

Modelado geomorfológico con técnicas SIG de erupciones volcánicas generadoras de plataformas costeras: el volcán de Montaña del Tesoro (El Hierro, Islas Canarias)

GIS-based geomorphological modeling of coastal platform-forming eruptions: Montaña del Tesoro volcano (El Hierro, Canary Islands)

A. Rodriguez-Gonzalez¹, F.J. Perez-Torrado¹, J.L. Fernandez-Turiel², J.C. Carracedo¹ y H. Guillou³

1. Dpto. Física (GEOVOL), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas de Gran Canaria. arodriguez@proyinves.ulpgc.es; fperez@dfis.ulpgc.es; jcarracedo@proyinves.ulpgc.es
2. Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@ictja.csic.es
3. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Francia. Herve.Guillou@lsce.ipsl.fr

Resumen: Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una potente herramienta en el análisis y modelado geomorfológico de terrenos volcánicos, en este caso, aplicado a erupciones volcánicas formadoras de plataformas costeras. A partir de un detallado trabajo geológico de campo y de los datos topográfico-batimétricos actuales se reconstruyen los Modelos Digitales del Terreno (MDT) anterior e inmediatamente posterior a la erupción. La comparación entre estos dos MDT y el MDT actual permite el modelado preciso de los principales parámetros morfométricos, tanto los involucrados en la regeneración del relieve asociado a la erupción volcánica, como los posteriores relacionados con la degradación del terreno asociada a procesos erosivos. Para calibrar y validar esta metodología se ha seleccionado la erupción holocena de Montaña del Tesoro en la isla de El Hierro (Islas Canarias), debido a la excelente exposición de sus depósitos volcánicos, su edad (ca. 9 ka), y también por la disponibilidad de mapas topográficos y batimétricos a escalas muy detalladas.

Palabras clave: SIG, morfometría volcánica, plataforma costera volcánica, El Hierro, Islas Canarias.

Abstract: *The Geographic Information Systems (GIS) are a robust tool for geomorphological analysis and modeling in volcanic landscapes, in this case applied to coastal platforms-forming eruptions. From current topographic-bathymetric maps and after intensive geological field work, Digital Terrain Models (DTMs) representative of two key palaeogeomorphological evolutionary stages were obtained: before the eruption (pre-eruption) and at the end of the eruption (post-eruption). Comparison of these two DTMs with the present day DTM allows precise and detailed modeling of the main morphometric parameters involved in both aggradation (due to volcanic activity) and degradation (due to erosive activity) of terrain. The Holocene volcanic eruption of Montaña del Tesoro (El Hierro, Canary Islands) was selected as case study to develop and calibrate the methodology presented in this work, due to the excellent exposition of the volcanic formations, its age (ca. 9 ka) and the detailed topographic and bathymetric maps available of this area.*

Key words: *GIS, volcanic morphometry, coastal platform-forming eruptions, El Hierro, Canary Islands.*

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan un excelente marco metodológico para el modelado geomorfológico preciso de terrenos volcánicos (Rodríguez-Gonzalez et al., 2010). Los parámetros morfométricos obtenidos son claves para determinar la dinámica de acumulación o degradación de los terrenos volcánicos y, por tanto, para una correcta comprensión del fenómeno volcánico. En el presente trabajo se plantea una detallada metodología para el análisis y modelado geomorfológico de erupciones generadoras de plataformas costeras,

estructuras de gran relevancia en el crecimiento de islas volcánicas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La isla de El Hierro es la más pequeña (268 km²), occidental y joven (1,12 Ma) del Archipiélago Canario (Fig. 1). Muestra una característica forma de tetraedro truncado en cuyas aristas se concentran la mayor parte de las erupciones volcánicas recientes, formando las estructuras conocidas como rifts o dorsales. Entre estos rifts se localizan los valles de los deslizamientos laterales gigantes que han ocurrido en esta isla a lo

largo de su evolución geológica. La isla de El Hierro, junto con la de La Palma, se encuentra en un estadio evolutivo juvenil caracterizado por elevadas tasas eruptivas y, por tanto, por un rápido crecimiento (Carracedo et al., 2001).

