

Caracterización de materiales volcánicos mediante técnicas geofísicas someras: 2. Georadar

Characterization of volcanic materials using shallow geophysical techniques: 2. Ground penetrating radar

D. Gómez Ortiz, T. Martín Crespo, S. Martín Velázquez, A. Márquez, J. Lillo y I. López, F. Carreño

Área de Geología, Departamento de Matemáticas y Física Aplicadas y CC. de la Naturaleza, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán s/n, 28933 Móstoles (Madrid)

david.gomez@urjc.es, tomas.martin@urjc.es, silvia.martin@urjc.es, alvaro.marquez@urjc.es, javier.lillo@urjc.es, ivan.lopez@urjc.es, francisco.carreno@urjc.es

ABSTRACT

We have analyzed the ground penetrating radar (GPR) response in several volcanic materials (massive, pahoehoe and aa lava flows and airfall deposits) occurring in the Las Cañadas edifice (Tenerife, Canary Islands), in order to recognize their occurrence and characterize their thickness, spatial distribution, internal structures and discontinuities, as well as to evaluate the mean velocities of the electromagnetic waves in these rocks and deposits. The obtained GPR profiles show that, depending on the nature of the materials, the geometry of the reflectors is distinctive. The GPR reflectors of airfall pumice are thin, well-layered and laterally continuous. In contrast, different lava flows originate a different radar response. Regarding the pahoehoe lava flows, their radar signature is characterized by well defined reflectors. The aa lava flows exhibit weak reflectors. Massive lava flows are resolved as homogeneous structures with scarce or absent internal reflections. The mean velocity of the electromagnetic waves through the different deposits ranges from 0.07 to 0.099 m·ns⁻¹. As a general approximation, the velocity of the electromagnetic waves is faster in lava flows that in airfall deposits, where attenuation is greater and penetration depth is lower. The estimation of the propagation velocity for the electromagnetic waves has allowed us to process the profiles and to carry out depth-time conversions and migration, in order to get more realistic 2-D representations.

Key words: GPR, airfall deposits, lava flows, Tenerife

Geogaceta, 38 (2005), 59-62
ISSN: 0213683X

Introducción

Los materiales volcánicos comúnmente se presentan en niveles discontinuos y con texturas heterogéneas. Las coladas de lava y los depósitos de caída muestran normalmente relaciones estratigráficas complejas y, en muchas ocasiones, difícilmente definibles en superficie. El georadar es una técnica geofísica de superficie que se puede utilizar para caracterizar tanto las propiedades físicas y espaciales como la estructura interna y discontinuidades de este tipo de materiales. Aunque esta técnica está siendo utilizada para mejorar la cartografía de áreas volcánicas e identificar estructuras ocultas (Russell y Stasiuk, 1997; Rust y Russell, 2000; Cagnoli y Russell, 2000; Miyamoto *et al.*, 2003), son escasos los trabajos donde se aporte información sobre velocidades de ondas electromagnéticas.

En este trabajo se ha analizado la respuesta al georadar que presentan materiales volcánicos tales como depósitos de caída o distintos tipos de coladas (masivas, aa y pahoehoe), con el objeto de

identificar contactos litológicos, y determinar velocidades medias de ondas electromagnéticas en diferentes materiales volcánicos. Los perfiles 2 y 3 (realizados

en coladas) se han llevado a cabo dentro de los límites del Parque Nacional de Las Cañadas del Teide (Tenerife), mientras que el perfil 1 (en depósitos de caída) se

