# MODELIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MORFOMÉTRICA DE ERUPCIONES VOLCÁNICAS RECIENTES GENERANDO PLATAFORMAS COSTERAS: CASO ESTUDIO DEL VOLCÁN DE MONTAÑA DEL TESORO (EL HIERRO, ISLAS CANARIAS)

*A. Rodriguez-Gonzalez (1), F.J. Perez-Torrado (1), J.L. Fernandez-Turiel (2), J.C. Carracedo (3), D. Gimeno (4), H. Guillou (5), R. Paris (6), A. Hansen (1) y M. Aulinas (4)*

(1) GEOVOL, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas de Gran Canaria. arodriguez@becarios.ulpgc.es; fperez@dfis.ulpgc.es; ahansen@dgeo.ulpgc.es
(2) Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC, Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@ictja.csic.es
(3) Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, 38206 La Laguna (Tenerife). jcarracedo@ipna.csic.es
(4) Fac. Geología, Univ. Barcelona, Marti i Franques s/n, 08028 Barcelona. domingo.gimeno@ub.edu; meritxellaulinas@ub.edu
(5) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Francia. Herve.Guillou@lsce.ipsl.fr
(6) Géolab UMR 6042 CNRS-UBP, 4 rue Ledru, 63057 Clermont-Ferrand, Francia. raparis@univ-bpclermont.fr

***Abstract (Morphological and morphometric modelling of coastal platform volcanic eruptions: Montaña del Tesoro volcano case study (El Hierro, Canary Islands):*** *This paper deal about GIS methods applied to volcanism affecting coastal platforms. The developed methodology is based on an intensive and accurate geological field work allowing quantitative comparision of the present day littoral geomorphology with those ones of the pre- and post-eruptive times. The Montaña del Tesoro Holocene volcanic eruption (El Hierro island, Canaries) was selected as case study to develop and calibrate the modelling due to the excellent exposition of the volcanic formations and also the detailed topographic and bathymetric maps available of this area. Resulting models give quantitative information on the aggradation associated with the eruption, as well as on the degradation related to both the littoral and fluvial erosions.*

**Palabras clave:** morfometría volcánica, SIG, erosión, El Hierro (Islas Canarias).
***Key words****: volcanic morphometry, GIS, erosion, El Hierro (Canary Islands).*

## INTRODUCCIÓN

La modelización morfométrica de elementos geomorfológicos volcánicos proporciona mediciones fiables del proceso de erupción a través de la morfología del edificio. Estos parámetros son importantes para determinar la dinámica de acumulación o degradación de los terrenos volcánicos, así como para estimar procesos volcánicos reflejados en el comportamiento eruptivo, dinámica del magma y ciclos eruptivos (Rodriguez-Gonzalez et al., 2010). Respecto a la degradación, las variaciones de la morfología original permiten comprender los patrones que afectan a la erosión.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionan un adecuado marco metodológico para la elaboración de modelos morfométricos de erupciones volcánicas. El procesamiento en el SIG de la información obtenida durante el trabajo de campo, junto a los datos cartográficos disponibles del terreno (mapas topográficos y batimétricos), permiten obtener los distintos parámetros morfométricos a calcular. De esta forma, se consigue un mayor grado de precisión en los cálculos de dichos parámetros que con los métodos tradicionales aplicando fórmulas geométricas.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La isla de El Hierro es la más pequeña y occidental del Archipiélago Canario (Fig. 1). Tiene una superficie de unos 268 km$^2$, altura máxima de 1.501 m (Pico Malpaso) y se asienta sobre un fondo oceánico de unos 3.700 a 4.000 m de profundidad. Junto con la isla de La Palma, se encuentra en un estadio evolutivo juvenil (volcán en escudo) caracterizado por elevadas tasas eruptivas y, por consiguiente, por un rápido crecimiento (Carracedo et al., 2001).

