

# Achnelitos generados en fuentes de lava de la región volcánica de Campo de Calatrava (Ciudad Real, España)

*Achneliths generated in lava fountains of the Campo de Calatrava Volcanic Field (Ciudad Real, Spain)*

Manuel Carracedo Sánchez<sup>1</sup>, Fernando Sarrionandia<sup>2</sup>, Javier Arostegi<sup>1</sup> y José Ignacio Gil Ibarguchi<sup>1</sup>

<sup>1</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, javier.arostegi@ehu.es, josei.gil@ehu.es.

<sup>2</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

## ABSTRACT

We describe and discuss the origin of achneliths that occur within ash and lapilli tephra emitted by the Las Herrerías volcano of the Campo de Calatrava Volcanic Field (CCVF, Ciudad Real, Spain). These ash-size pyroclasts exhibit fluidal shapes (spheric, Pele's tears or elongated) and an usually smooth, bright glassy surface. They are hyalocrystalline with olivine and, to a lesser extent, clinopyroxene phenocryst, embedded in a variably vesicular microlithic matrix. The finest Pele's tears are aphyric and poorly vesicular. The pyroclasts studied are similar to those produced by the solidification of lava-spray in present-day lava fountains (e.g., Kilauea Iki eruption, 1959).

**Key-words:** Achneliths, Pele's tears, lava fountain, Calatrava.

## RESUMEN

Se describen y se discute la génesis de los achnelitos presentes en tefra de ceniza y lapilli emitida por el volcán Las Herrerías en la Región Volcánica de Campo de Calatrava (RVCC, Ciudad Real, España). Se trata de piroclastos de tamaño ceniza que presentan formas fluidales (esféricas, lágrimas de Pele, o elongadas) y una superficie vítrea y brillante, a menudo lisa. Los achnelitos son hialocristalinos, con fenocristales de olivino y en menor proporción de clinopiroxeno, inmersos en una matriz microlítica, variablemente vesicular. Las lágrimas de Pele más pequeñas son aphyricas y escasamente vesiculares. Los piroclastos estudiados son similares a los generados por la solidificación de aerosoles de lava en fuentes de lava actuales (p.ej., erupción Kilauea Iki, 1959).

**Palabras clave:** Achnelitos, lágrimas de Pele, fuentes de lava, Calatrava.

Geogaceta, 55 (2014), 91-94.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 14 de junio de 2013  
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2013  
Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2013

## Introducción

Las erupciones del tipo fuente de fuego o fuente de lava forman conos o rampas de *spattery* capas de ceniza y lapilli fino que se extienden por un área limitada en torno al edificio volcánico o en la dirección de los vientos predominantes en el momento de la erupción. En estas erupciones, los piroclastos, aunque típicamente subordinados a las coladas de lava, pueden tener un volumen notable.

Entre los componentes de las capas de ceniza destacan por su singularidad los piroclastos formados por el enfriamiento rápido de aerosoles de lava (lava spray) en contacto con el aire. Estos piroclastos tienen inicialmente una forma externa controlada, al menos en parte, por el efecto de la tensión superficial y fueron denominados

achnelitos (del griego achne = spray) por Walker y Croasdale (1971), término que será utilizado en nuestro trabajo para referirnos a los piroclastos estudiados.

Los piroclastos que constituyen las cenizas achnelíticas tienen de hecho formas fluidales muy variadas. Los más conocidos tienden a ser o bien esféricos, y se denominan lágrimas de Pele, o filiformes, parecidos a cabellos, denominados cabellos de Pele.

Los achnelitos, especialmente las lágrimas y los cabellos de Pele, son considerados con frecuencia una curiosidad petrológica / volcanológica. Su presencia ha sido detectada en muchos volcanes activos (p. ej., Hawái, Reunión, Etna, Masaya, Azores) pero hay pocas descripciones detalladas de ellos (Porritt *et al.*, 2012 y referencias incluidas). Los depósitos achnelíticos normalmente no están soldados y son fácilmente erosiona-

bles por lo que este tipo de piroclastos es relativamente escaso en el registro geológico.

En este trabajo presentamos las características morfológicas y petrográficas de los achnelitos encontrados en un depósito de la Región Volcánica de Campo de Calatrava (RVCC; Ancochea, 1982). Se trata de los primeros resultados de una investigación de mayor alcance que se está desarrollando sobre este depósito. Esta publicación tiene como objetivo esencial hacer patente la existencia de achnelitos en la RVCC y contribuir de este modo a resaltar la importancia de la actividad Hawaiana en dicha región.

