

Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica
Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica



10.^a ASAMBLEA HISPANO-PORTUGUESA DE GEODESIA Y GEOFÍSICA

10.^a ASSEMBLEIA LUSO-ESPANHOLA DE GEODESIA E GEOFÍSICA

Artículos
Artigos



Toledo, 28 noviembre - 1 diciembre 2022
Toledo, 28 novembro - 1 dezembro 2022

Palacio de Congresos «El Greco»

Organizado por:



Comisión Española de
Geodesia y Geofísica



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA



Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica
Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica



**10.^a ASAMBLEA HISPANO-PORTUGUESA
DE GEODESIA Y GEOFÍSICA**

**10.^a ASSEMBLEIA LUSO-ESPANHOLA
DE GEODESIA E GEOFÍSICA**

Artículos
Artigos



Toledo, 28 noviembre - 1 diciembre 2022
Toledo, 28 novembro - 1 dezembro 2022

Palacio de Congresos «El Greco»

Título:

10.ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica - Artículos

Editado en junio de 2023

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado

<https://cpage.mpr.gob.es>

Publica:

© de esta edición, O. A. Centro Nacional de Información Geográfica, 2023.

Coordinadores:

Comité Organizador de la 10ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica

© Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2023.

Comisión Española de Geodesia y Geofísica.

NIPO Digital: 798-23-029-X

ISBN: 978-84-416-7540-7

D.O.I.: 10.7419/162.07.2023

Los derechos de la edición son del O. A. Centro Nacional de Información Geográfica como editorial. Este Organismo agradece que la difusión electrónica masiva de la edición digital se realice a través de un enlace al apartado correspondiente de la página web oficial.



Calle General Ibañez de Ibero, 3

28003 - Madrid (España)

www.ign.es / www.cnig.es

consulta@cnig.es

Presentación

La promoción e impulso de la Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, como derivación desde 1998 de la que, por entonces, se celebraba en el ámbito español, es uno de los principales cometidos de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica (CEGG), pues constituye el vehículo de comunicación entre los científicos y responsables españoles y portugueses en el ámbito de la geodesia y la geofísica y ha contribuido considerablemente al desarrollo de ambas disciplinas.

La X edición de este foro ha constituido un reto muy especial, puesto que su celebración bianual quedó interrumpida desde 2016 por las dificultades de gestión de la CEGG derivadas, a su vez, de su compleja estructura y organización.

En 2020 fue aprobada la actual regulación de la CEGG estableciendo nuevas reglas de funcionamiento y estructura, conservando sus objetivos principales y contando con sus tradicionales nueve órganos consultivos, las Secciones, que abarcan las Ciencias Criosféricas, Geodesia, Geomagnetismo y Aeronomía, Ciencias Hidrológicas, Meteorología y Climatología, Oceanografía física, Sismología y Física del Interior de la Tierra, Geofísica Aplicada y Volcanología.

Por otra parte, esta X Asamblea se pretendió celebrar en 2020, año en el que se cumplía el 150 aniversario de la creación del Instituto Geográfico Nacional de España, institución en la que se ubicó la CEGG desde sus inicios. La pandemia de la Covid-19 lo impidió, pero, con aparente pretendida intención, hubo finalmente de celebrarse en 2022, precisamente el año del centenario en el que se celebró la primera reunión de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y en el que, además, España ingresó como miembro.

A lo largo de las ediciones que se han celebrado, la Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica se ha consolidado como el principal foro de divulgación y de intercambio científico entre los investigadores españoles y portugueses en los campos de las Ciencias de la Tierra, en el que además se invita a participar a la comunidad científica de Europa y del Magreb.

La publicación de los trabajos presentados en la X Asamblea, que quedarán plasmados en este libro, resulta especialmente satisfactoria por las circunstancias antedichas. En esta ocasión, además, y por primera vez, en la ceremonia de clausura se distinguieron las mejores comunicaciones de estudiantes, premiadas para poner en valor a quienes representan ineludiblemente el futuro de las Ciencias de la Tierra.

Esta X Asamblea ha sido organizada por el Instituto Geográfico Nacional y el Instituto Portugués do Mar e da Atmosfera, que constituyeron los comités organizador y científico, y a los que deseo dedicar mi más sincero agradecimiento por su enorme y excelente trabajo. Agradecimiento que hago extensivo a todas las instituciones públicas y privadas que han participado, sumadas a un objetivo común: exhibir la fuerte y directa incidencia que tiene, en todos los ciudadanos, la actividad científico-técnica en el ámbito de las Ciencias de la Tierra.