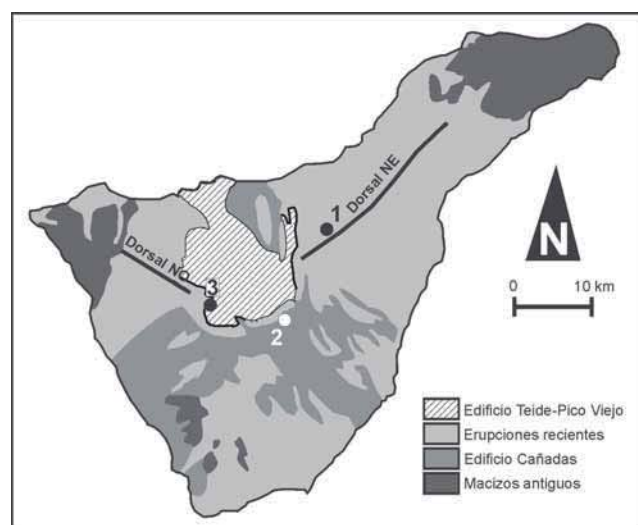


Fig. 1.- Esquema geológico de la isla de Tenerife con las principales unidades y la localización de los 3 perfiles descritos en el texto.

Fig. 1.- Geological sketch of Tenerife volcanic island where the main units and the location of the 3 profiles described in the text are shown.

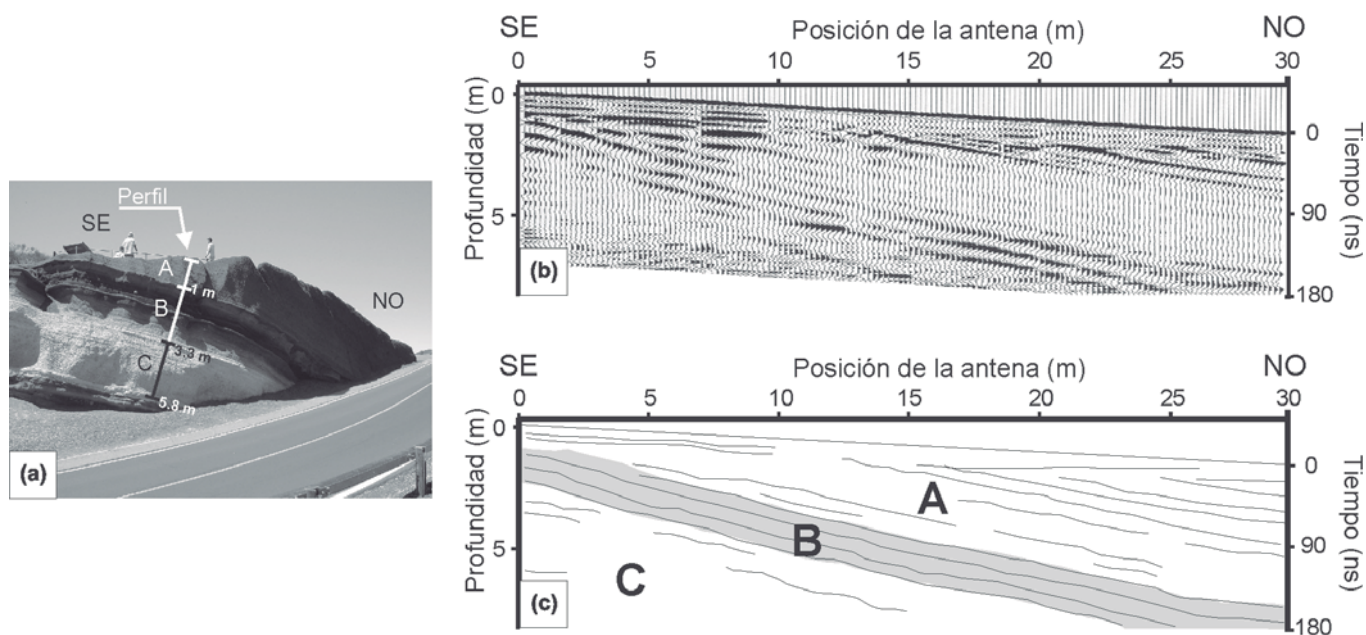


Fig. 2.- (a) Fotografía del afloramiento del perfil 1 de georadar; (b) radargrama procesado y migrado; (c) perfil interpretado: (A), (B) y (C) representan diferentes niveles de depósitos de caída que pertenecen a un pequeño cono volcánico.