## Situación geográfica y geológica

La tefra achnelítica objeto de este estudio forma parte de los depósitos piroclásticos del volcán Las Herrerías, situado al sur

de la localidad de Bolaños de Calatrava (Ciudad Real; Fig. 1A).

El nivel de tefra tiene apenas 7 cm de potencia y se encuentra intercalado en tobas hidrovulcánicas, finamente laminadas, de aproximadamente 1 m de espesor. Las tobas reposan discordantes sobre cuarcitas de edad Ordovícico (cuarcita Armoricana) que forman el sustrato prevolcánico y están a su vez cubiertas por una colada de lava (Fig. 1B). Esta colada de lava está siendo explotada en la cantera de la empresa UBLADESA.

### Granulometría y componentes del depósito achnelítico

El resultado de las granulometrías efectuadas sobre 3 muestras del depósito de tefra achnelítica es el siguiente: > 4 mm (máximo 1,5 cm) = 11,96 % en peso; 4 mm – 2 mm = 28,99 % en peso; 2 mm – 1 mm = 35,56 % en peso; 1 mm – 0,5 mm = 16,68 % y < 0,5 mm = 6,81 %. La fracción ceniza es por tanto dominante con 59,05 % en peso, mientras que la fracción lapilli supone el 40,95 % en peso. Dado que el depósito no está litificado debe clasificarse como una tefra de ceniza y lapilli.

Los componentes de la tefra estudiada son esencialmente clastos vítreos (> 95 %), fragmentos de roca derivados del sustrato prevolcánico (< 4 %; esencialmente cuarcitas) y cantidades menores de fenocristales (olivino) o microlitos (< 1 %).

Los clastos vítreos que componen el depósito son: achnelitos, fragmentos de achnelitos, escorias y clastos compuestos soldados. También hay algunos vidrios filiformes (cabellos de Pele), aunque son muy escasos. Los clastos compuestos soldados están formados por clastos achnelíticos (achnelitos y fragmentos de achnelitos) y escorias, recubiertos ambos por partículas vítreas esféricas o filiformes de dimensión nanométrica y micrométrica (nano y microachnelitos; cf. Carracedo *et al.*, 2010) que las sueldan. A continuación se indican las características de los achnelitos.

### Achnelitos

Los achnelitos estudiados son piroclastos de tamaño ceniza con forma fluidal (esferoidal o elongada) y superficie vítrea y brillante.

Los *achnelitos esferoideales*, o lágrimas de Pele, tienen formas esféricas, oblongas o de lágrima, con superficies lisas de color negro y/o amarillento, casi siempre libres de vesículas. Algunos clastos presentan una o varias protuberancias vítreas finas, filiformes, normalmente menores de 0,5 mm, que representan las conexiones truncadas con achnelitos aciculares o con cabellos de Pele. Los clastos esferoideales se encuentran esencialmente en las fracciones comprendidas entre 1 y 0,5 mm, son escasos en las fracciones < 0,5 mm y 1-2 mm, y muy raros en las fracciones > 2 mm.

Los *achnelitos elongados* tienen una relación longitud/diámetro de la sección transversal de al menos 2:1 (Ladle, 1978). Sus formas son muy variadas (cilíndricos, aciculares, de pera, media luna, almendra, jamón, lazo, anzuelo, liana, boomerang, etc.) y la mayor parte tienen superficies lisas, negras y/o amarillentas, libres de vesículas. Algunos tienen superficies externas estriadas u onduladas en sentido longitudinal, a veces retorcidas lo que les confiere un aspecto leñoso. La mayor parte de los clastos elongados se encuentran en las fracciones comprendidas entre 1 y 2 mm; también hay algunos en las fracciones > 2 mm.

Los fragmentos de achnelitos están limitados en parte por superficies externas fluidales (vítreas, brillantes, lisas, estriadas, onduladas, sin vesículas), modeladas por tensión superficial, y en parte por superficies de fractura, normalmente vesiculares

### Petrografía

Una de las peculiaridades de los achnelitos estudiados es su elevada cristalinidad. Su textura es en general hialocristalina porfídica, con matriz microlítica, variablemente vesicular.