Lorenzo García Asensio

Presidente de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica
Director General del Instituto Geográfico Nacional de España

Efectos de las coladas de lava asociadas a la erupción del volcán en la dorsal de Cumbre Vieja (2021) sobre la plataforma y talud insular de la isla de La Palma (Islas Canarias)

Effects of the lava flows associated to the Tajogaite volcano eruption (2021) on the insular shelf and slope of La Palma island

LOZANO RODRIGUEZ, José Antonio ⁽¹⁾; GÓMEZ-BALLESTEROS, María ⁽²⁾; VÁZQUEZ, Juan Tomás ⁽³⁾; GARCÍA, Marga ⁽⁴⁾; CASILLAS, Ramón ⁽⁵⁾; SÁNCHEZ-GUILLAMÓN, Olga ⁽³⁾; ARRESE, Beatriz ⁽²⁾; PRESAS-NAVARRO, Carmen ⁽¹⁾; MARTÍN-DÍAZ, Juan Pablo ^(1,5); GONZÁLEZ-VEGA, Alba ⁽¹⁾; ÁLVAREZ-VALERO, Antonio M. ⁽⁶⁾; POLO-SÁNCHEZ, Antonio ⁽⁶⁾; ARRIETA, Jesús ⁽¹⁾; FRAILE-NUEZ, Eugenio ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro Oceanográfico de Canarias, IEO-CSIC, C/ Farola del mar, 21. Dársena Pesquera. Santa Cruz de Tenerife, España, ja.lozano@ieo.csic.es, carmen.presas@ieo.csic.es, eugenio.fraile@ieo.csic.es; alba.gonzalez@ulpgc.es, jesus.arrieta@ieo.csic.es

⁽²⁾ Servicios Centrales, IEO-CSIC, C/ Corazón de María, 8, Madrid, España, maria.gomez@ieo.csic.es, beatriz.arrese@ieo.csic.es

⁽³⁾ Centro Oceanográfico de Málaga, IEO-CSIC, Puerto Pesquero s/n, Fuengirola, España, juantomas.vazquez@ieo.csic.es, olga.sanchez@ieo.csic.es

⁽⁴⁾ Centro Oceanográfico de Cádiz, IEO-CSIC, Puerto Pesquero s/n, Cádiz, España, marga.garcia@ieo.csic.es

⁽⁵⁾ Universidad de La Laguna. Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología. Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n. Facultad de Ciencias. San Cristóbal de la Laguna, España, rcasillas@ull.edu.es; jmartidi@ull.edu.es

⁽⁶⁾ Universidad de Salamanca, Departamento de Geología, Plaza de la Merced, Salamanca, España; aav@usal.es, apolosanchez@usal.es

SUMMARY

The eruption of the Cumbre Vieja volcano started on September 19, 2021, on the island of La Palma, following a seismic swarm that affected the southern half of the island. The lava flowed westward and reached the coastline 8 days later in the area between Punta de la Bombilla and Tazacorte harbour. Four oceanographic cruises on board the research vessels Ramón Margalef and Ángeles Alvariño (Spanish Institute of Oceanography, IEO-CSIC) aimed to (i) characterizing the petrologic features prior to the arrival of the lava flows into the coastline, (ii) assessing the variations of the water-magma system when the lava flowed into the sea, and (iii) evaluating the main changes in the system after the end of the eruption.

High-resolution bathymetric maps obtained with the multibeam echosounder EM710, combined with submarine high-definition ROV LIROPUS images and rocks samples collected from the sea bottom, showed that lava flowed down the shelf and upper slope as block (aa) and pillow lava flows, being conditioned by small gullies on the upper slope. Significant morphological changes have been defined in the subaerial northern and southern lava deltas (areas of 5,4 and 43 ha, respectively), and on a submarine area of ~30 ha. Volcanic material has been identified as far as 1.2 km from the original coastline at ~305 m seawater depth. Preliminary petrographic studies determine that the began as tephrites and later evolved into basanites with olivine, pyroxene, amphibole and plagioclase phenocrysts within a glassy matrix with variable number of vesicles. The total volume of lava reaching the submarine environment is estimated of around 3 Mm³ with maximum thickness ca. 40 m along previous submarine slope gullies. Integrated with multidisciplinary analyses of the water column and ecosystem changes, this study will improve the knowledge of the magmatic evolution from depth up to eruption and will be useful for the risk management of future eruptive events.

