

# Composición de las lavas asociadas a los colapsos de flanco del sector occidental del Valle de La Orotava (Tenerife)

Composition of the lava associated with the flank collapses of the western sector of the La Orotava (Tenerife)

Eumenio Ancochea<sup>1</sup>, María José Huertas<sup>1</sup>, Álvaro Márquez<sup>2</sup>, Raquel Herrera<sup>3</sup> y Juan Jesús Coello-Bravo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid; [eancochea@ucm.es](mailto:eancochea@ucm.es), [huertas@ucm.es](mailto:huertas@ucm.es).

<sup>2</sup>Área de Geología, Universidad Rey Juan Carlos (URJC), C/Tulipán, s/n, 28933 Móstoles, Madrid, [alvaro.marquez@urjc.es](mailto:alvaro.marquez@urjc.es), [raquel.herrera@urjc.es](mailto:raquel.herrera@urjc.es)

<sup>3</sup>Museo de Ciencias Naturales de Tenerife, MUNA, C/Fuente Morales, 1, 38003 Santa Cruz de Tenerife, Spain [juancoellobravo@gmail.com](mailto:juancoellobravo@gmail.com)

## ABSTRACT

The lava flows from two water galleries excavated in the La Orotava valley that drill the infilling sequence of the depression generated after the massive flank collapse of La Orotava (OL) and the two smaller flank collapses (WO-1 and WOL-2) have been analyzed. Especially the lava flows located immediately above and below the avalanche deposits associated with the WOL-2 (the U-DAD). They are mostly basanites, with some more evolved rocks (trachybasalts and basaltic trachyandesites). From their chemical characteristics, they all seem to belong to the same magmatic system and linked together by simple fractionation processes of clinopyroxene and, to a lesser extent, olivine. After the WOL-2 flank collapse, the rocks are, in general, less evolved, somewhat more alkaline, and often very rich in mafic phenocrysts.

**Key-words:** Tenerife, La Orotava Valley, Volcanic flank collapses, Changes in the volcanic system.

Geogaceta, 71 (2022), 75-78  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

## RESUMEN

Se han analizado las lavas de dos galerías de agua excavadas en el valle de La Orotava que cortan la secuencia de relleno de la depresión generada tras el gran colapso de flanco de La Orotava (OL) y los dos colapsos de flancos menores (WOL-1 y WOL-2). Especialmente las lavas situadas inmediatamente encima y debajo de los depósitos de avalancha asociados al WOL-2 (el U-DAD). Se trata mayoritariamente de basanitas, con algunos términos algo más evolucionados (traqui-basaltos y traquiandesitas basálticas). Por sus características químicas parecen pertenecer todas a un mismo sistema magmático y ligadas entre sí por procesos sencillos de fraccionación de clinopiroxeno y, en menor medida, de olivino. Tras el colapso de flanco WOL-2 se aprecia que las rocas son, en general, menos evolucionadas, algo más alcalinas y, con frecuencia, muy ricas en fenocristales máficos.

**Palabras clave:** Tenerife, Valle de La Orotava, Colapso de flanco, Cambios en el sistema volcánico.

Fecha de recepción: 12/07/2021  
Fecha de revisión: 29/10/2021  
Fecha de aceptación: 26/11/2021

## Introducción

Los colapsos de flanco gigantes que producen grandes avalanchas de escombros son comunes en las islas volcánicas oceánicas, dando lugar a grandes depresiones en forma de U (por ejemplo, Moore *et al.*, 1989, Holcomb y Searle, 1991, McGuire, 2006, Blahut *et al.*, 2018) que, con frecuencia, son rellenadas muy rápidamente por la actividad volcánica posterior y también por la actividad sedimentaria debido a la intensa erosión de las paredes del anfiteatro. Las Islas Canarias son uno de los principales lugares del mundo para el estudio de estos fenómenos debido a la gran cantidad de colapsos masivos que han afectado sus flancos desde el Mioceno al Pleistoceno (ej. Krastel *et al.* 2001, Masson *et al.* 2002, Acosta *et al.* 2003, Hunt *et al.* 2014). En Tenerife, la existencia de una densa red de galerías profundas, de escasa pendiente (5-7°<sub>∞</sub>) perforadas para la extracción de agua subterránea, permite el acceso subterráneo y el estudio de estos rellenos. Uno de los colap-

sos de flanco mayor y más representativo es el de La Orotava (OL: *Orotava Landslide*, Fig. 1) que afectó a la parte norte de la isla, hace unos 550-600 ka, y al que sucedieron en su parte occidental dos colapsos de flanco menores en los 100 ka siguientes (Coello-Bravo *et al.* 2020).