Los fenocristales, idio-hipidiomorfos, son esencialmente de olivino, aunque también hay algunos de clinopiroxeno. Los microfeno-cristales están situados en general hacia el interior de los clastos; cuando se encuentran en los márgenes de los clastos crean

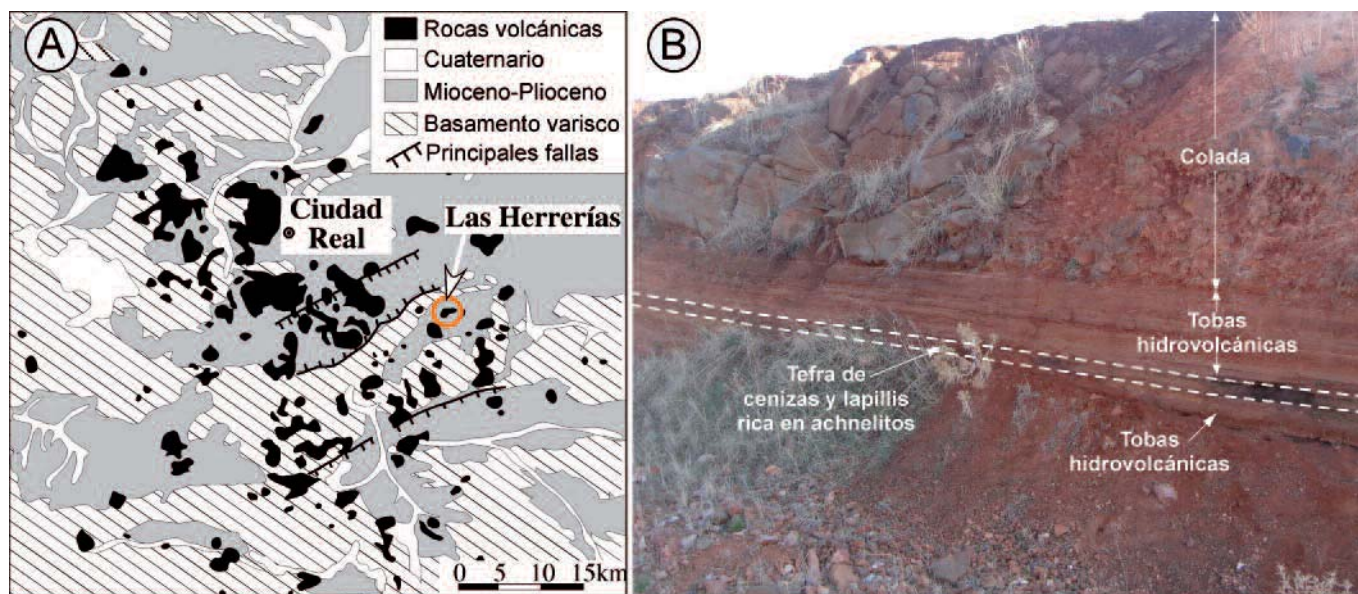


Fig. 1.- A) Mapa simplificado de la Región Volcánica del Campo de Calatrava y localización del volcán Las Herrerías (modificado de Cebriá y López Ruiz, 1995). B) Secuencia volcánica en la que aparece la tefra de cenizas y lapilli rica en achnelitos (potencia 7 cm) del volcán Las Herrerías.

Fig. 1.- A) Simplified map of the Campo de Calatrava Volcanic Region and location of the Las Herrerías volcano (modified from Cebriá and López Ruiz, 1995). B) Volcanic sequence showing the 7 cm thick achnelith-rich lapilli and ash tephra of the Las Herrerías volcano.