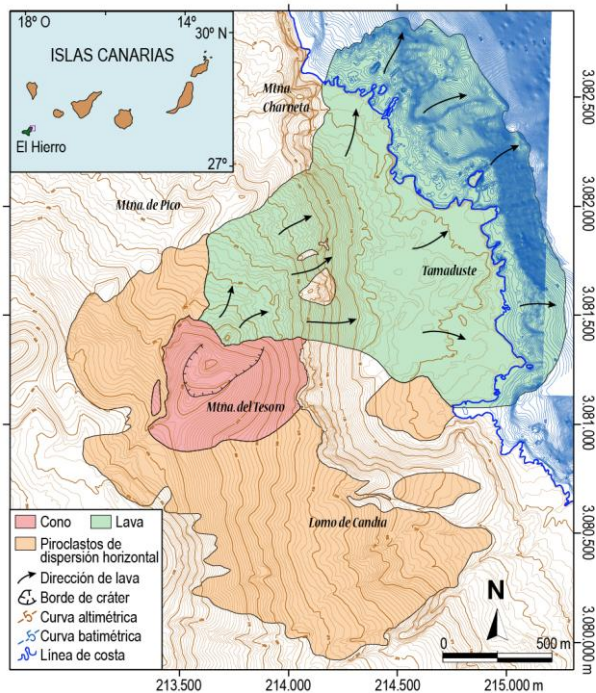


FIGURA 1. Localización y mapa geológico de la erupción de Montaña del Tesoro en la isla de El Hierro (Islas Canarias).

La disposición geomorfológica de lavas formando plataformas costeras, conocidas en la toponimia local como “islas bajas”, se corresponde con actividad volcánica ocurrida a partir del último máximo glaciar (ca. 20-18 ka), ya que para edades superiores a los 20 ka las lavas se disponen formando acantilados (Carracedo et al., 2001). Si bien esta “huella geomorfológica” permite una rápida datación relativa de las erupciones, la cercanía al litoral de las mismas, donde la vegetación es escasa y fundamentalmente de carácter herbáceo, dificulta enormemente el hallazgo de restos de carbones susceptibles de ser datados por ^{14}C . Por ello, para la datación absoluta de estas lavas formadoras de plataformas costeras se debe recurrir a las técnicas radiométricas de K-Ar y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, las cuales han dado excelentes resultados en las vecinas islas de La Palma (Carracedo et al., 2001) y Tenerife (Guillou et al., 2011).

La erupción de Montaña del Tesoro, localizada al NE de la isla de El Hierro, generó una nueva plataforma costera en la que se enclava la población de Tamaduste (Fig. 1). Presenta dos conos volcánicos que crecen sobre una superficie ligeramente inclinada localizada en el techo estructural de un paleocantil. El cono principal, con perfil asimétrico y cráter en forma de herradura abierta hacia el NE, es el principal emisor de los piroclastos de dispersión horizontal que cubren

un área en forma elíptica cuyo eje mayor se orienta hacia el SE, lo que pone de manifiesto la influencia de vientos alisios del N-NO durante la erupción (Fig. 1). Por el contrario, los flujos de lava surgen desde el cono adventicio localizado en la base del cráter del cono principal (Fig. 1). Estas lavas, principalmente con morfologías pahoehoe, se dirigen en abanico hacia el borde del paleocantil donde forman numerosas cascadas que bordean los resaltes topográficos del antiguo acantilado y terminan coalesciendo en la base del mismo. A partir de aquí los flujos de lava, con morfologías a'a predominantes, se extienden por una plataforma de abrasión ganándole terreno al mar y modificando la línea de costa. A lo largo de la línea de costa actual se observa una marcada disyunción columnar en el interior de estas lavas, cuyas potencias llegan a superar los 20 m visibles.

En cuanto a los procesos erosivos, mientras que la erosión fluvial es muy escasa y sólo se observa afectando al flanco NO del cono principal, la erosión litoral sí muestra importantes signos en los frentes de avance de las lavas, haciéndolos retroceder varios metros y dejando como testigos roques aislados de gran envergadura.

