (REE) varían en un rango muy estrecho (241 ppm – 250 ppm). Por otra parte, la normalización de las REE frente al condrito de Sun y McDonough (1989) proporciona unos espectros homogéneos, muy enriquecidos (10x-110x condrito) y fraccionación importante de las REE ligeras respecto a las

pesadas (La/Lu<sub>N</sub>=19,94). Igualmente, los perfiles de normalización multielemental frente al manto primitivo de Sun y McDonough (1989) son muy homogéneos, presentando fuertes enriquecimientos (70x-80x manto primitivo) en elementos LIL, Th, U y LREE, y ausencia de anomalías significativas.

## Discusión

En el diagrama TAS (Fig. 2A) figuran, junto a los puntos representativos de las muestras analizadas en este estudio, los campos composicionales de las rocas de la RVCC analizadas por Cebriá y López Ruiz (1995). Como se puede observar en esta figura, las muestras del dique se proyectan en la zona donde se solapan los campos de las nefelinitas, los basaltos alcalinos y de las leucititas de la RVCC. Por tanto, la composición del dique se integra perfectamente en el rango composicional del magmatismo de la RVCC.

Por otro lado, en el diagrama TAS (Fig. 2A), en el de REE normalizado frente al condrito (Fig. 2B) y en el diagrama multielemental normalizado frente al manto primitivo (Fig. 2C) se han representado, junto a las composiciones del dique estudiado, las análisis de una colada de lava y una muestra de *spatter* del mismo volcán. Los datos químicos del dique, la lava y el *spatter* del volcán de la Cornudilla son prácticamente iguales (Tabla I).

Finalmente, la mineralogía del *spatter* y la de la colada de lava son también similares a la del dique. Las tres formaciones volcánicas presentan como minerales esenciales olivino, clinopiroxeno, plagioclasa y opacos. La presencia de plagioclasa en todas las rocas constituye un elemento identitario del magmatismo del volcán de la Cornudilla en el contexto de la RVCC.

Por tanto, aunque desconocemos la edad del dique y la edad de los depósitos piroclásticos que intruye, estas coincidencias sugieren que el dique debe formar parte del sistema de alimentación del volcán.

La proyección de la composición de todas las rocas del volcán de La Cornudilla en los diagramas de discriminación tectonomagmática más utilizados (p. ej., Zr/4-Nb/2-Y, Meschede, 1986; MnO-TiO<sub>2</sub>/10-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Mullen, 1983; Th-Zr/117-Nb/16, Wood, 1980, Fig. 2D) indican que este volcán, igual que el resto de los volcanes de la

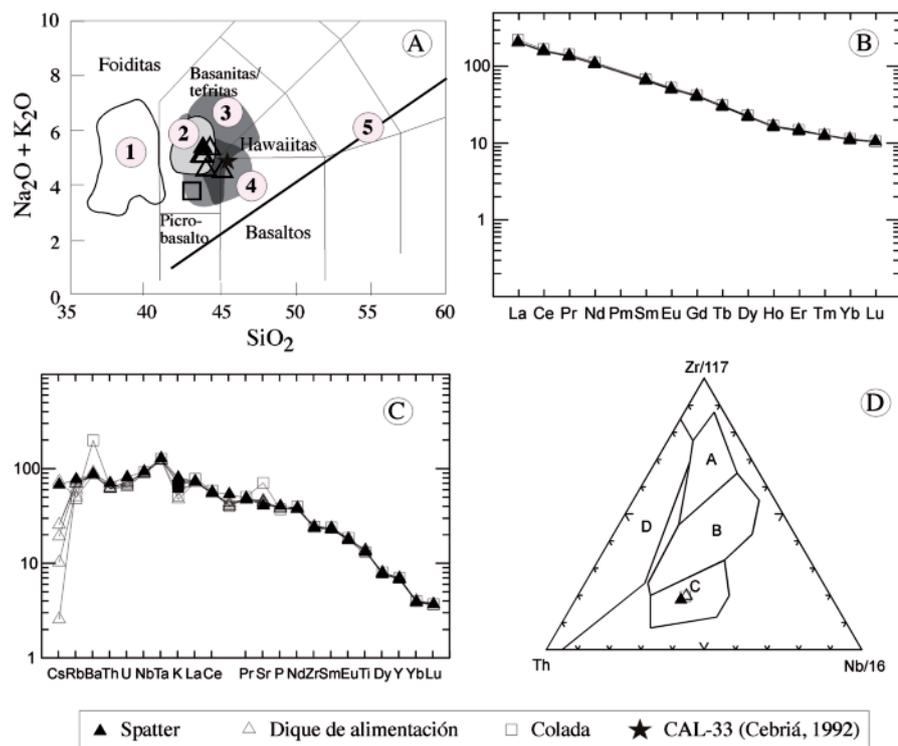


Fig. 2.- A) Proyección de las muestras estudiadas en el diagrama TAS (Le Maitre et al., 2002). 1) Melilitas, 2) Nefelinitas, 3) Basaltos olivínicos y 4) Leucititas de la RVCC (Cebriá y López Ruiz, 1995). Línea 5, separación de las asociaciones alcalinas y subalcalinas (MacDonald y Katsura, 1964). B y C) Diagramas de normalización de REE y multielementales frente al condrito y el manto primitivo de Sun y McDonough (1989), respectivamente. D) Diagrama de caracterización tectonomagmática Th-Zr/117-Nb/16 (Wood, 1980).