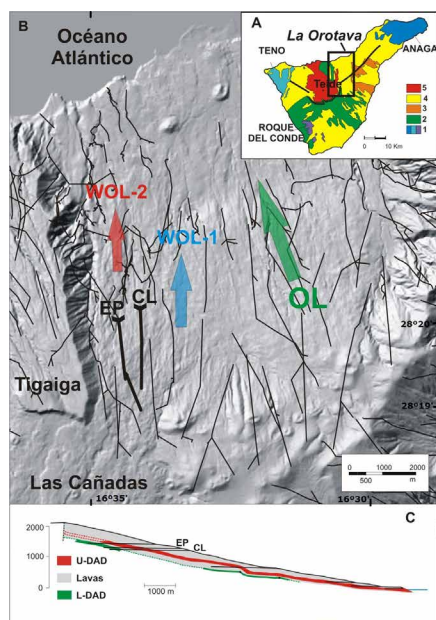
## Objetivo y planteamiento

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la composición de las lavas asociadas a uno de los deslizamientos menores del valle de La Orotava: el colapso de flanco del Oeste de La Orotava-2 (*Western Orotava Landslide 2*: WOL-2) (Coello-Bravo *et al.*, 2020), que generó el denominado depósito de *avalancha de escombros superior* (U-DAD: *Upper Debris Avalanche Deposit*) y analizar si se han producido cambios significativos en la composición de las lavas antes de la avalancha (Pre U-DAD) y después de la misma (Post U-DAD). Las muestras han sido analizadas en el laboratorio Act. Lab. de Canadá.

Se han recogido muestras de coladas de lava en dos galerías de agua: la Galería de Cruz de Luis (CL) y la Galería del Portillo (EP), cuyas entradas están situadas respectivamente a 1170 m y 1240 m de altitud (Fig. 1). Ambas cortan el U-DAD y llegan hasta el L-DAD (*Lower Debris Avalanche Deposit*). En ninguna de ellas aparece el I-DAD (*Intermediate Debris Avalanche Deposit*), que está situado algo más al este (Fig. 1) (Coello-Bravo *et al.*, 2020).

Para intentar detectar mejor las posibles variaciones composicionales se han muestreado las coladas frescas más próximas a la brecha (U-DAD), tanto por encima, como por debajo de ella. El número de muestra indica la distancia de penetración en la galería, desde la boca de entrada (en metros): así, por ejemplo, la muestra EP-1110 está tomada a 1110 m de distancia de la boca. En la galería de El Portillo el techo de la brecha está situada a 1170 m de la boca de entrada (Fig. 1C y 2), por lo que las muestras EP-1110, EP-1160 y EP-1168 están, respectivamente,

60 m, 10 m y 2 m antes del techo de la brecha (estratigráficamente por encima). La muestra EP1168 es la primera colada por encima del U-DAD y la EP1160 es la segunda. Las muestras EP-1410 y EP-1430 están 60 m y 80 m después del muro del U-DAD, que está situado a 1350 m de la