METODOLOGÍA

A partir de un detallado trabajo de campo se identifican las diferentes unidades volcánicas que configuran la erupción (conos, lavas y piroclastos de dispersión horizontal), así como el tipo de relieve sobre el que se asientan estos materiales. Los contactos entre estas diferentes unidades se han cartografiado con el apoyo de los mapas topográficos 1:5.000 del Servicio Cartográfico de Canarias (1996) y mapas batimétricos 1:1.000 de la Dirección General de Costas, M^o de Medio Ambiente (2006) (ver figura 1). Una vez establecida la cartografía geológica, se generan múltiples cortes geológicos sobre el área afectada por la erupción que marcan las cotas de contacto entre el sustrato y las distintas unidades volcánicas. Recopilando toda esta información, se modifican las curvas de nivel de la cartografía digital de partida (la actual), tanto subaérea como submarina, que han sido afectadas por la erupción y se obtienen los Modelos Digitales del Terreno (MDT) anteriores a la erupción (MDT pre-erupción) y justo al finalizar la misma sin tiempo para que intervenga ningún agente erosivo (MDT post-erupción). La comparación entre estos dos MDT y el MDT actual permite observar la evolución geomorfológica de la zona de estudio (Fig. 2), así como la obtención de los parámetros morfométricos principales de cada una de las unidades volcánicas.

En esta evolución geomorfológica se establecen tres líneas de costa (pre-erupción, post-erupción y actual), fruto exclusivamente de procesos de construcción volcánica y destrucción erosiva, ya que el nivel del mar

se considera a la misma altura durante el Holoceno en esta zona del Atlántico (Zazo et al., 1996).

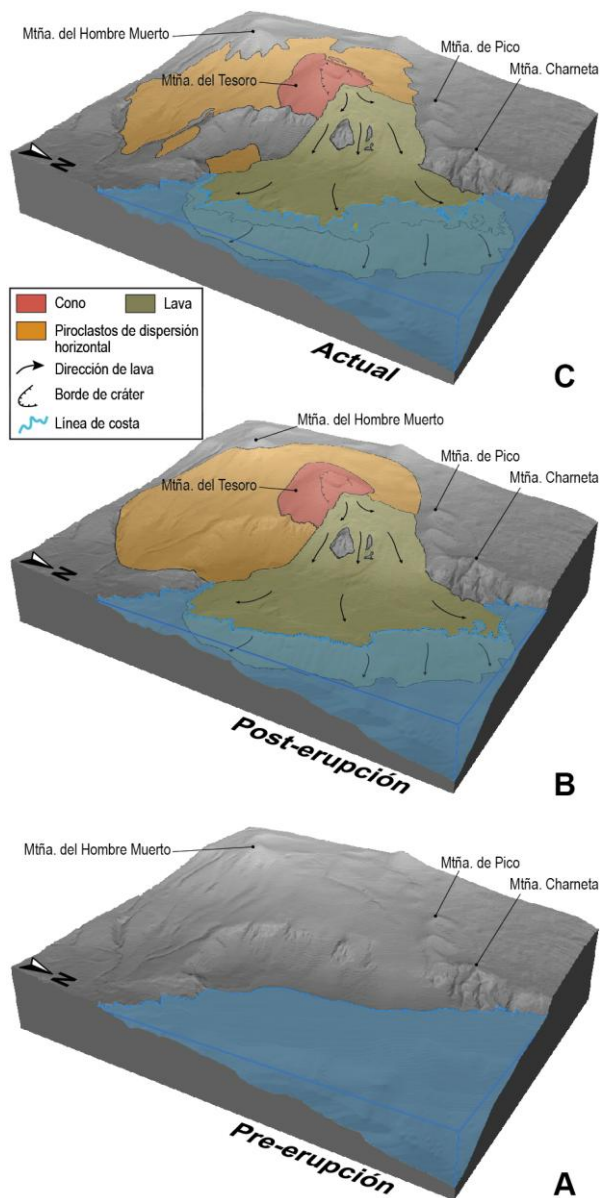


FIGURA 2. Modelos digitales del terreno de la erupción de Montaña del Tesoro: A, pre-erupción; B, post-erupción y C, actual.