La erupción holocena de la Montaña del Tesoro, ejemplo seleccionado para el desarrollo de la metodología de modelización aquí propuesta, se localiza al NE de la isla de El Hierro (Fig. 1). Desarrolla dos conos volcánicos que crecen sobre una superficie ligeramente inclinada instalada en el techo estructural de un paleoacantilado.

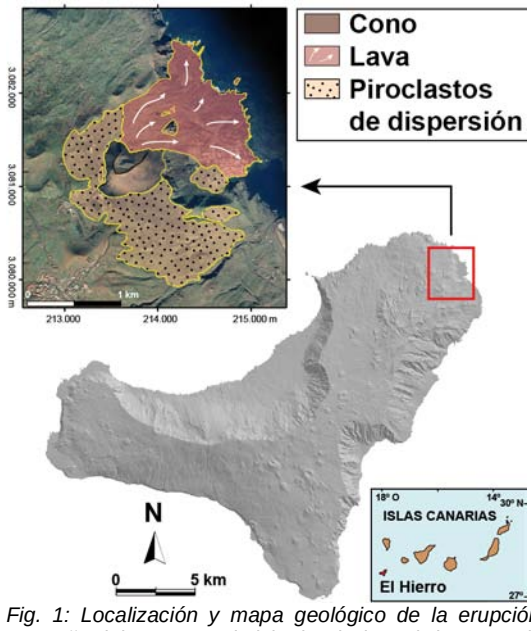


*Fig. 1: Localización y mapa geológico de la erupción de Montaña del Tesoro en la isla de El Hierro (Islas Canarias).*

El cono principal presenta una forma en herradura abierta hacia el NE a favor de la pendiente, siendo asimétrico, con el flanco NO menos desarrollado que el flanco SE (Fig. 1). La estructura interna del cono muestra una secuencia de capas de granulometría gruesa, desde escorias soldadas y bombas volcánicas hasta lapilli. Desde este cono tiene lugar la emisión de un importante manto de piroclastos de dispersión horizontal, cubriendo un área con forma elíptica cuyo eje mayor se orienta hacia el SE, lo que pone de manifiesto el predominio de vientos alisios del N-NO durante la erupción. La granulometría de estos piroclastos muestra una variación lateral desde lapilli grueso y bombas con formas cilíndricas cerca del cono, hasta lapilli fino y cenizas en las facies distales. Atendiendo a la morfología que presenta este cono, así como por los materiales piroclásticos que lo forman, puede asimilarse a un tipo 3 en la clasificación de Martin y Németh (2006), originado por mecanismos eruptivos estrombolianos a sub-plinianos.

En la base del cráter del cono principal se desarrolla uno adventicio a modo de volcán en escudo lávico monogénico (Fig. 1), con cráter circular generado por subsidencia de la columna magmática. Desde este cono secundario tiene lugar la emisión de todos los flujos de lavas que se dirigen en abanico hacia el borde del paleoacantilado. Una vez alcanzado éste, forman numerosas cascadas que se disponen bordeando los resaltes topográficos del antiguo acantilado para terminar coalesciendo en la base del mismo. A partir de aquí los flujos de lavas se extienden por una estrecha plataforma de abrasión hasta alcanzar el mar, ganándole terreno a éste y modificando la línea de costa. Cerca del foco emisor se aprecian morfologías pahoehoe en el techo de las lavas, siendo sustituidas por estructuras tipo a'a (malpaises en la terminología local) a lo largo de toda la plataforma litoral, con importante presencia de bloques erráticos y bolas de acreción. Asimismo, a lo largo de la línea de costa puede apreciarse una marcada disyunción columnar en el interior de estas lavas, con potencias que llegan a superar los 20 m.

La erosión fluvial solo se observa afectando al flanco NO del cono principal, siendo apenas apreciable a lo largo de todo el recorrido de los flujos de lavas. Sin embargo, la erosión litoral si muestra importantes signos en los antiguos frentes de avance de las lavas, haciéndolos retroceder varios metros y dejando como testigos roques aislados de gran envergadura, como por ejemplo el Roque de Las Gaviotas.

## METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo parte de un detallado trabajo de campo consistente en el reconocimiento e identificación de las diferentes unidades volcánicas que configuran la erupción (conos, lavas y piroclastos de dispersión horizontal), así como también del tipo de relieve sobre el que se asientan estas unidades volcánicas. A partir de la cartografía más detallada disponible (mapas topográficos 1:5.000 del Servicio Cartográfico de Canarias, 1996, y mapas batimétricos 1:1.000 de la Dirección General de Costas, Mº de Medio Ambiente, 2006) se marcan los contactos entre estas diferentes unidades, siendo a veces necesario exagerar la escala hasta 1:1.000 con objeto de obtener una mayor precisión en la delimitación de sus contornos (Fig. 1).

Una vez completada la cartografía geológica de detalle, se pasa a realizar la reconstrucción del relieve en dos fases previas, denominadas como pre-erupción y post-erupción, esta última significando el momento justo al finalizar la erupción antes de que actúe ningún agente erosivo. Para confeccionar estos relieves se realiza una minuciosa reconstrucción geomorfológica de las diferentes unidades volcánicas a través de múltiples cortes geológicos sobre el mapa geológico realizado. El siguiente paso consiste en el replanteo topográfico y batimétrico a partir de la cartografía digital de partida, teniendo que modificar toda la curvimetría, tanto la subaérea como la submarina, del área afectada por la erupción. Se consiguen de esta forma dos Modelos Digitales del Terreno (MDT) para los relieves pre y post-erupción que se compararán continuamente con el MDT del relieve actual (Rodriguez-Gonzalez et al., 2010).

En el caso concreto que se pretende estudiar, lavas formando nuevas plataformas marinas, hay que establecer dos líneas de paleocosta (Fig. 2), la localizada justo antes de la erupción (pre-erupción) y la formada en el momento final de la erupción (post-erupción). Para ambas líneas se ha considerado el nivel del mar a la misma cota que en la actualidad, teniendo en cuenta que no han ocurrido grandes oscilaciones marinas en esta zona del Atlántico durante el Holoceno (Zazo et al., 1996). Este hecho queda de manifiesto en la morfología de las lavas estudiadas a lo largo de la línea de costa actual, observándose contactos casi horizontales y estructuras típicas de enfriamiento subaéreo. Con niveles de mar a menor cota que el actual los planos de flujo adquirían fuertes pendientes, mientras que con niveles del mar más elevados se deberían observar estructuras de enfriamiento submarino (pillow-lavas e hialoclastitas) en las lavas.

La línea de costa pre-erupción se obtiene mediante la observación de la ruptura de pendiente en las lavas cuando se alejan de la base del paleocantil, así como por la orientación e inclinación de los contactos con los materiales previos. Respecto a la localización de la línea de costa post-erupción, la potencia visible del frente de lava en la costa actual, así como la disposición de los restos erosivos (roques), permiten realizar una primera aproximación. Información complementaria se obtiene a partir de los mapas batimétricos, observándose una gran diferencia en la curvimetría batimétrica entre el área que los frentes de lavas ganaron al mar y posteriormente retrocedieron por la erosión litoral, y los lóbulos de avance de las lavas en régimen submarino que nunca han llegado a emerger. Así pues, el cambio en la geometría de las curvas batimétricas permite localizar con cierta precisión la antigua línea de costa post-erupción.