PALABRAS CLAVE

Erupción volcánica, Coladas de lava, delta lávico, batimetría, lavas aa, mega-pillow, hialoclastita, anomalía físico química.

INTRODUCCIÓN

El 19 de septiembre de 2021 comenzó una erupción volcánica en la isla de La Palma (Islas Canarias) en la dorsal volcánica de Cumbre Vieja (Fig. 1A). Tuvo una duración de 85 días y, produjo un gran impacto social, destruyendo hogares, carreteras, cultivos y otros numerosos edificios tanto privados como públicos. El vulcanismo fue fisural (propio de las Islas Canarias), y de tipo estromboliano, con fases efusivas, pulsos freatomagmáticos, abundante caída de ceniza y repetidos colapsos parciales del cono. Las coladas de lava ocuparon > 12 km² con espesores de hasta decenas de metros en algunos puntos (D'Auria et al., 2022). Estos flujos de lava avanzaron hacia el oeste, llegando al océano una semana después de la erupción (el 28 de septiembre a las 23.00 h canaria) generando un delta de lava y afectando a la fauna y flora marina (Figs. 1B y 2). Los buques de investigación oceanográfica Ramón Margalef y Ángeles Alvariño del Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC) realizaron un estudio oceanográfico multidisciplinar de la zona marina afectada por las coladas de lava. La cartografía batimétrica de alta resolución (grids de 1x1 m) se llevó a cabo utilizando ecosondas multihaz. Estos mapas permitieron identificar y caracterizar estructuras asociadas a procesos activos, deformación del terreno y avance submarino de los flujos de lava al comparar la batimetría obtenida antes y después de la llegada de la lava a la línea de costa.

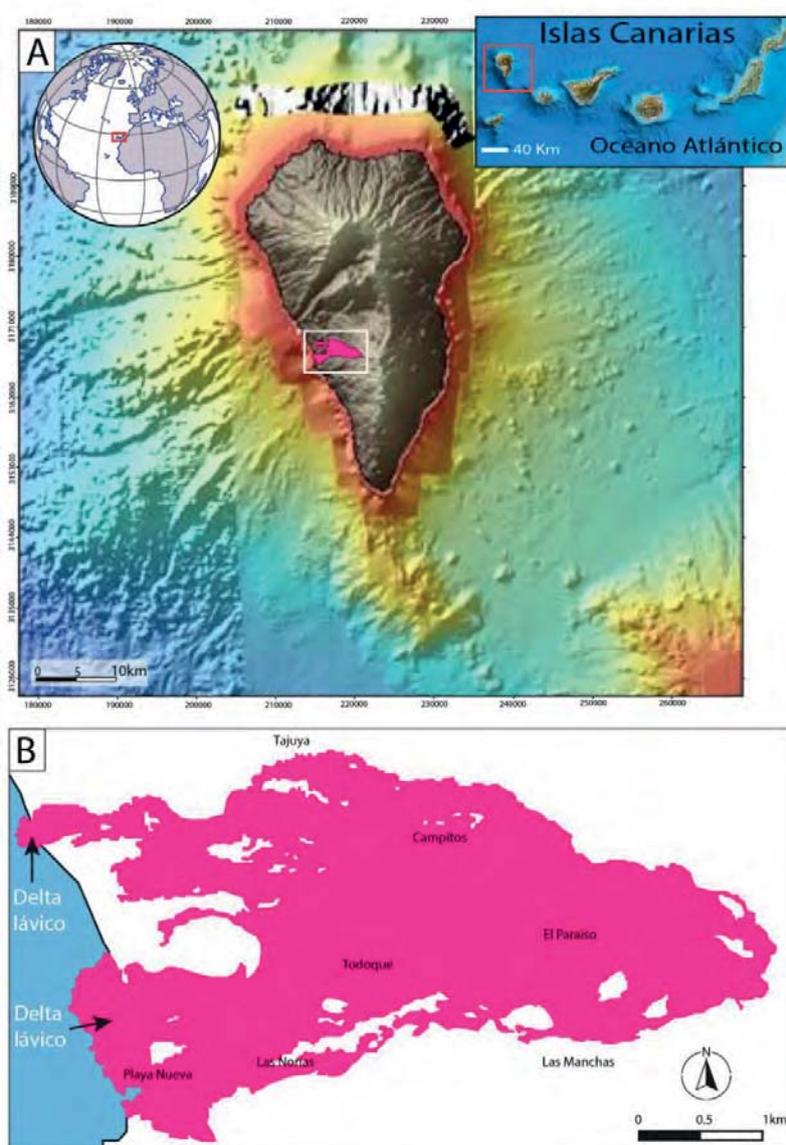


Figura 1: A. Situación geográfica de las Islas Canarias y de la isla de La Palma con la extensión del flujo de las coladas; B. Cartografía de los flujos de lava desde los centros emisores hasta la costa con la formación de los deltas lávicos. Cartografía realizada a partir de los análisis de datos del vuelo de dron (RTK300) del 19/12/2021, del Cabildo Insular de La Palma.