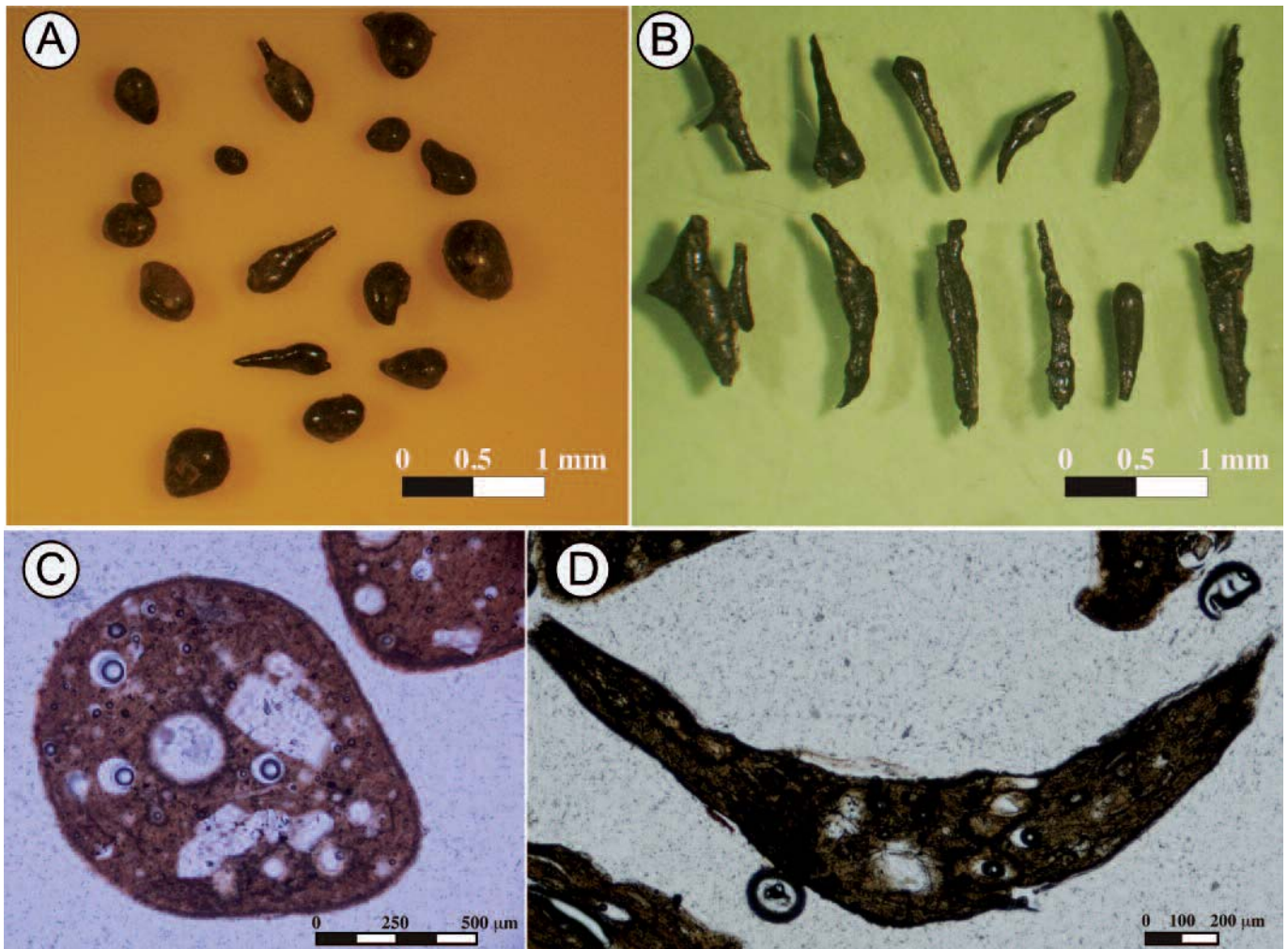


Fig. 2.- A) Detalle de un concentrado de lágrimas de Pele procedente del volcán Las Herrerías. B) Detalle de un concentrado de achnelitos elongados de la misma localidad en los que se pueden observar distintos tipos de superficies. C y D) Imagen al microscopio (nícoles paralelos) de achnelitos esféricos y elongados, respectivamente. Los fenocristales son de olivino; nótese el gran número de microlitos existentes.

Fig. 2.- A) A detail of Pele's tears concentrate from the Las Herrerías volcano. B) A detail of a concentrate of elongated achneliths showing different surface types. C and D) Microscopic views under parallel nicols of spheroidal and elongated achneliths, respectively. The phenocrysts are of olivine, showing both types of pyroclasts a great number of microliths.

protuberancias irregulares que rompen la monótona curvatura de su perímetro.

Los microlitos son esencialmente cristales tabulares y aciculares de clinopiroxeno. En los achnelitos elongados los microlitos están orientados de forma paralela al eje largo de los clastos y mimetizan la forma externa, incluso cuando son curvos, por ejemplo con forma de media luna, o irregulares. A veces dibujan también las terminaciones curvas o puntiagudas de los clastos elongados.