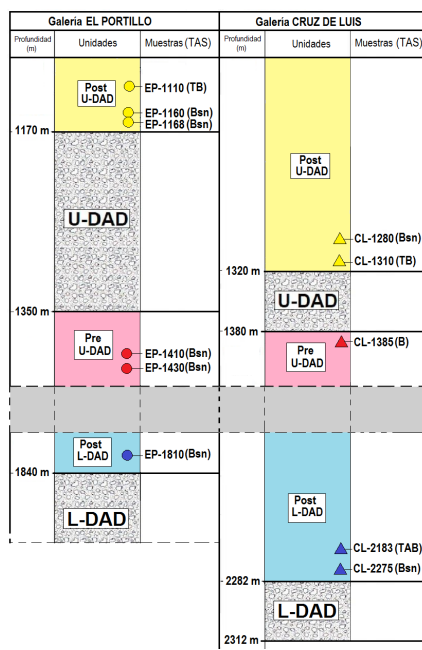
**Fig. 1.- A:** Mapa geológico simplificado de la isla de Tenerife (1: Edificios volcánicos miocenos; 2) Edificio Cañadas; 3) Rift NE; 4) Vulcanismo reciente de los rifts; 5) Teide-Pico Viejo) con la localización de la zona de estudio (rectángulo negro). **B:** Distribución de las galerías de extracción de agua (líneas negras) en el Valle de La Orotava. En trazo más grueso las dos galerías de este estudio (EP: El Portillo; CL: Cruz de Luis). Las flechas indican la dirección y localización aproximada de los tres deslizamientos propuestos por Coello-Bravo et al., 2020, a partir de datos geológicos de las galerías (OL: La Orotava Valley; WOL-1: La Orotava Occidental-1; WOL-2: La Orotava Occidental-2). **C:** Corte geológico N-S, en el sector del WOL-2, donde se observa cómo las galerías de estudio cortan el depósito del deslizamiento WOL-2 (U-DAD) así como lavas de relleno del valle por encima y por debajo de este depósito y alcanzan el L-DAD (Coello-Bravo et al., 2020).

*Fig. 1. - A: Simplified geological map of the island of Tenerife (1: Miocene volcanic Edifices; 2) Cañadas Edifice; 3) NE Rift; 4) Recent volcanism from rifts; 5) Teide-Pico Viejo) with the location of the study area (black rectangle). B: Distribution of the water extraction galleries (black lines) in the La Orotava Valley. In thicker line the two galleries of this study (EP: El Portillo; CL: Cruz de Luis). The arrows indicate the direction and approximate location of the three landslides proposed by Coello-Bravo et al., 2020, from geologic data of the galleries (OL: La Orotava Valley; WOL-1: La Orotava Occidental-1; WOL-2: La Orotava Occidental-2). C: NS geologic section, in the WOL-2 sector, showing how the study galleries cut the WOL-2 landslide deposit (U-DAD) as well as the valley fill lava flows above and below this deposit and they reach the L-DAD (Coello-Bravo et al., 2020).*

boca de entrada (Fig. 2).

En la galería de Cruz de Luis, las muestras CL-1310 y CL-1280 están situadas, respectivamente, 10 m y 40 m antes del techo del U-DAD, situado a 1320 m de la entrada, y son respectivamente la primera y la segunda colada por encima del U-DAD. La muestra CL-1385, se sitúa 5 m después del muro del U-DAD.

Los metros de penetración en la galería no indican espesor real. Por la inclinación de las capas (unos 12°-15°) 100 m de penetración equivalen a unos 20-25 m de espesor. Hay que tener en cuenta, que mientras que los niveles de brechas, como U-DAD, son plenamente correlacionables entre galerías, pues se corresponden con un único evento geológico, las coladas anteriores y posteriores al U-DAD sólo lo son aproximadamente. Cualquiera de las coladas que atraviesa una de las galerías, puede no ser atravesada por la otra galería. Por ejemplo, en el caso de las muestras Post U-DAD, se sabe que la EP-1410 es más joven que la EP-1430 y que la CL-1280 es más joven que la CL-1310, pero se desconoce la correlación precisa entre las muestras de galerías diferentes. Sólo se sabe que, en ambos casos, son las más próximas



**Fig. 2. Estratigrafía y posición de las muestras en las galerías de El Portillo y Cruz de Luis. Para simplificar la figura se ha omitido una parte entre los materiales Pre U-DAD y los Post L-DAD de los que no se han analizado muestras (en gris en la figura).**

*Fig. 2. - Stratigraphy and position of samples in the El Portillo and Cruz de Luis water galleries. To simplify the figure, a part between the Pre U-DAD and Post L-DAD materials of which no samples have been analyzed (in gray in the figure) has been omitted.*

al U-DAD en la respectiva galería.