Tras bordear la montaña de Todoque, por el sur, los flujos de lava se precipitaron por el acantilado costero aproximadamente desde unos 100 m de altura, entre el puerto de Tazacorte y el faro de La Bombilla, produciéndose el primer delta y formando nueva superficie sub-aérea que se extendería hacia el oeste 0,5 km desde la anterior línea de costa y con 0,8 km de anchura. Posteriormente, sucesivas llegadas de coladas de lava ampliaron el delta meridional por el sur hasta alcanzar una anchura de 1,2 km, superponiéndose en parte al delta lávico formado en la erupción de 1949 del volcán San Juan. Poco después, otra colada, que bordeó por el sur la Montaña de La Laguna, formó el segundo delta lávico septentrional. Con unas dimensiones que alcanzaron una longitud de 0,21 km al oeste desde la antigua línea de costa y una anchura entorno a los 0,33 km.



Figura 2: A. Vista nocturna de las coladas de lava descendiendo hasta el océano, generando una columna de gases, principalmente de vapor de agua, Fuente: IEO-CSIC; B. Imagen frontal de una de las coladas de lava a su llegada al océano, realizada desde el buque oceanográfico Ramón Margalef (IEO-CSIC), Fuente: Arturo Rodríguez; C. Imagen realizada con un dron con el delta lávico formándose (Fuente: IEO-CSIC).

Las coladas de lava siguieron progresando bajo la superficie del océano hacia el oeste, aprovechando los anteriores cañones submarinos existentes en el talud superior de esta parte de la isla, colmatándolos algunos de ellos en su totalidad, llegando los productos volcánicos hasta una profundidad máxima de unos 250-300 m.

Por otro lado, desde el IEO-CSIC se monitorizó con ayuda de sensores físico-químicos alojados en una roseta oceanográfica la columna de agua antes, durante y después de la llegada de la lava al mar, con la intención de observar variaciones en los parámetros físico-químicos y biológicos de la zona. Además, se recogieron muestras de agua para el análisis de la concentración de nutrientes inorgánicos, clorofila a, oxígeno disuelto, CO₂ disuelto, carbono orgánico disuelto, carbono orgánico particulado, ADN, y bacterias, entre otros.

La afección del ecosistema en el entorno marino de los deltas lávicos durante el proceso eruptivo fue de gran importancia. Se

produjo una gran perturbación de los ecosistemas pelágicos marinos (en la columna de agua) y bentónicos (ligados al fondo marino). Las coladas de lava y los productos volcánicos procedentes de ellas, generaron aproximadamente unas 78 nuevas hectáreas de delta lávico (30 de ellas sumergidas).

CONTEXTO GEOLÓGICO

La erupción volcánica de La Palma en el año 2021, estuvo relacionada con la actividad de la dorsal volcánica o el rif volcánico de Cumbre Vieja, que, con una orientación N-S, representa una zona de fractura con alineación, fisuras y fallas a lo largo de toda la cresta (Carracedo, 1994; Middlemost, 1972). Esta área ha venido generando el vulcanismo más reciente de la isla, desde hace más de 123 ka (Klügel et al., 2005) y con registro histórico correspondiente a las erupciones del volcán de Tacande (1480), Tahuya (1585), Martín o Tegalate (1646), San Antonio (1677), El Charco (1712). Las tres últimas erupciones históricas correspondieron a las del volcán de San Juan, en 1949 (Duraznero, Hoyo Negro, Llano del Banco); Teneguía (1971) (Klügel et al., 2000; Barker et al., 2015) y la erupción del año 2021 (por ejemplo: Day et al., 2022; D'Auria et al., 2022; Fernandez et al., 2022, Pankhurst et al., 2022). Estas erupciones tuvieron una mayoritaria actividad estromboliana con emisión de importantes cantidades de piroclastos que formaron importantes conos, aunque también se emitieron lavas y, en algunos casos, se produjeron esporádicos pulsos freatomagmáticos. Desde el punto de vista petrológico, la composición del material magmático emitido fue diversa, desde basanitas a fonotefritas, pasando por tefritas con clinopiroxeno titanífero, olivino y kaersutita (Klügel et al., 2005). En tres de estas erupciones, la de El San Juan (1949), Teneguía (1971) y en la del año 2021, la erupción comenzó con tefritas y, a partir de un momento, se emitieron basanitas. Esta variedad y secuencia petrológica se explica por las características del proceso de fusión mantélico así como por los procesos de diferenciación magmática ocurridos a diversas profundidades bajo y dentro de la dorsal volcánica de Cumbre Vieja (Day et al., 2010; Gurenko et al., 2009; Klügel et al., 2017).