Es obvio que la reconstrucción de las dos líneas de paleocosta genera MDT de esos momentos evolutivos idealizados, pero la información geológica recopilada en el campo, junto con el estudio de los mapas topográficos y batimétricos, permite aproximarse al modelado real. De esta forma, el modelado morfométrico en un entorno SIG de estas erupciones con lavas generando nuevas plataformas marinas, permite la realización de cálculos muy

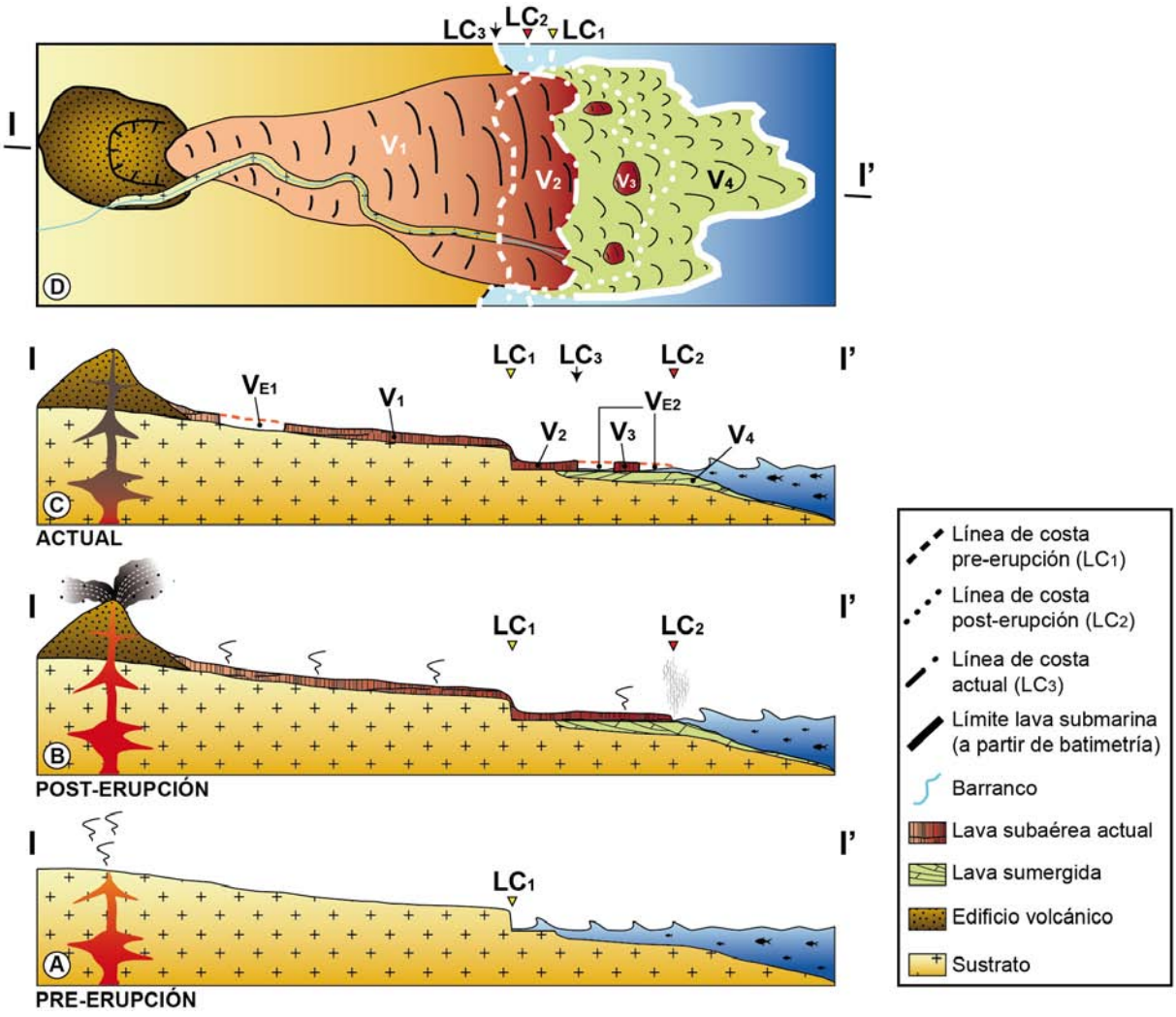


*Fig. 2: Cortes geológicos sistemáticos de los diferentes estadios evolutivos analizados (A, B y C) y vista en planta representando el avance y retroceso de la línea de costa afectada por la erupción (D). Se marcan los diferentes volúmenes a calcular en las lavas (ver texto para más detalles).*

precisos de la superficie ganada al mar y del volumen de material volcánico emitido, lo que arroja información muy valiosa de las tasas de crecimiento de las islas y el modo en que dicho crecimiento se realiza.