Para poder comparar, se han analizado también muestras por encima del L-DAD, es decir, las más próximas al deslizamiento principal de La Orotava (EP-1810, CL-2275 y CL-2183).

## Resultados

La mayor parte de las coladas muestreadas son basanitas (TAS), aunque existen algunas coladas más evolucionadas traquibasálticas (hawaítas) o traquian-desitas basálticas (mugearitas). En ninguna de las muestras se observa feldespatoide, es decir, petrográficamente son esencialmente basaltos. El contenido en fenocristales, habitualmente de clinopiroxeno y olivino, es variable, desde menos del 5% en los términos afíricos, hasta tipos con más del 15% de cristales máficos. En varias de las rocas aparece también anfíbol como fenocristal máfico principal.

En ningún caso las rocas tienen características químicas típicas de magmas primarios, ni de magmas muy evolucionados (p.e. contenidos en Ni de 50 a 150 ppm y en Cr de 20 a 220 ppm). Están enriquecidas en tierras raras ligeras ((La/Yb)<sub>N</sub>: entre 18 y 23) y sus espectros de elementos traza son muy similares entre sí. Ese hecho, junto a la excelente correlación entre elementos como, por ejemplo: SiO<sub>2</sub>-álcalis (R<sup>2</sup>: 0,94), SiO<sub>2</sub>-MgO (R<sup>2</sup>: 0,88), SiO<sub>2</sub>-CaO (R<sup>2</sup>: 0,97), SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (R<sup>2</sup>: 0,92), indica que no parecen existir grandes diferencias en el sistema magmático en el que se generaron las distintas coladas; un proceso de cristalización fraccionada sencillo, con extracción de clinopiroxeno y olivino, en proporciones próximas a 83:17, podría justificar las principales variaciones observadas.

Las figuras 3 y 4 reflejan la variación del contenido en determinados elementos o parámetros representativos según su distancia a la U-DAD en las galerías. Se han representado juntas las muestras de ambas galerías. En las figuras la posición de las muestras Post U-DAD es la distancia (en valores positivos) al techo del U-DAD, en metros de penetración en la galería. La de las muestras Pre U-DAD y la de las Post L-DAD es la distancia (en valores negativos) al muro de la U-DAD, también en metros de penetración en la galería. Realmente las muestras Post-L-DAD también pre datan el U-DAD, aunque están más próximas L-DAD (Fig. 2).

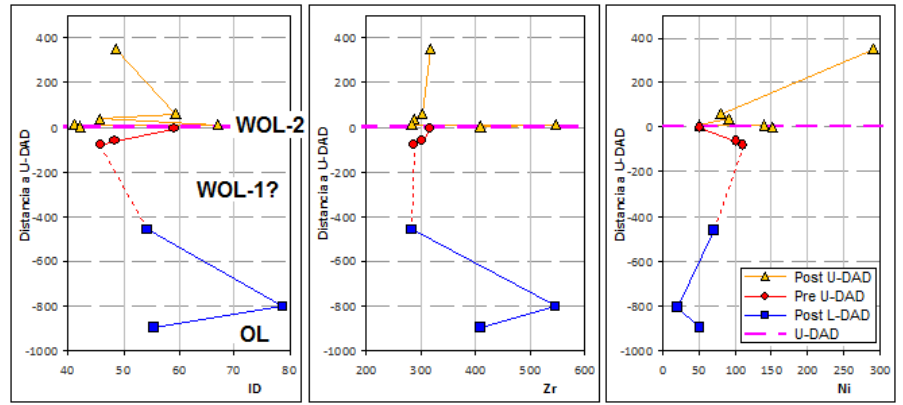
**Discusión**

El efecto que los colapsos de flanco pueden tener en sistemas volcánicos ha sido estudiado tanto en ambientes continentales, como en arcos-isla y en islas oceánicas. En muchos casos, a estos grandes deslizamientos les sigue un incremento en la actividad volcánica y cambios en la composición de los magmas, debido a la descompresión generada por el deslizamiento (p.e. Presley *et al.*, 1997; Hildebrand *et al.*, 2004; Watt, 2019). En Canarias, los posibles efectos de los colapsos de flanco han sido estudiados, por ejemplo, en La Palma (Galipp *et al.*, 2006), en el Hierro (Manconi *et al.*, 2009) o en Tenerife (Longpré *et al.*, 2009; Boulesteix *et al.*, 2012).