METODOLOGÍA

Para el estudio batimétrico se utilizó una ecosonda multihaz EM710 de Kongsberg. Los datos fueron procesados con el software Caris Hips&Sips (Teledyne) y para el análisis morfométrico y morfológico se usó el paquete Arc Map de ESRI. Se utilizó un ROV (Remotely Operated Vehicle) LIROPUS, controlado remotamente con un cable desde los buques oceanográficos del IEO-CSIC, obteniendo de este modo imágenes de video de alta definición del fondo marino en tiempo real (Fig. 3A) y muestras geológicas mediante un brazo articulado. Otro de los instrumentos utilizados fue una roseta oceanográfica con 12 botellas tipo Niskin de 5L cada una, con la que se recogieron muestras de agua a diferente profundidad (Fig. 3B). También se utilizó un dron para tomar imágenes subaéreas de las coladas de lava a su llegada al océano.



Figura 3: A. Imagen de una de las inmersiones del ROV para recoger imágenes y muestras geológicas de los deltas lávicos, Fuente (Joan Costa); B. Imagen de la roseta oceanográfica subiéndolo con muestras de agua sobre el delta lávico, Fuente (Arturo Rodríguez).

RESULTADOS

Con la ayuda del ROV se pudo apreciar una gradación muy clara de los diferentes tipos de materiales sobre el fondo marino. A menor profundidad y sobre la plataforma sumergida predominan coladas de tipo *aa* con importantes coberteras y frentes de autobrechas. A una profundidad mayor, al inicio de los cañones submarinos, al comienzo del talud, aparecen flujos de lavas almohadilladas, algunas de gran tamaño (*megapillows*). Con frecuencia, el interior de estos flujos almohadillados aparece hueco (*hollow pillow*), por lo que son frecuentes los colapsos de los techos de las almohadillas. Asociados a estos flujos de almohadillas aparecen brechas de fragmentos de almohadillas más o menos resedimentadas que suelen ocupar las partes más profundas de

los cañones submarinos. Por otra parte, en las zonas cercanas a los deltas lávicos, el lecho marino aparece en ocasiones cubierto con cenizas de procedencia subaérea caídas sobre la superficie del mar, y, posteriormente resedimentadas por gravedad a lo largo de la columna de agua, y las partículas hialoclastíficas más finas.

La realización de una batimetría de alta resolución (1x1 m) antes y después de la llegada de las coladas de lava al océano, ha sido clave para poder comparar el cambio morfológico en el medio submarino (Fig. 4A y B), con depósitos de espesores en algunos casos de más de 20 m. En este sentido, se pudo comprobar que la morfología previa del fondo marino caracterizada por estrechos barrancos submarinos, sobre todo en la parte superior del talud y borde de la plataforma, produjo la canalización en un primer momento de los flujos de lava en estos dominios fisiográficos (Fig. 4C y D). Además, en estos sectores la morfología de las lavas también estuvo condicionada por la composición química y la temperatura. Así, en estos sectores la morfología de las lavas resultantes estuvo condicionada por la pendiente del fondo marino, su velocidad de enfriamiento y el caudal de cada flujo.