**RESULTADOS**

A partir de los MDT obtenidos para los diferentes estadios evolutivos (pre-erupción, post-erupción y actual) y suponiendo un nivel del mar similar a lo largo de esa evolución, la comparación y combinación entre estos MDT en un entorno SIG permite obtener parámetros morfométricos con una gran precisión que no podrían conseguirse con otros métodos.

Como se observa en la Fig. 2, en el caso de las coladas de lavas, uno de los parámetros morfométricos más importantes a determinar son los volúmenes. $V_1$ corresponde al volumen de lava subaérea actual hasta el contacto con la línea de costa pre-erupción ($LC_1$), siendo $V_{E1}$ la porción de volumen erosionado por acción fluvial. La suma de estos dos volúmenes arroja el volumen total original de lava subaérea hasta el contacto con la paleocosta $LC_1$. Por su parte, $V_2$ y $V_3$ son los volúmenes de lava subaérea actuales desde la paleocosta $LC_1$ hasta la línea de costa original post-erupción ($LC_2$). $V_{E2}$ es el volumen de lava subaérea entre estas dos antiguas líneas de costa removido por erosión marina. La suma de $V_2$, $V_3$ y $V_{E2}$ da como resultado el volumen total original subaéreo de lava ($V_{TS}$) que se apoya sobre la nueva plataforma marina generada por el relleno de los primeros flujos de lava de la erupción al penetrar en el mar. Por último, $V_4$ es el volumen total de lava submarina considerada por debajo de la cota del nivel del mar actual entre las líneas de paleocosta $LC_1$ y $LC_2$, más el de los lóbulos de avance submarinos por delante de $LC_2$. La porción de este volumen submarino $V_4$ comprendido entre las paleocostas ($V_{GM}$), muestra el volumen mínimo necesario para que la isla aumente su superficie ($S_{GM}$) y se instale una nueva plataforma lávica. Este volumen será tanto más elevado cuanto mayor sea la pendiente del fondo marino en la zona submareal antes de la erupción.

La Tabla 1 muestra los resultados de los distintos volúmenes y superficies calculadas para la erupción considerada en este trabajo. El ratio obtenido $V_{GM}$:$S_{GM}$ de 8,5:1 pone de manifiesto la elevada cantidad de lava necesaria para ganar superficie al mar debido a la casi ausencia de plataforma insular

en la isla de El Hierro, inherente a su estadio evolutivo juvenil.

| $V_1$ ($m^3$) | $VE_1$ ($m^3$) | $V_2$ ($m^3$) | $V_3$ ($m^3$) | $V_{E2}$ ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| 8.618.374 | 338.432 | 10.376.888 | 24.366 | 1.470.857 |
| $V_4$ ($m^3$) | $V_{TS}$ ($m^3$) ($V_2$+$V_3$+$V_{E2}$) | $V_{GM}$ ($m^3$) | $S_{GM}$ ($m^2$) | Ratio $V_{GM}$ : $S_{GM}$ |
| 9.048.456 | 11.872.111 | 6.366.205 | 749.055 | 8,5 : 1 |

*Tabla 1: Resultados de los cálculos de volúmenes y superficie indicados en el texto para la erupción de Montaña del Tesoro (El Hierro).*

## CONCLUSIONES

El presente trabajo pone de manifiesto la importancia de las herramientas SIG para poder obtener resultados satisfactorios y coherentes en trabajos de morfometría volcánica, pero partiendo de un trabajo de campo exhaustivo que, en definitiva, es el que realmente determina la calidad de esos resultados.