Algunos de los achnelitos esféricos más pequeños (< 0,25 mm) son afíricos y escasamente vesiculares, y en su interior los microlitos están desorientados e inmersos en el vidrio. Por el contrario, otros achnelitos son simples fenocristales de olivino, equidimensionales o no, que están rodeados por una delgada película de vidrio.

La vesicularidad varía entre el 0 % en los clastos más pequeños (sobre todo en los esféricos) y el 50 % en los más grandes. Las vesículas son circulares o alargadas, normalmente no coalescentes y, en general, están separadas de la superficie de los clastos, que es esencialmente lisa.

Al microscopio, el vidrio es de color marrón rojizo y de aspecto sideromelánico. Sólo en algunos clastos se han encontrado porciones de taquilita.

### Sobre el origen de los achnelitos

Los achnelitos se pueden formar en cualquier erupción explosiva que emita piroclastos muy fluidos de baja viscosidad, normalmente de composición basáltica (s.l.). En general, las erupciones explosivas que implican lavas básicas son de estilo

stromboliano o hawaiano y, si interviene agua externa en el proceso explosivo, hidrovolcánicas.

Los achnelitos aparecen excepcionalmente en depósitos de erupciones strombolianas e hidrovolcánicas como componentes accesorios, casi anecdóticos, frente a los clastos juveniles angulares limitados por superficies de fractura, mayoritarios en la fracción ceniza (p.ej., Clarke *et al.*, 2009; Grunewald *et al.*, 2007).

En los depósitos resultantes de erupciones de tipo fuente de lava (p.ej., Hawai, Reunión, Etna, Masaya, Azores, etc) es muy frecuente la presencia de achnelitos, además en proporciones relativamente elevadas (p.ej., 177 lágrimas de Pele intactas, sin roturas, en 0,3 kg de muestra del Kilauea Iki, Hawai; Porritt *et al.*, 2012). Las cenizas achnelíticas más estudiadas y de referencia

en la literatura sobre materiales volcánicos son las de la fuente de lava del Kilauea Iki (Hawai, p.ej., Ladle, 1978; Porrit *et al.*, 2012).

Los achnelitos del volcán Las Herrerías son parecidos (tamaño, forma, petrografía, moda, etc.) a los formados en 1959 en el Kilauea Iki (ver por ejemplo Porrit *et al.*, 2012). Por otro lado, el cono de este volcán está formado esencialmente por *spatter*, producto también típico de las fuentes de lava. Por tanto, sugerimos que las cenizas achnelíticas estudiadas se pudieron formar en una fase eruptiva de tipo fuente de lava depositándose por caída en el entorno próximo al edificio volcánico.

Un modelo conceptual de fuente de lava para Las Herrerías incluye un foco volcánico, un chorro de tipo fuente (región incandescente), una pluma convectiva baja, depósitos de *spatter* proximales (cono de *spatter* y lavas alimentadas por *spatter*) y depósitos de caída.

La lava de baja viscosidad emitida en la fuente de lava se fragmentó (debido a la expansión del gas y a la rápida aceleración del magma en el conducto volcánico) en partículas de diferentes tipos y tamaños (fragmentos irregulares, gotas, filamentos, etc.). Estas partículas fueron posteriormente modificadas por tensión superficial, estiramiento aerodinámico, impactos en vuelo, expansión de las vesículas internas, etc., y pudieron fragmentarse antes de su depósito por caída (p.ej., Ladle, 1978; Porrit *et al.*, 2012).

Shimozuru (1994) estudió experimentalmente los parámetros físicos que gobiernan la formación de las lágrimas y los cabellos de Pele concluyendo que los primeros se producen cuando la velocidad de salida de las porciones de magma es baja. Los achnelitos elongados y los cabellos de Pele de Las Herrerías se formarían en respuesta a una rápida aceleración del magma procedente del foco volcánico, cuando la resistencia a la fricción (o arrastre aerodinámico) dio lugar a un estiramiento de las partículas de lava generando primero formas elongadas y finalmente filiformes.

Las partículas vítreas esféricas se pudieron formar por varios procesos: a) rotura de cilindros líquidos, b) rotación rápida de una masa líquida formando un aerosol de pequeñas gotas, y c) modificación de la forma de partículas irregulares previas por tensión superficial a elevada temperatura (p.ej., Ladle, 1978).