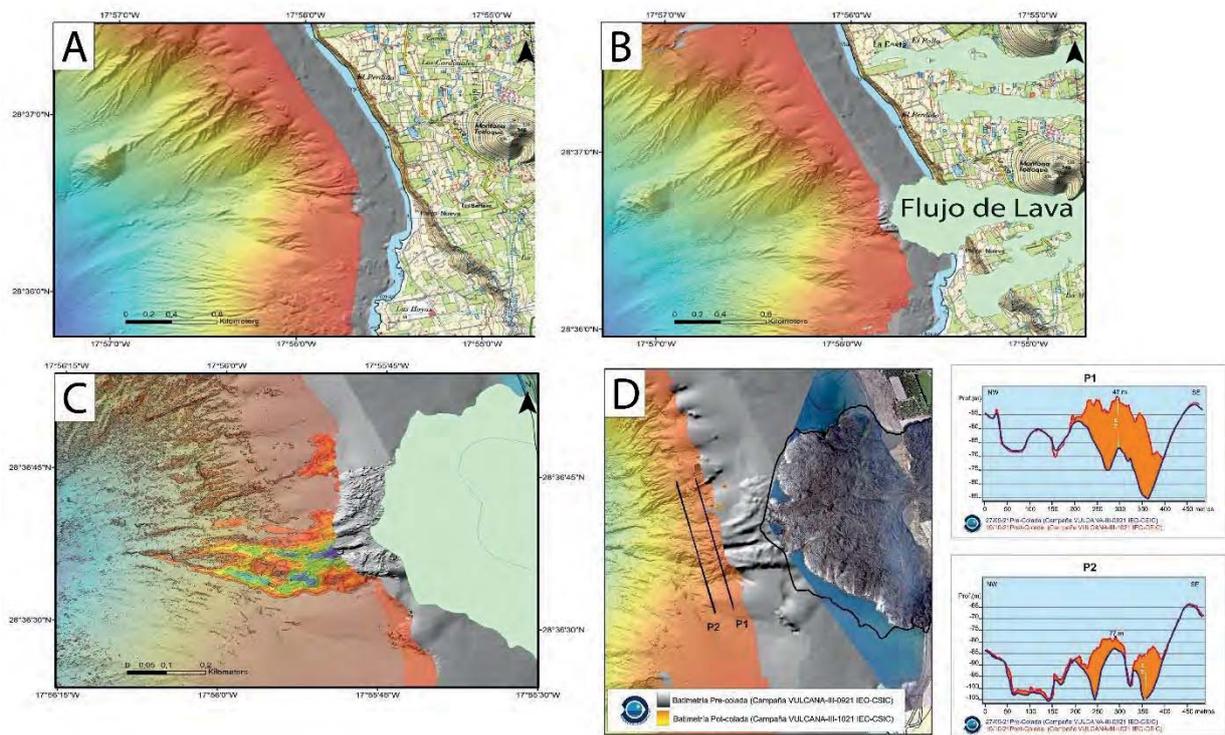


Figura 4: Batimetría obtenida antes de la llegada de la lava a la línea de costa (A) y después (B); C. Evolución de las coladas de lava sobre los antiguos cañones submarinos; D. Perfiles (P1 y P2) realizados perpendicularmente al flujo de movimiento donde se observa el relleno de los antiguos cañones submarinos previos.

Con todo ello, podemos diferenciar dos tipos de lavas a grandes rasgos, con una composición química muy similar entre sí, entre los depósitos submarinos de lava: lavas *aa* y lavas almohadilladas o pillow-lavas. Las primeras parecen haberse formado cuando los flujos se movían sobre superficies menos inclinadas, con altas velocidades de enfriamiento y altos caudales; las segundas parecen formarse sobre superficies más inclinadas, y con velocidades de enfriamiento y caudales más bajos.

El avance de las lavas *aa* bajo el agua, fue muy similar a como lo hacen en tierra, generando tanto una brecha en la base como en el techo a su paso, ocupando los relieves más deprimidos, en un avance continuo y similar al de una cinta transportadora (Fig. 5).

