

Evolución Geomorfológica de la Isla de Gran Canaria: Isostasia, vulcanismo y disección fluvial (Islas Canarias, España)

Geomorphologic development of the Gran Canaria Island: Isostasy, Volcanism and fluvial dissection (Canary Islands Spain)

P.G. Silva ¹, F.J. Pérez-Torrado ² y M. Martín-Betancor ³

1 Dpto. Geología, USAL, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Hornos Caleros, 50. 05003 Ávila, España. pgsilva@usal.es

2 Dpto. Física (Geología), Facultad de Ciencias del Mar, ULPGC. 35017 Las Palmas de Gran Canaria, España. fperez@dfis.ulpgc.es

3 Dpto. Cartografía y Expresión Gráfica en Ingeniería, Edificio Ingenierías, ULPGC. 35017 Las Palmas de Gran Canaria, España

Resumen: El análisis del volumen de material vaciado por la erosión fluvial en Gran Canaria permite calcular la respuesta isostática mediante la aplicación de sencillas ecuaciones de relieve geofísico. El volumen total de material erosionado (223,95 km³) en Gran Canaria tan solo representa el 0,5% del volumen total del edificio volcánico, pero cerca del 26% de su sector emergido (859,77 km³). Aún este pequeño volumen de descarga es capaz de explicar hasta el 83% (+71,1 m) de la elevación máxima (+143 m) de la isla registrada por horizontes de pillow-lavas (ca. 4 Ma) en el Sector NE de la isla. El análisis de las relaciones evolutivas entre erosión y vulcanismo en el contexto de los procesos de disección y elevación diferencial (SW-NE) de la isla aquí se interpretan como un proceso de flexura isostática generado por la masiva isla de Tenerife desde hace 3,5-3,8 Ma. Una retroalimentación entre descarga erosiva, elevación diferencial, efecto orográfico, flexura de la litosfera y underplating, controla la evolución de islas volcánicas de punto caliente durante su etapa de rejuvenecimiento.

Palabras clave: Erosión Fluvial, Isostasia, Relieve Geofísico, Islas Volcánicas, Gran Canaria.

Abstract: *The analysis of the volume of material wasted by fluvial erosion in Gran Canaria allows to evaluate the subsequent isostatic response (uplift) by means of the application of simple equations of Geophysical relief. The total removed volume (223.95 km³) in Gran Canaria only represents about 0.5% of the bulk volcanic edifice, but about 26% of its emerged sector (859.77 km³). Even this small amount of erosional unloading can explain the 83% (+71.1 m) of the maximum uplift (+143 m) recorded by pliocene (ca. 4 Ma) pillow-lava horizons in the NE slope of the island. The study of the evolutionary relationships between erosion and volcanism within the context of the differential dissection and uplift (SW-NE) are interpreted here as linked to the isostatic flexure generated by the neighbour and massive Tenerife Island since 3.5-3.8 Ma ago. Complex feedback between fluvial unloading, differential uplift, orographic effect, lithospheric flexure, and volcanic underplating, seems to control the geomorphological development of hot-spot volcanic islands during their rejuvenation stage.*

Key words: *Fluvial erosion, isostatic uplift, Geophysical relief, volcanic islands, Canary Islands.*

INTRODUCCION

La erosión de islas volcánicas básicamente produce una descarga del material subaéreo que genera a su vez su elevación isostática, reactivación de la red fluvial y un consiguiente rejuvenecimiento del paisaje (Watts, 2000). Las islas de punto caliente, como es el caso de estudio (Carracedo *et al.*, 2002), además se encuentran sometidas a movimientos de elevación diferencial progresivos producidos por la propagación de la flexura litosférica que acompaña la generación de islas adyacentes más jóvenes. Estudios geofísicos en las Islas Canarias (Watts, 2000; Collier y Watts, 2001) revelan que la Isla de Tenerife ha ejercido un importante proceso de flexura Litosférica sobre las islas más antiguas y, en particular, sobre Gran Canaria. El crecimiento de la Isla de Tenerife (ca. 12 Ma) ha generado una flexura litosférica de unos 2-3 km de amplitud rellena por sedimentos procedentes de la erosión fluvial y gravitatoria de las zonas emergidas del archipiélago. Esta depresión litosférica se extiende unos

200-250 km desde el centro de Tenerife (Fig. 1) y, en la actualidad, el suelo oceánico se encuentra hundido un máximo de hasta 500 m en la flexura (Collier y Watts, 2001). La Isla de Gran Canaria, más antigua (ca. 14,5 Ma), se encuentra en la actualidad situada en el interior de la flexura isostática (moat) generada por Tenerife y ha estado sometida a movimientos de elevación diferenciales durante su desarrollo como consecuencia del proceso de ampliación y propagación de la mencionada flexura. Por tanto, asumiendo que los cambios climáticos y del nivel del mar han afectado de forma homogénea a todo el archipiélago, las variaciones en la disección fluvial de una isla en particular han de estar relacionadas con la edad del sector erosionado y con procesos de elevación y basculamiento diferencial de cada isla en particular.