Los fragmentos de lava que finalmente formarían los achnelitos permanecerían en la columna eruptiva lo suficientemente calientes como para ser modelados, al menos en parte, por tensión superficial. Sin embargo, dichos fragmentos debieron ser lo suficientemente pequeños como para enfriarse por completo relativamente rápido y detener la expansión volumétrica del gas (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) situado en las vesículas internas. De este modo se preservaba la integridad de los achnelitos, que quedaban así limitados completamente por formas fluidales (cf., Porrit *et al.*, 2012). Los achnelitos pudieron romperse debido a la colisión entre clastos frágiles durante el vuelo, proceso especialmente eficaz en la zona turbulenta que se genera en el tránsito entre el chorro y la pluma convectiva. El reciclado de achnelitos dentro del chorro aumentaría la población de clastos frágiles susceptibles de colisionar y romper por impacto antes de su aterrizaje (Ladle, 1978). Además, los achnelitos frágiles reciclados pudieron romperse debido a las sucesivas explosiones soportadas.

Los magmas basálticos de alta temperatura y baja viscosidad, como los que forman los achnelitos estudiados, tienden a cristalizar de modo muy eficiente y requieren altas velocidades de enfriamiento para inhibir la cristalización (Porrit y Russell, 2012). La presencia de abundantes microlitos en los achnelitos estudiados refleja claramente la dificultad inherente de los magmas básicos y ultrabásicos para formar vidrio.

## Conclusiones

Los achnelitos del volcán Las Herrerías tienen un tamaño comprendido entre 0,3-2 mm y son esencialmente de dos tipos: (i) esféricos, incluyendo a lágrimas de Pele, y (ii) elongados, incluyendo a cabellos de Pele. Sus características granulométricas, morfológicas y texturales son similares a las de los achnelitos emitidos en erupciones de fuentes de lava actuales, como por ejemplo la erupción 1959 del Mauna Iki en Hawai, cuyos depósitos se toman como referencia de este tipo de tefra a nivel mundial.

Las achnelitos del volcán Las Herrerías se generaron a partir de la solidificación de gotas de lava (aerosol de lava) emitidas en una fuente de lava y depositadas por caída fuera del cono volcánico. La erupción de

estas cenizas achnelíticas pudo coincidir con la emisión de una importante cantidad de *spatter* que se acumuló en el cono volcánico. La presencia de ambos tipos de depósitos en el volcán Las Herrerías contribuye a resaltar la importancia de la actividad hawaiana en la RVCC.

De la información disponible, consideramos que se trata del primer hallazgo y descripción de tefra achnelítica (lágrimas y cabellos de Pele) en depósitos volcánicos de la Península Ibérica.

## Agradecimientos

Trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación ("Grupo Consolidado", Proyecto CGL2008-01130/BTE) y por la Universidad del País Vasco UPV/EHU (Grupo de Investigación GIU09/61). Agradecemos la colaboración de Narciso Cejudo, director de la explotación cantera UBLA-DESA. Igualmente, agradecemos los comentarios y sugerencias de A. Cuesta Fernández, J. López Ruiz y un revisor anónimo.

## Referencias

- Ancochea, E. (1982). *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 675 p.
- Carracedo Sánchez, M., Sarrionandia, F., Gil Ibarguchi, J.I. y Arostegi, J. (2010). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 196, 77-90.
- Cebriá, J.M. y López Ruiz, J. (1995). *Lithos* 35, 27-46.
- Clarke, H., Troll, V.R. y Carracedo, J.C. (2009). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 180, 225-245.
- Grunewald, U., Zimanowski, B., Büttner, R., Phillips, L.F., Heide, K., Buchel, G. (2007). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159, 126-137.
- Ladle, G.H. (1978). *Scanning electron microscopy and petrography of glassy particles produced by lava fountains eruptions*. Lunar and Planetary Institute, Contribution nº 325, Houston, 203 p.
- Porrit, L.A. y Russell, J.K. (2012). *Physics and Chemistry of the Earth* 45-46, 24-32.
- Porrit, L.A., Russell, J.K. y Quane, S.L. (2012). *Earth and Planetary Science Letters* 333-334, 171-180.
- Shimozuru, D. (1994). *Bulletin of Volcanology* 56, 217-219.
- Walker, G.P.L. y Croasdale, R. (1971). *Bulletin of Volcanology* 35, 303-317.