Hildenbrand *et al.* (2004) observan que tras un episodio de colapso en la isla de Tahiti-Nui hubo un incremento en la tasa de emisión, así como en el grado de fusión parcial del manto que generó los magmas primarios implicados. Presley *et al.* (1997) señalan que tras un colapso de flanco en la isla de Oahu (Hawaii) aumentó ligeramente el grado de fusión parcial e hicieron erupción magmas menos fraccionados y con frecuentes xenolitos.

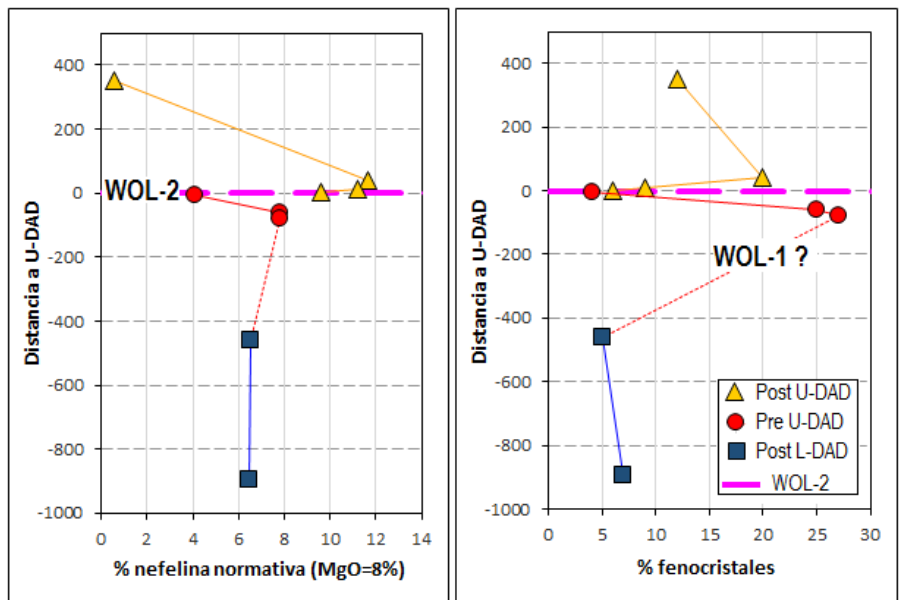
En El Hierro, Manconi *et al.* (2009) señalan que entre las coladas pre-colapso de El Golfo hay algunas traquíticas; sin embargo, los términos más evolucionados están ausentes en las coladas post-colapso, que con frecuencia son más densas, más ricas en cristales y con elevados contenidos en MgO. En Tenerife, en el edificio de Teno, Longpré *et al.* (2009) destacan que las lavas más silíceas se encuentran en las secuencias inmediatamente anteriores a los deslizamientos. Después de éstos las lavas son esencialmente máficas y los tipos ankaramíticos, ricos en clinopiroxeno y en olivino, son inusualmente abundantes. En La Palma, Ancochea *et al.* (1994) indican que las lavas del edificio del Bejenado, post-colapso, son más sálicas y más alcalinas que las lavas pre-colapso. También en la isla de São Vicente en Cabo Verde, tras el colapso de flanco de Praia Grande los magmas se hacen mucho más alcalinos (nefelinitas y carbonatitas) (Ancochea *et al.*, 2010).

En todos esos casos se trata de deslizamientos de enorme volumen (decenas o centenares de km<sup>3</sup>) mientras que el volumen de los WOL es mucho menor, del orden de algún km<sup>3</sup> (Coello-Bravo *et al.*, 2020), por lo que los efectos, de haberlos, deben haber sido de mucha menor entidad.