La línea de costa pre-erupción (A en la Figura 2) 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. Por su parte, la línea de costa post-erupción (B en la Figura 2), generada exclusivamente por la construcción volcánica, se reconstruye a partir de la observación de la potencia visible del frente de lava en la costa actual, la disposición de sus restos erosivos (roques) y la distribución y morfología de las curvas batimétricas, las cuales permiten distinguir los frentes de lava que ganaron terreno al mar y posteriormente retrocedieron por la erosión litoral, así como los lóbulos de avance de esas lavas en régimen submarino. Finalmente, el

retroceso de la costa post-erupción hasta la posición actual (C en la Figura 2) se considera asociado solamente a procesos de erosión litoral.

RESULTADOS

La datación mediante K-Ar de las lavas de esta erupción ha arrojado una edad de ca. 9 ka, coherente con su posición geomorfológica, formadora de plataforma costera.

La comparación en un entorno SIG entre los tres MDT estudiados permite el cálculo con gran precisión de todos los parámetros morfométricos medibles en las distintas unidades volcánicas, tanto los horizontales (p.ej., diámetro del cráter, longitud de las lavas, superficies, etc.) como los verticales (p.ej., altura del cono, potencia de la lava, volúmenes, etc.). En la Tabla I se reflejan los resultados obtenidos.

En el caso del cono, la diferencia que existe entre los valores de superficie y volumen post-erupción y los actuales refleja la acción erosiva fluvial, ya que su flanco oeste obstruyó el curso del barranco existente que tuvo que volver a recuperar su cauce. Para los piroclastos de dispersión horizontal, materiales poco cohesivos que se limitan al manto topográfico del relieve previo, sus diferencias se atribuyen a múltiples agentes erosivos, principalmente aguas de arroyada y viento, que los desmantelan con relativa facilidad. En cuanto a las lavas, la comparación de los volúmenes y superficies obtenidos requiere de una subdivisión en tres sectores diferenciados. Sector 1 (S1) que comprende el área desde el centro de emisión hasta el contacto con la línea de costa pre-erupción; sector 2 (S2) entre las líneas de costa pre y post-erupción, es decir, el terreno que la erupción ganó al mar; y sector 3 (S3) los lóbulos de avance submarino a partir de la línea de costa post-erupción. La diferencia de los parámetros medidos para S1 debe atribuirse exclusivamente a la erosión fluvial. En el caso de S2, refleja el efecto de la erosión marina en el frente de lava subaéreo y, por último, en S3 no hay modificaciones, ya que se considera que estas lavas han estado siempre sumergidas aisladas de los agentes erosivos considerados en este estudio. Cuando se traza un perfil longitudinal en las lavas, desde su centro de emisión hasta el final de sus lóbulos submarinos, y se compara con los valores de potencia que muestra a lo largo del perfil (Fig. 3A), se pone de manifiesto cómo las mayores diferencias en esas potencias entre los momentos post-erupción y actual se obtienen en el sector 2, donde la erosión litoral es protagonista. Asimismo, los valores de anchura de las lavas muestran también la mayor dispersión en S2, debido al cambio de pendiente que tiene lugar en este sector y a la subsiguiente formación de la plataforma lávica (Fig. 3B).

Conocida la edad de la erupción, las diferencias en los valores de superficies y volúmenes se pueden expresar como tasas erosivas.

MONTAÑA DEL TESORO (9 ka)				
VOLUMEN Y SUPERFICIE	Post-Erupción		Actual	
	Volumen (m ³)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Superficie (m ²)
Cono	9.860.107	331.490	9.317.297	311.117
Piroclastos de dispersión horizontal	2.969.471	1.979.647	2.378.647	1.417.856
Lava (hasta línea de costa pre-erupción) -S1-	8.640.753	662.871	8.618.374	660.771
Lava (de línea de costa pre-erupción a post-erupción) -S2-	18.554.369	749.055	15.603.414	478.159
Lava (a partir de línea de costa post-erupción) -S3-	2.682.251	430.312	2.682.251	430.312
Lava total (S1+S2+S3)	29.877.373	1.842.238	26.904.039	1.569.242
TASAS DE EROSIÓN	Volumen (m ³ /año)		Superficie (m ² /año)	
Cono	60,31		2,26	
Piroclastos de dispersión horizontal	65,65		62,42	
Lava (hasta línea de costa pre-erupción) -S1-	2,49		0,23	
Lava (de línea de costa pre-erupción a post-erupción) -S2-	327,88		30,09	

TABLA I. Volúmenes y superficie, así como tasas de erosión, de las distintas unidades formadas en la erupción de Montaña del Tesoro.