Fig. 2.- (a) Field photograph of GPR profile 1; (b) processed and migrated radargram; (c) interpreted cross-section: (A), (B) and (C) represents different levels of airfall deposits pertaining to a small volcanic cone.

ha realizado fuera de los límites del mismo (Fig. 1). La variedad de depósitos y procesos que aparecen en este parque han sido intensamente estudiados (Ancochea *et al.*, 1999; Ablay y Martí, 2000), incluso con algunas técnicas geofísicas (e.g. Aubert y Kieffer 1998; Araña *et al.*, 2000; Pous *et al.*, 2002), pero nunca mediante la utilización de georadar. Los perfiles han sido realizados en zonas con buenos afloramientos, con escaso o nulo desarrollo de suelo y escasa cubierta vegetal.

Georadar

La técnica de georadar se basa en la medida de la respuesta de los distintos materiales a las ondas electromagnéticas de alta frecuencia. Una antena situada sobre el terreno emite estas ondas en forma de sucesivos pulsos que se propagan, se reflejan y/o se difractan en las superficies donde se produce un cambio en la permitividad dieléctrica. Los datos de velocidad de estas ondas permiten posteriormente estimar profundidades a partir de la transformación de los tiempos de respuesta medidos. Los valores medios representativos de velocidad de las ondas en los distintos tipos de materiales se pueden obtener mediante medidas directas en campo, a partir de datos publicados, o por calibración con reflectores observados en campo.

Las reflexiones de las ondas electromagnéticas se producen por cambios en las propiedades eléctricas de las rocas, por variaciones en el contenido en agua y

por cambios en la densidad de las rocas en contactos litológicos. También se producen cambios en la velocidad de las ondas cuando atraviesan huecos del terreno. Por tanto, el éxito de esta técnica dependerá en gran medida de que las superficies de interés estén asociadas con un contraste dieléctrico lo suficientemente importante como para producir fenómenos de reflexión. La profundidad de penetración y la resolución de los datos están en función de la longitud de onda y de la constante dieléctrica, parámetros controlados fundamentalmente por el contenido en agua de los materiales. La resolución se incrementa con la frecuencia de emisión, pero la profundidad disminuye.

Esta técnica se utiliza para la localización de contactos litológicos, la localización de fracturas, estudios de suelos, glaciología y en la estimación de profundidades de aguas subterráneas. También ha sido aplicada al estudio de materiales volcánicos, y en problemas relacionados con riesgo volcánico (Russel y Stasiuk, 1997; Rust y Russell, 2000; Cagnoli y Russell, 2000; Miyamoto *et al.*, 2003). Los materiales volcánicos someros son apropiados para la utilización de georadar debido a que son típicamente delgados, composicionalmente heterogéneos y a que pueden ser resistivos eléctricamente. Estas características facilitan la penetración de las ondas de radar, que en coladas de lava y en función de la frecuencia, pueden profundizar más de 10 metros (Davis y Annan, 1989).

Toma de datos y corrección de perfiles

En este trabajo se ha utilizado una antena GSSI apantallada de 100 MHz en modo monoestático. Se han adquirido los datos en modo 'punto a punto', con un intervalo de distancia entre trazas de 0,5 m a lo largo de una dirección constante, y teniendo en cuenta posibles variaciones topográficas. En este modo de adquisición, cada traza del radargrama es el resultado de un *stacking* de 64 medidas para aumentar la relación señal-ruido. Se ha empleado una ventana temporal de 450 ns para recibir información de fuentes profundas, y una ganancia automática.