**Fig. 3. Variación del ID (Índice de Diferenciación), Zr y Ni con la posición estratigráfica (distancia al U-DAD). OL: Colapso de flanco de la Orotava; WOL-1: Colapso de flanco Occidental de La Orotava 1; WOL-2: Colapso de flanco Occidental de La Orotava 2.**

*Fig. 3. -Variation of DI (Differentiation Index), Zr and Ni with stratigraphic position (distance to U-DAD). OL: Orotava flank collapse; WOL-1: Western Orotava flank collapse 1; WOL-2: Western Orotava flank collapse 2.*



**Fig. 4.- Variación del contenido en nefelina normativa y de fenocristales máficos con la posición estratigráfica (distancia al U-DAD), en las rocas con menos del 46% de SiO<sub>2</sub>. OL: Deslizamiento de la Orotava; WOL-1: Deslizamiento Occidental de La Orotava 1; WOL-2: Deslizamiento Occidental de La Orotava 2.**

*Fig. 4. - Variation of normative nepheline and mafic phenocrysts content with stratigraphic position (distance to U-DAD), in rocks with less than 46% SiO<sub>2</sub>. OL: Orotava Landslide; WOL-1: Western Orotava Landslide 1; WOL-2: Western Orotava Landslide 2.*

En las coladas que rellenan depresiones post colapso suele hablarse de dos tipos de variaciones: las de gran escala, que afectan a todo el conjunto del relleno y que, en nuestro caso, se refieren a los más de 1200 m de penetración en las galerías (unos 250-300 m de potencia de depósitos), y las de menor escala, que reflejan las variaciones entre las muestras situadas inmediatamente antes y después de los colapsos.

En los colapsos de flanco de La Orotava, el colapso de flanco principal (OL: Orotava Landslide) es, por su volumen, el que puede haber afectado más al sistema magmático, por lo que las variaciones de

gran escala pueden ser atribuidas a él. Los colapsos de flanco posteriores (WOL) son seguramente los responsables de variaciones de menor entidad, esencialmente en las muestras muy próximas al U-DAD. Por otra parte, hay que recordar que por debajo del U-DAD, generado en el WOL-2, en otras galerías, se ha identificado otro deslizamiento el I-DAD (Coello-Bravo *et al.*, 2020), generado en el WOL-1, y que éste también ejerció su influencia en el sistema magmático.

En el caso de la zona estudiada, para todo el conjunto, se observa que las muestras menos evolucionadas (p.e. ID < 50; Ni > 100) se sitúan tras el U-DAD

(WOL-2), pero también inmediatamente antes (Fig. 3). Si consideramos que antes de ellas tuvo lugar el deslizamiento WOL-1, parece concluirse que tras estos dos deslizamientos menores son más frecuentes los términos menos evolucionados.

La variación en la concentración de determinados elementos y el valor de algunos parámetros puede verse modificada por los procesos de evolución magmática. Por eso, en la figura 4 se han eliminado las rocas más evolucionadas (con  $\text{SiO}_2 > 46\%$ ) y se ha recalculado la composición de las rocas al 8% de MgO, con cristalización de 83% Cpx y 17% de Ol. Eliminando este factor debido a la fraccionación, se observa que el contenido en nefelina normativa es inferior al 8% en todas las rocas Pre U-DAD, pero aumenta notablemente (hasta el 12%) en las primeras coladas tras el U-DAD, para volver, en las coladas más recientes, a valores bajos. Este aumento de la alcalinidad tras el U-DAD se ha observado también en La Palma y en São Vicente.

El contenido en fenocristales máficos de estas rocas varía bastante. Las muestras más alejadas del U-DAD (post-L-DAD) tienen contenido menores. Sin embargo, como sucede en otras áreas tras grandes colapsos, también aquí son muy abundantes las rocas con un elevado contenido en fenocristales máficos: clinopiroxenos, olivinos y anfíboles. Esto sucede sobre todo en algunas muestras post-U-DAD, pero también en algunas pre-U-DAD, sugiriendo de nuevo la existencia de un posible efecto del WOL-1. Además, destaca la gran cantidad de anfíbol que aparece en la mayoría de las rocas próximas al I-DAD y al U-DAD que podría indicar un cambio en la composición de los magmas hacia fundidos más hidratados.

## Conclusiones

Las lavas de las dos galerías que atraviesan los depósitos que rellenan la

depresión generada tras el colapso de flanco de La Orotava y los dos colapsos de flanco menores del Oeste (WOL-1 y WOL-2), tienen, en general, una marcada homogeneidad y no ponen de manifiesto la existencia de cambios de gran magnitud en el sistema magmático durante el relleno.