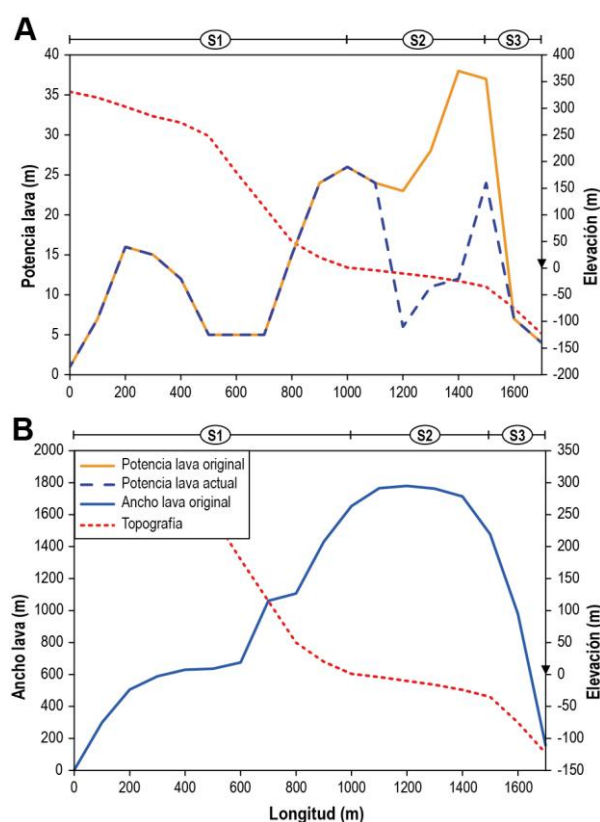


FIGURA 3. (A) Variación de la potencia de las lavas (post-erupción y actual) a lo largo de su perfil longitudinal diferenciado en tres sectores: S1, sector entre el foco emisor y línea de costa pre-erupción; S2, sector entre línea de costa pre- y post-erupción; y S3, a partir de línea de costa post-erupción. (B) Variación del ancho de la lava original (post-erupción) a lo largo de su perfil longitudinal.

CONCLUSIONES

La metodología planteada permite cuantificar el impacto sobre el terreno de erupciones que afectan la línea de costa, particularmente las superficies y volúmenes de terrenos ganados al mar. Además, se puede cuantificar la degradación de los edificios volcánicos por los procesos erosivos y establecer sus tasas temporales de producción de sedimentos.

El método aplicado en la reconstrucción de los paleorelieves (pre- y post-erupción) y evolución de las líneas de costa ha sido ensayado y calibrado en la erupción de Montaña del Tesoro de El Hierro (ca. 9 ka). La comparación entre los tres MDT permite la determinación de parámetros morfométricos, tales como superficies y volúmenes de acreción y degradación. El orden de magnitud de los procesos volcánicos y erosivos determinados en la erupción de la Montaña del Tesoro está dentro del rango esperable en el volcanismo reciente de Canarias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto SolSubC200801000047 del Gobierno de Canarias.

REFERENCIAS

- Carracedo, J.C., Rodríguez Badiola, E., Guillou, H., de La Nuez, J. y Perez-Torrado, F.J. (2001). Geology and Volcanology of the Western Canaries: La Palma and El Hierro. *Estudios Geológicos*, 57: 171-295.
- Guillou, H.; Nomade, S., Carracedo, J.C., Kissel, C., Laj, C., Perez-Torrado, F.J. y Wandres, C. (2011). Effectiveness of combined unspiked K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating methods in the ¹⁴C age range. *Quaternary Geochronology*, 6: 530-538.
- Rodríguez-González, A., Fernández-Turiel, J.L., Pérez-Torrado, F.J., Gimeno, D. y 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. y 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.