El procesado de datos implica la normalización horizontal, eliminar el ruido de fondo, la corrección de tiempo cero y realizar un filtro de paso-banda. Para estimar la velocidad media de las ondas electromagnéticas se han empleado dos aproximaciones: a) la velocidad que produce un mejor ajuste entre las reflexiones GPR y los buzamientos y/o profundidades de los depósitos estudiados, y b) la velocidad media del material directamente relacionada con la geometría de reflexiones hiperbólicas originadas por fuentes puntuales. Una vez que se han obtenido los datos de velocidad, se ha aplicado el algoritmo de migración de Kirchoff para colapsar las hipérbolas de difracción y obtener las geometrías y profundidades reales. Todos los datos se han procesado, modelizado e interpretado usando el software Radan 5.0.

Resultados

Perfil 1. Depósitos de caída

Este perfil se ha realizado sobre depósitos de caída relacionados con las erupciones monogenéticas del sistema de rift de la Dorsal NE y con los depósitos de caída del edificio de Las Cañadas (Fig. 1). En la zona estudiada, se intercala un depósito de pumitas y cenizas distales blancas entre dos depósitos de escorias negras, con una orientación media N60°E 18° NO (Fig. 2a). La traza del perfil es subparalela a la dirección del buzamiento.

El radargrama se ha corregido topográficamente, se ha convertido el tiempo a profundidad y se ha migrado con una velocidad media de 0,075 m·ns⁻¹, valor que produce el mejor ajuste entre la inclinación de las reflexiones y los buzamientos medidos en campo (Fig. 2b). A lo largo del primer metro son visibles algunos reflectores subparalelos a la superficie topográfica, mientras que entre los metros 1 y 6 están inclinados hacia el NO. Se han identificado tres unidades (Fig. 2c): unidad A, caracterizada por reflectores bien definidos cerca de la superficie pero no discernibles en profundidad; unidad B, definida por la presencia de tres reflectores claros y continuos; y unidad C, con reflectores débiles y de baja amplitud.

Las tres unidades son coherentes con la estructura y disposición de los depósitos de caída aflorantes en este punto: la unidad A se corresponde con las escorias

negras homogéneas; la unidad B con las cenizas distales, que tienen un tamaño de grano más heterogéneo y superficies de deposición interna muy bien definidas; y la unidad C con las pumitas blancas.

Perfil 2. Colada de lava masiva

Este perfil se ha realizado en la parte alta de la pared SE de la Caldera de Cañadas (Fig. 1). En este sector hay una secuencia de 200 m de coladas de lava (unidad Las Pilas) originadas durante el primer estadio del último episodio constructivo del edificio de Las Cañadas (Cañadas III) hace 1.1-0.7 Ma (Ancochea *et al.*, 1999). La colada más superficial es masiva, tiene una composición fonolítica, y su espesor alcanza los 16 metros (Fig. 3a). Sobre esta secuencia se sitúa un depósito de fragmentos de rocas volcánicas antiguas y plutónicas (sienitas nefelíticas), que se relaciona con una gran explosión volcánica producida por la pérdida de presión en el reservorio del volcán de Las Cañadas asociada al deslizamiento de Icod (Ancochea *et al.*, 1999).

En este radargrama, se ha utilizado una velocidad media de 0,099 m·ns⁻¹ para ajustar las reflexiones producidas con el espesor de la colada más superficial y convertir el tiempo a profundidad (Fig. 3b). Se han definido dos unidades (Fig. 3c): la unidad A (0-1 m) constituida por reflectores discontinuos y subparalelos a la superficie topográfica; y la unidad B con reflexiones muy débiles o ausentes, y delimitada en su

parte superior (~1 m) e inferior (~16 m) por reflectores bien definidos, ondulados y ligeramente discontinuos.

Las unidades A y B se han interpretado como la respuesta al georadar del depósito explosivo relacionado con el deslizamiento de Icod y de la colada de lava más superficial, respectivamente. La naturaleza escoriácea de la colada a techo y muro produce los reflectores irregulares pero muy marcados a 1 y 16 metros de profundidad, mientras que su estructura interna homogénea determina la ausencia o debilidad de éstos en profundidades intermedias.