Se plantea un método ensayado y calibrado que permite reconstruir paleorelieves en diferentes estadios evolutivos de una erupción, pudiendo ser comparados con el relieve actual y arrojar numerosos parámetros morfométricos, tales como superficies y volúmenes de acreción y degradación. En este sentido, la metodología planteada en este trabajo permitirá la calibración de los volúmenes de lava necesarios para modificar la línea de costa y, por tanto influir en el crecimiento de la isla.

Finalmente, esta metodología desarrollada con éxito en la erupción del volcán de Montaña del Tesoro, se irá aplicando a las diferentes erupciones que han generado nuevas plataformas marinas en la isla de El Hierro.

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto SolSubC200801000047 del Gobierno de Canarias. El trabajo ha sido desarrollado en el seno de los grupos de investigación consolidados GEOVOL (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria) y PEGEFA (AGAUR2009 SGR-972, Generalitat de Catalunya).

## Referencias bibliográficas

Carracedo, J.C., E. Rodríguez Badiola, S., Guillou, H. J. de La Nuez & Pérez Torrado, F.J. (2001). Geology and Volcanology of the Western Canaries: La Palma and El Hierro. *Estudios Geológicos*, 57, 171-295.

Martin, U. & Németh, K. (2006). How Strombolian is a “Strombolian” scoria cone? Some irregularities in scoria cone architecture from the Transmexican Volcanic Belt, near Volcán Ceboruco, (Mexico) and Al Haruj (Libya). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 155, 104-118.

Rodriguez-Gonzalez, A., Fernandez-Turiel, J.L., Perez-Torrado, F.J., Gimeno, D. & Aulinas, M. (2010). Geomorphological reconstruction and morphometric modelling applied to past volcanism. *International Journal of Earth Sciences*, 99, 645-660.

Zazo, C., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Bardají, T., Ghaleb, B., Lario, J., Hoyos, M., Hillaire-Marcel, Cl., Sierro, F., Flores, J.A., Silva, P.G. & Borja, F. (1996). Cambios en la dinámica litoral y nivel del mar durante el Holoceno en el Sur de Iberia y Canarias Orientales. *Geogaceta*, 20(7), 1679-1682.

**XIII REUNIÓN NACIONAL DE CUATERNARIO**
Centre de Congressos d'Andorra la Vella
Andorra, del 4 al 7 de Julio de 2011
Valentí Turu y Ana Constante (Eds.)

# EL CUATERNARIO EN ESPAÑA Y ÁREAS AFINES,
## AVANCES EN 2011

# EL QUATERNARI A ESPANYA I ÀREES AFINS,
## AVENÇOS EN 2011

AEQUA

M. Chevalier

Col·legi Ciències de la Terra d'Andorra

# EL CUATERNARIO EN ESPAÑA Y ÁREAS AFINES, AVANCES EN 2011.

# *EL QUATERNARI A ESPANYA I ÀREES AFINS, AVENÇOS EN 2011*

*ACTAS DE LA XIII REUNIÓN NACIONAL DE CUATERNARIO*

Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA)

V. Turu y A. Constante (Eds.)

4-10 de Julio de 2011

Col·legi de Tècnics en Ciències de la Terra d'Andorra

© **XIII Reunión Nacional de Cuaternario (Andorra, 2011)**

V. Turu y A. Constante (Eds.)

Foto portada: Glaciar rocoso al pie del pico de Envalira, Clots de la Menera (Circo de Grau Roig, Encamp). *Glacera rocallosa al peu del pic d'Envalira, Clots de la Menera (Circ de Grau Roig, Encamp).* Sergio Jiménez Álvarez (2008).

Diseño portada: Joan Carles García Arpin y Mª Carmen Gutiérrez Rodríguez.

Impreso en: Imprenta Envalira S.L. C. Bonavista, Edifici Sol i neu. Andorra la Vella.

Depósito legal libro de Actas: AND 992-2011
Depósito legal E-book formato pdf.: AND 993-2011

ISBN libro de Actas: 978-99920-1-856-9
ISBN E-book formato pdf.: 978-99920-1-857-6