Sin embargo, en las muestras próximas al U-DAD, se aprecian algunos cambios significativos que, dado el pequeño volumen que desplazaron los WOL (unos pocos  $\text{km}^3$ ), podrían no haberse evidenciado. En general, puede decirse que, sin corresponder nunca a magmas primarios, las lavas próximas al U-DAD son poco evolucionadas y tienen un elevado contenido en fenocristales máficos, como sucede tras otros grandes colapsos de flanco, como los de El Hierro (Manconi *et al.*, 2009) o Teno (Longpré *et al.*, 2009) y son algo más alcalinas como en La Palma (Ancochea *et al.*, 1994) o en São Vicente (Ancochea *et al.*, 2010).

## Agradecimientos

Para la ejecución del trabajo se ha contado con fondos del Grupo de Investigación UCM-910469 y del Proyecto CGL2017-86241-R.

Nuestro especial agradecimiento a los revisores R. Casillas y A. Ahijado que han contribuido a mejorar notablemente el contenido del artículo.

## Referencias

Acosta, J., Uchupi, E., Muñoz, A., Herranz, P., Palomo, C., Ballesteros, M. y ZEE Working Group. (2003). *Marine Geophysical Research* 24, 1-40.

Ancochea, E., Hernán, F., Cendrero, A., Cantagrel, J. M., Fúster, J. M., Ibarrola, E. y Coello, J. (1994). *Journal of Volcanology Geothermal and Research* 60, 243-262.

Ancochea, E., Huertas, M.J., Hernán, F., y Brändle, J.L. (2010). *Journal of Volcanology Geothermal and Research* 198, 143-157.

Blahut, J., Klimeš, J., Rowberry, M., y Kusák, M. (2018). *Landslides* 15, 823-827.

Boulestex, T., Hildenbrand, A., Gillot, P.Y. y Soler, V. (2012). *Geomorphology* 138, 61-73.

Coello Bravo, J.J., Márquez, A., Herrera, R., Huertas, M.J. y Ancochea, E. (2020). *Journal of Volcanology Geothermal and Research* 401. DOI.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106980

Galipp, K., Klügel, A. y Hansteen, T.H. (2006). *Journal of Volcanology Geothermal and Research* 155, 285-306.

Hildenbrand, A., Gillot, P. y Le Roy, I. (2004). *Earth and Planetary Science Letters* 217, 349-365.

Holcomb, R.T. y Searle, R.C. (1991). *Marine Georesources and Geotechnology* 10, 19-32.

Hunt, J.E., Talling, P.J., Clare, M.A., Jarvis, I. y Wynn, R.B. (2014). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 15, 3322-3345.

Krastel, S., Schmincke, H.U., Jacobs, C.L., Rihm, R., Le Bas, T.P. y Alibés, B. (2001). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 106, 3977-3998.

Longpré, M.A., Troll, V.R., Walter, T.R., y Hansteen, T.H. (2009). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*-10, Q12017.

Manconi, A., Longpre, M.A., Walter, T.R., Troll, V.R. y Hansteen, T.H. (2009). *Geology* 37, 1099-1102.

Masson, D.G., Watts, A.B., Gee, M.J.R., Urgelés, R., Mitchell, N.C., Le Bas, T.P. y Canals, M. (2002). *Earth Sciences Reviews* 57, 1-35.

McGuire, W.J. (2006). In: *Mechanisms of Activity and Unrest at Large Calderas* (C. Troise, G. De Natale y C.R.J. Kilburn, Eds.). Geological Society London Special Publications 269, 121-140.

Moore, J.G., Clague, D.A., Holcomb, R.T., Lipman, P.W., Normark, W.R. y Torresan, M.E., (1989). *Journal of Geophysical Research* 94, 17465-17484.

Presley, T.K., Sinton, J.M. y Pringle, M. (1997). *Bulletin of Volcanology*, 58, 597-616.

Watt, S.F.L. (2019). *Journal of Volcanology Geothermal and Research* 384, 280-303.