Perfil 3. Contacto entre coladas aa y pahoehoe

Este perfil ha sido adquirido en el límite oeste del parque nacional (Fig. 1), en el arcén de la carretera TF 823, que atraviesa las coladas de lava de la erupción histórica de Chaorra (1798), el último episodio eruptivo del complejo volcánico de Pico Viejo (Fig. 4a). Las coladas de lava generadas en esta erupción no solo rellenaron este sector de la caldera de Las Cañadas, sino que rebasaron la misma hacia el oeste.

Se ha realizado la conversión de tiempo a profundidad y la migración con una velocidad de 0,070 m·ns⁻¹, ajustando las hipérbolas asociadas a las difracciones que se producen en fuentes puntuales (Fig. 4b). Se han diferenciado dos unidades (Fig. 4c): una unidad A superior, definida por reflectores horizontales difusos con algunas reflexiones

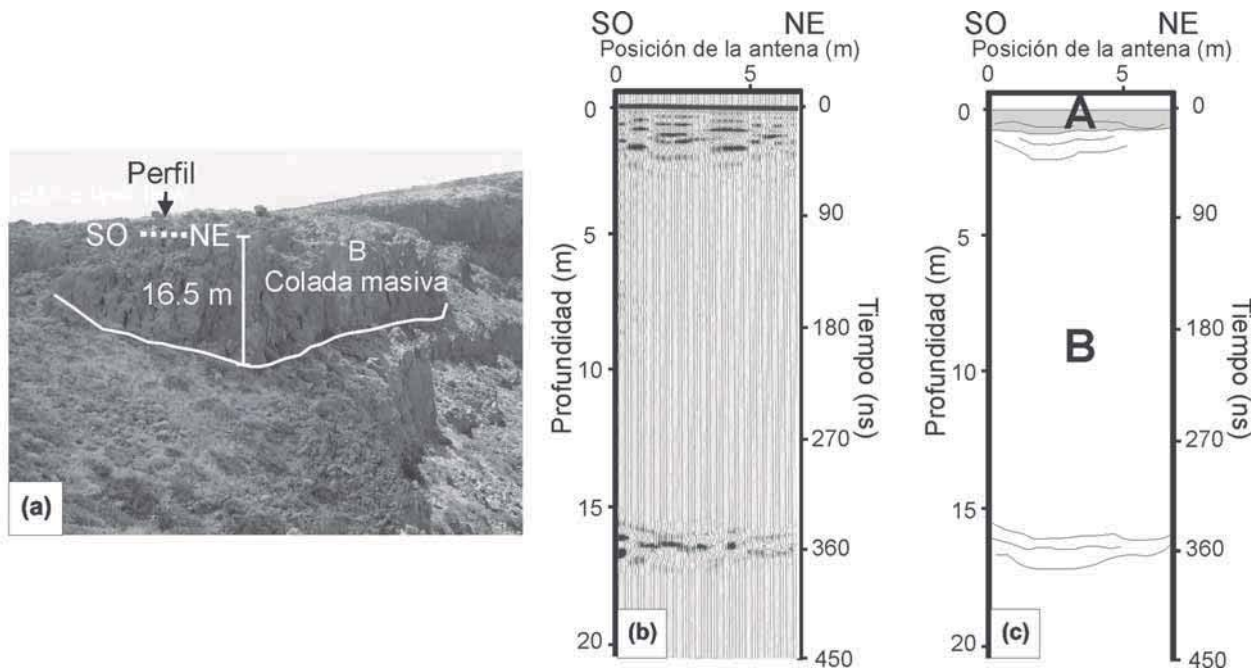


Fig. 3.- (a) Fotografía del afloramiento del perfil 2 de georadar; (b) radargrama procesado; (c) perfil interpretado: (A) representa depósitos explosivos y (B) una colada masiva perteneciente a la Caldera de Las Cañadas.