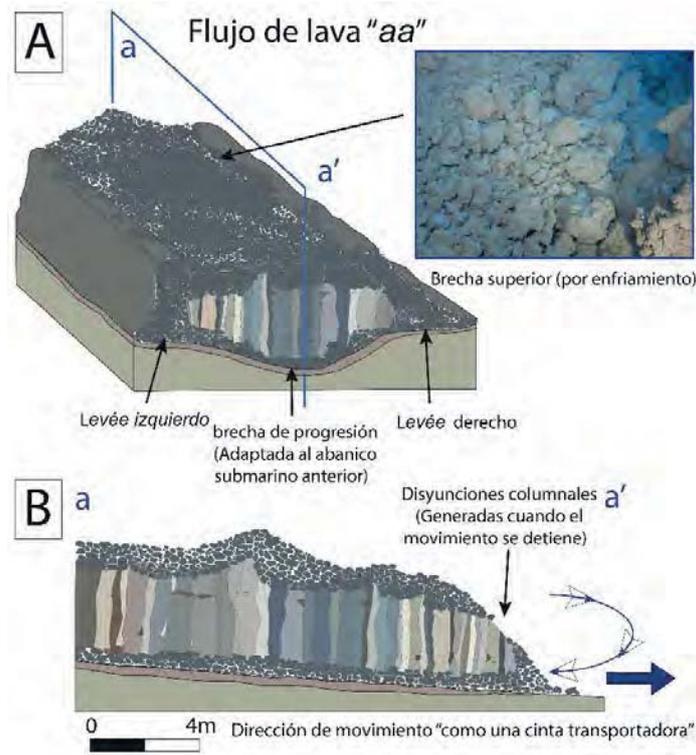


Figura 5: A. Esquema representativo de un flujo de lava aa con sus diferentes elementos estructurales generados durante y después del movimiento; B. Corte longitudinal.

Por su parte, a mayor profundidad, ya en los cañones submarinos, aparecen pillow lavas y mega-pillow lavas, con las superficies de las almohadillas decoradas con diseños de "caparazón de tortuga", que en ocasiones llegan a alcanzar cerca de los 2 m de diámetro (Fig. 6). Como se indicó anteriormente, el interior de algunas de estas mega-pillows aparece hueco (*hollow megapillow*) por lo que son frecuentes los colapsos de los techos de las *megapillows*. presentan en su interior una brecha por colapso como consecuencia de su vaciado parcial.

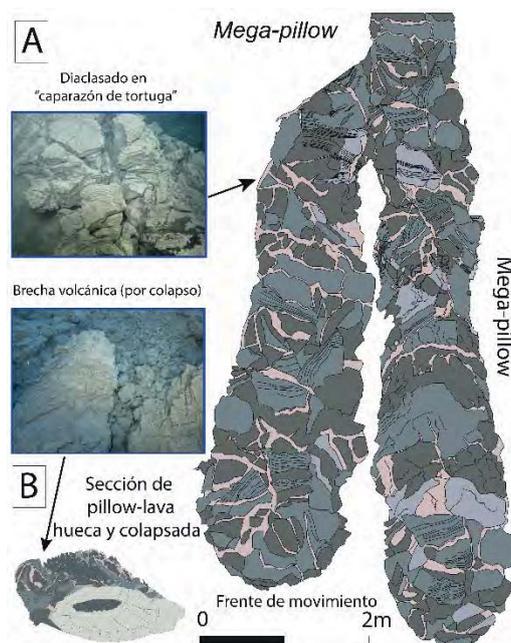


Figura 6: A. Esquema de la parte frontal de las mega-pillow lavas con diaclasado en "caparazón de tortuga"; B. Sección de las mega-pillow lavas.

El estudio de las propiedades físicas, químicas y biogeoquímicas de la columna de agua frente a los deltas lávicos reveló que la entrada masiva de lava al mar generó anomalías físico-químicas en los primeros metros de la columna de agua (0-220 m de profundidad) y hasta una distancia de 500m respecto a los nuevos deltas de lava. La fuente de estas anomalías fue fundamentalmente la entrada de lava tanto por la superficie del océano como por los cañones submarinos, que permitían a los flujos de lava ser encauzados cubriendo mayores distancias. La columna de agua llegó a tener valores de turbidez 30 veces superiores a los valores típicos de condiciones normales. Estos valores tan altos, eran debidos a las grandes cantidades de ceniza expulsada por la erupción al océano y a la gran cantidad de hialoclastitas producidas en el mar. Por otro lado, las temperaturas superficiales de las aguas observadas alrededor de los deltas lávicos alcanzaron los 50°C, unos 26°C por encima del valor observado en aguas circundantes. Así mismo el pH y el potencial redox presentaron anomalías menores, con disminuciones de -0.05-0.07 unidades de pH y -10 mv, respectivamente. Las emisiones volcánicas afectaron a los organismos acuáticos de dos maneras diferentes. Por un lado, las coladas de lava afectaron a los organismos bentónicos enterrándolos y arrastrándolos desde sus posiciones iniciales al rellenar antiguos cañones submarinos próximos a los deltas. Por otro lado, la deposición de cenizas y la generación de hialoclastitas afectó tanto a los organismos de los fondos marinos como a aquellos presentes en la columna de agua al limitar la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis y cubrir los fondos marinos en un área mucho mayor que la afectada directamente por la entrada de lava.

CONCLUSIONES

El IEO-CSIC ha realizado campañas periódicas en la zona para monitorizar los efectos sobre el ecosistema marino, inicialmente arrasado. Cinco meses después de la llegada de las coladas de lava y los productos piroclásticos al océano (en febrero de 2022), los resultados del IEO-CSIC muestran signos de recuperación de la vida marina.