Fig. 2.- A) Projection of the samples studied in the TAS diagram (Le Maitre et al., 2002). 1) Melilitas, 2) Nephelinites, 3) Olivine basalts and 4) Leucitites of the CCVR volcanism (Cebriá and López Ruiz, 1995). Line 5, separation of alkaline and subalkaline associations (MacDonald and Katsura, 1964). B and C) Chondrite and primitive mantle REE and multielemental normalization diagrams (Sun and McDonough, 1989), respectively. D) Th-Zr/117-Nb/16 tectonomagmatic characterization diagram (Wood, 1980).

RVCC, se formó en un ambiente de intra-placa continental. El carácter fuertemente alcalino de las rocas, junto con los valores de diversas relaciones elementales (p. ej., Nb/Th = 12,0; Zr/Nb = 4,2; Nb/Y = 2,1; Zr/Y = 8,6) señalan este mismo marco geodinámico (Condie, 2005).

Finalmente, las bajas relaciones Th/Nb (0,08) de las rocas del volcán de La Cornudilla son típicas de magmas procedentes de la fusión de fuentes mantélicas enriquecidas de tipo OIB (Condie, 2005). Esto está de acuerdo con lo expuesto por Cebriá y Wilson (1995) cuando señalan que los datos isotópicos de Sr-Nd-Pb de las regiones volcánicas europeas donde coexisten lavas sódicas y potásicas, como es el caso de la RVCC, muestran una distribución en abanico pero convergen en una composición común similar a la observada en los basaltos de las islas oceánicas.

### Conclusiones

Uno de los pocos diques encontrados hasta el momento en la Región Volcánica de Campo de Calatrava aflora intruyendo en el cono volcánico de La Cornudilla.

Las lavas que forman el dique son basanitas y basaltos alcalinos con mineralogía y composición química similar, tanto a nivel de elementos mayores como de trazas, a la de los depósitos de spatter y de las coladas de lava emitidas desde el volcán. Las características químicas de las rocas analizadas son típicas de magmas alcalinos emitidos en ambientes de intra-placa continental.

La estrecha relación espacial, así como la afinidad composicional entre el dique y las rocas emitidas desde el volcán, sugiere que se trata de un dique de alimentación.

### Agradecimientos

Trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación ("Grupo Consolidado", Proyecto CGL2008-01130/BTE) y por la Universidad del País Vasco/EHU (Grupo de Investigación GIU09/61).

### Referencias

Ancochea, E. (1982). *Evolución espacial y temporal del vulcanismo reciente de España Central*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 675 p.

Becerra, R. (2010). En: *XI Reunión Nacional de Geomorfología*, 357-360.

Carracedo Sánchez, M., Sarrionandia, F., Arostegui, J., Eguiluz, L. y Gil Iburguchi, J.I. (2012). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 227-228, 1-14.

Cebriá, J.M. (1992). *Geoquímica de las rocas basálticas y leucititas de la Región Volcánica de Campo de Calatrava, España*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 314 p.

Cebriá, J.M. y López Ruiz, J. (1995). *Lithos* 35, 27-46.

Cebriá, J.M. y Wilson, M. (1995). *Terra Nova Abstracts Supplement* 7, 162.

Condie, K.C. (2005). *Lithos* 79, 491-504.

González Cárdenas, E., Ubaldo Gosálvez, R. Becerra, R. y Escobar, E. (2010). En: *Aportaciones recientes en Volcanología 2005-2009* (E. González, E. Escobar, R. Becerra, R. Gosálvez y J. Dóniz, Eds.). Centro de Estudios Calatravos, UCLM y Ministerio de Ciencia y Tecnología, 67-74.

Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. y Wolley, A.R. (2002). *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of terms*. Cambridge University Press, 236 p.

MacDonald, G.A. y Katsura, T. (1964). *Journal of Petrology* 5, 83-133.

Meschede, M. (1986). *Chemical Geology* 56, 207-218.

Middlemost, E.A.K. (1975). *Earth Sciences Reviews* 11, 337-364.

Mullen, E.D. (1983). *Earth and Planetary Science Letters* 62, 53-62.

Pearce, J.A. (1996). En: *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration* (D.A. Wyman, Ed.). Geological Association of Canada, Short Course Notes 12, 79-113.

Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989). En: *Magma-tism in the ocean basins* (A.D. Saunders y M.J. Norry, Eds.). Geological Society, London, 313-345.

Wood, D.A. (1980). *Earth and Planetary Science Letters* 50, 11-30.