Fig. 3.- (a) Field photograph of GPR profile 2; (b) processed radargram; (c) interpreted cross-section: (A) surface blast deposits and (B) massive lava flow from the Las Cañadas caldera.

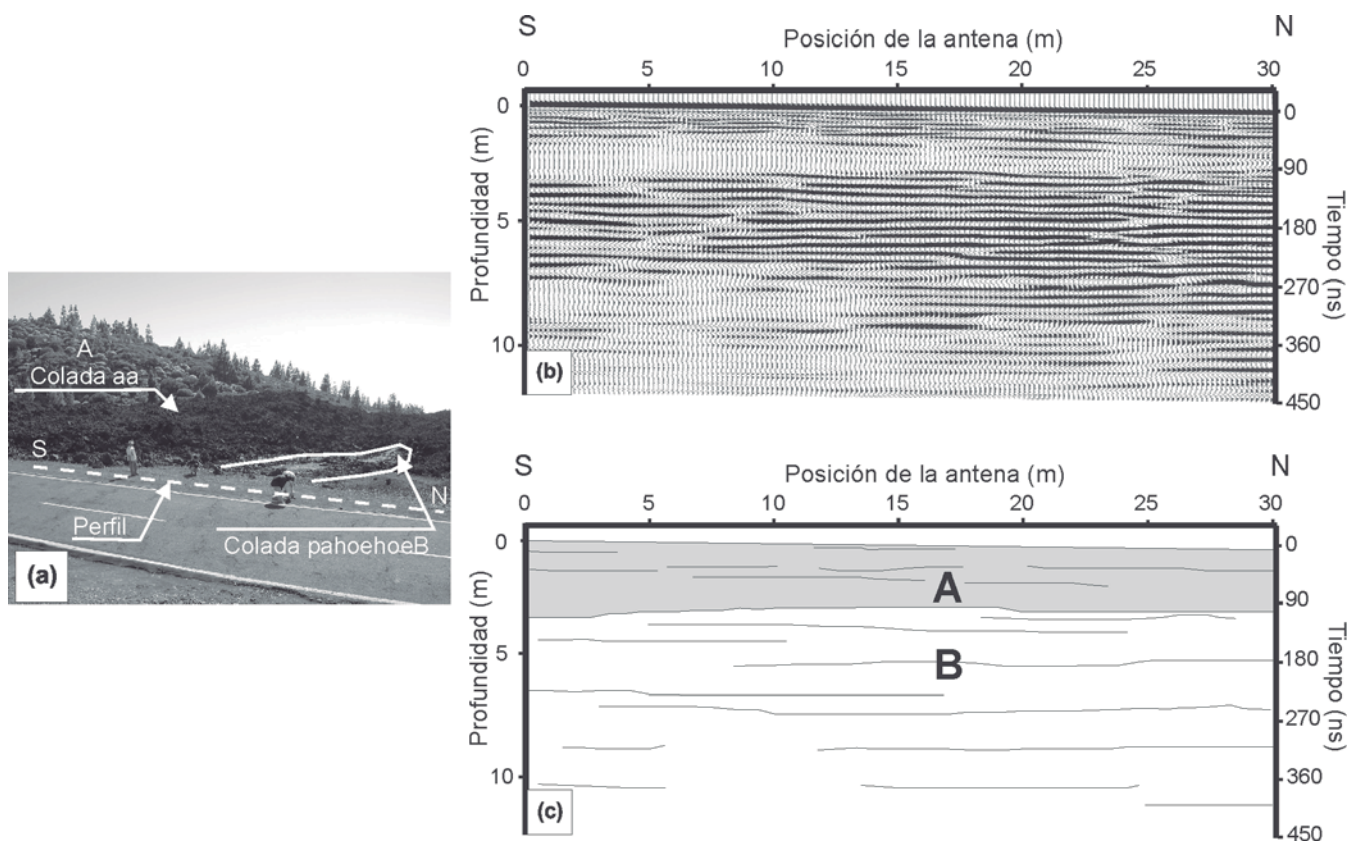


Fig. 4.- (a) Fotografía del afloramiento del perfil 3 de georadar; (b) radargrama procesado y migrado; (c) perfil interpretado: (A) representa las coladas de lava aa y (B) las coladas de lava pahoehoe.