El IEO-CSIC ha podido estimar que, 3 Mm³ de lava fueron arrojados bajo la superficie del océano, con espesores de cobertura máxima en algunos de los cañones submarinos de hasta un máximo de aproximadamente 40 m. Los deltas de lava se generaron a partir tanto de lavas *aa* como de lavas *pahoehoe*, en superficie, y lavas *aa* y almohadilladas (pillows y mega-pillows) bajo la superficie oceánica.

Este estudio es pionero en el uso de diferentes metodologías para caracterizar la modificación del fondo marino durante la generación de un delta lávico, las cuales serán de gran utilidad para la gestión de riesgos volcánicos en futuros eventos eruptivos.

REFERENCIAS

- [1] Barker, A.K., Troll, V. R., Carracedo, J. C., Nicholls, P. A. (2015): "The magma plumbing system for the 1971 Teneguía eruption on La Palma, Canary Islands". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **170**, 55, 51-54.
- [2] Carracedo, J.C. (1994): "The Canary Islands: An example of structural control on the growth of large oceanic-island volcanoes". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **60**, 3-4, 225-241.
- [3] D'Auria, L., Koulakow, I., Prudencia, J., Cabrera-Pérez, I., Ibáñez, J.M., Barrancos, J., García-Hernández, R., Martínez van Dorth, D., Padilla, G. D., Przeor, M., Ortega, V., Hernández, P., Pérez, N.M. (2022): "Rapid magma ascent beneath La Palma revealed by seismic tomography". *Scientific reports*, **12**, 1-13.
- [4] Day J. M. D., Pearson D. G., Macpherson C. G., Lowry D., Carracedo J. C. (2010): "Evidence for distinct proportions of subducted oceanic crust and lithosphere in HIMU-type mantle beneath El Hierro and La Palma, Canary Islands". *Geochim. Cosmochim. Acta* **74**, 6565–6589.
- [5] Day, J. M. D., Troll, V. R., Aulinas, M., Deegan, F. M., Geiger, H., Carracedo, J. C., Gisbert Pinto, G., Perez-Torrado, F. J. (2022): "Mantle source characteristics and magmatic processes during the 2021 La Palma eruption", **597**, 1-13.
- [6] Fernández, J., Escoyo, J., Camacho, A. G., Palono, M., Prieto, J. F., Hu, Z., Samsonov, S. V., Tiampo, K. F., Ancochea, E. (2022): "Shallow magmatic intrusion evolution below La Palma before and during the 2021 eruption". *Scientific reports*, **12**, 1-18.
- [7] Gurenko, A. A., Sobolev, A.V., Hoernle, K., Hauff, F., Schmincke, H. U. (2009): "Enriched, HIMU-type peridotite and depleted recycled pyroxenite in the Canary plume: a mixed-up mantle". *Earth Planetary Science Letters*. **277**, 514-524.
- [8] Middlemost, E.A.K. (1972): "Evolution of La Palma, Canary archipelago". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **36**, 33-

48.

- [9] Pankhurst, M. J., Scarrow, J. H., Barbee, O. A., Hickey, J., Coldwell, B. C., Rollinson, G. K., Rodríguez-Losada, J. A., Martín-Lorenzo, A., Rodríguez, F., Hernández, W., Calvo Fernández D., C., Hernández, P. A., Pérez, N. M. (2022): "Rapid response petrology for the opening eruptive phase of the 2021 Cumbre Vieja eruption, La Palma, Canary Islands". *Report Volcanica*, 5 (1), 1-10.
- [10] Klügel, A., Hoernle, K.A., Schmincke, H.U., White, J.D.L., (2000): "The chemically zoned 1949 eruption on La Palma (Canary Islands): petrologic evolution and magma supply dynamics of a rift-zone eruption". *Journal of Geophysical Research*, **105**, 5997–6016.
- [11] Klügel, A., Hansteen, Th. H., Galipp, K. (2005): "Magma storage and underplating beneath Cumbre Vieja volcano, La Palma (Canary Islands)". *Earth and Planetary Science Letters*, **236**, 1-2, 211-226.
- [12] Klügel, A., Galipp, K., Hoernle, K., Hauff, F., and Groom, S. (2017): "Geochemical and Volcanological Evolution of La Palma, Canary Islands. *Journal Petrology*, 58, 1227-1248.