Fig. 4.- (a) Field photograph of GPR profile 3; (b) processed and migrated radargram; (c) interpreted cross-section: lava flows from the Pico Viejo volcano: (A) aa lava flows, (B) pahoehoe lava flows.

suavemente acentuadas; y una unidad B inferior, con reflectores ondulantes, fuertes y continuos, que se atenúan en profundidad, principalmente hacia el extremo S del perfil. El límite entre ambas unidades se localiza a unos 2,5-3,2 m de profundidad.

Teniendo en cuenta las observaciones de campo y las características del radar, la unidad A representa una colada aa masiva y extremadamente rugosa, mientras que la unidad B se ha interpretado como la sucesión de coladas pahoehoe con sus estructuras cordadas típicas. El contacto entre ambos tipos de coladas se localiza a una profundidad media de 3 m, en concordancia con el espesor de la colada aa.

Conclusiones

El presente trabajo pone de relieve las posibilidades de la técnica del georadar en la identificación de depósitos de caída y diferentes tipos de colada, así como de su estructura en profundidad. Los perfiles procesados muestran que cada tipo de depósito presenta reflectores con una geometría característica: a) en los depósitos de caída son delgados y tienen una buena continuidad lateral, b) en las coladas masivas, tanto en la base como en el techo los

reflectores son marcados y de geometría ondulada, mientras que en su parte interna no hay reflexiones, c) en las lavas pahoehoe están bien definidos, y d) en las lavas aa son de geometría ondulada y lateralmente discontinuos.

El rango de velocidades medias de las ondas electromagnéticas en estos materiales volcánicos es de 0,07 a 0,099 m·ns⁻¹, siendo mayores en las coladas de lava que en los depósitos de caída. La profundidad de penetración está directamente relacionada con estas velocidades, y por tanto con la naturaleza de los depósitos. De esta manera, la profundidad de penetración en este estudio oscila entre 6 m para los depósitos de caída y 16 m para las coladas masivas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos de investigación REN2002-11953-E del Ministerio de Ciencia y Tecnología y PPR-2003-44 de la Universidad Rey Juan Carlos.

Referencias

Ablay, G.J. y Martí, J. (2000). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 103,

175-208.

Ancochea, E., Huertas, M.J., Cantagrel, J.M., Coello, J., Fúster, J.M., Arnaud, N. e Ibarrola, E. (1999). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88, 177-199.

Araña, V., Camacho, A.G., Garcia, A., Montesinos, F.G., Blanco, I., Vieira R. y Felpeito, A. (2000). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 103, 43-64.

Aubert, M. y Kieffer, G. (1998). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 326, 87-92.

Cagnoli, B. y Russell, J.K. (2000). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 96, 45-56.

Davis, J.L. y Annan, A.P. (1989). *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.

Miyamoto, H., Haruyama, J., Rokugawa, S., Onishi, K., Toshioka, T. y Koshinuma, J. (2003). *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 62, 281-288.

Pous, J., Heise, W., Schnegg, P.A., Muñoz, G., Martí, J y Soriano, C. (2002). *Earth and Planetary Sciences. Letters*, 204, 249-263.

Russell, J.K. y Stasiuk, M.V. (1997). *Bulletin of Volcanology*, 58, 515-527.

Rust, A.C. y Russell, J.K. (2000). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 95, 23-34.