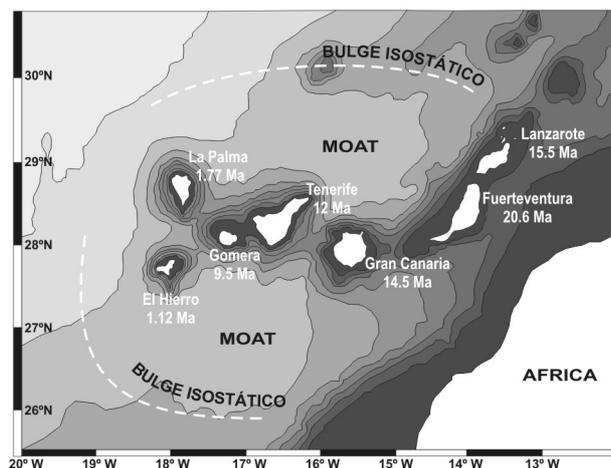


FIGURA 1. Localización y batimetría del Archipiélago Canario, mostrando los sectores emergidos en blanco con la edad de los materiales subaéreos más antiguos en cada una de las islas, así como la posición actual de la depresión y abombamiento isostático provocado fundamentalmente por la Isla de Tenerife. Batimetría (curvas de nivel a 500m) tomada de Collier y Watts (2001).

Datos procedentes de la distribución altimétrica de horizontes pliocenos de pillow-lavas (ca. 4 Ma) en la Isla de Gran Canaria indican la existencia de una elevación diferencial NE-SW de aproximadamente 100 metros (Pérez-Torrado *et al.*, 2002). En el sector W de la isla estos marcadores de antiguas posiciones del nivel del mar se encuentran a +46 m sobre el nivel del mar actual, mientras que en el NE se encuentran por encima de los 100 m con un máximo a +143 m. Este dato revela la existencia de un basculamiento general hacia el W o WSW de edad post-pliocena consistente con la flexura litosférica ejercida por la Isla de Tenerife, cuyo centro se sitúa a una distancia de unos 110-120 km de la costa Oeste de Gran Canaria.

EVOLUCIÓN VOLCÁNICA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA.

El crecimiento subaéreo de islas volcánicas intraplacas sigue, en líneas generales, un mismo modelo evolutivo caracterizado por la sucesión de dos grandes fases magmáticas (fase juvenil y de rejuvenecimiento) separadas por un periodo de inactividad volcánica-erosión (Carracedo *et al.*, 2002). La inclusión en uno u otro estadio evolutivo de una isla hace referencia a su posición respecto al punto caliente mantélico, fuente de alimentación magmática. Así, las islas de El Hierro (1,12 Ma) y La Palma (1,77 Ma), a unos 250 km al Oeste de Gran Canaria, se encuentran en la fase juvenil acorde con su localización en la vertical del punto caliente. La Gomera (9,5 Ma) está inmersa en el periodo de inactividad volcánica, mientras que Tenerife (12 Ma) se encuentra en el inicio de la fase de rejuvenecimiento con el crecimiento sucesivo de los estratovolcanes Cañadas-Teide-Pico Viejo. Por el contrario, Gran Canaria (14,5 Ma), Lanzarote (15,6 Ma) y Fuerteventura (20,6 Ma), en el extremo oriental del archipiélago, presentan un estadio de rejuvenecimiento bastante avanzado.

En Gran Canaria, la fase juvenil comprende el desarrollo de un volcán en escudo basáltico (14,5-14

Ma), formación de una caldera de colapso (14 Ma: Caldera de Tejeda) y resurgencia post-caldera (14-8,3 Ma) con el emplazamiento masivo de materiales ignimbíticos sálicos que rellenaron la caldera, pero también mantearon las laderas del edificio en escudo (Carracedo *et al.*, 2002). Finalizada la fase juvenil, sobrevino un periodo de inactividad volcánica en la isla que se prolongó durante más de 3 Ma (8,8-5,5 Ma). La actividad erosiva reinante en este periodo generó la primera red de barrancos radiales antecesores de los actuales, cuya topografía condicionó la distribución de la subsecuente actividad volcánica y erosiva. De hecho, la geomorfología del Sector S-SW de la isla (Los Tableros, Macizo de Amurga) data de este primer episodio erosivo, ya que la actividad volcánica posterior se ha concentrado fundamentalmente en su sector N-NE.

Tras este episodio de inactividad tiene lugar la fase de rejuvenecimiento volcánico que se ha prolongado durante los últimos 5,5 Ma. Inicialmente presenta un carácter puntual con el desarrollo de un estratovolcán en el centro de la isla, el Roque Nublo (5,5-2,7 Ma). Los materiales resultantes de su actividad van a fluir y rellenar parcialmente la red fluvial previamente excavada, fundamentalmente en los sectores septentrionales de la isla. Eventualmente alcanzaron el mar, donde dieron lugar a unos extensos deltas de pillow-lavas en los sectores costeros del N-NE, y puntualmente en el W, de la isla, datados en unos 4 Ma (Pérez-Torrado *et al.*, 2002). El volcanismo post Roque Nublo (3,5 Ma a la actualidad), al contrario que su predecesor, es de carácter fisural y está caracterizado por la alineación de conos estrombolianos en una estructura de rift que atraviesa la isla de NE a SW. Las lavas surgidas de estos conos terminarán por rellenar la mayoría de los barrancos excavados en el escudo mioceno en el N-NE de la isla, dando lugar a suaves plataformas (Guillou *et al.*, 2004) en las que posteriormente reincidirá la red de drenaje cuaternaria. De este modo, mientras la mitad NE de la isla registra el proceso erosivo cuaternario con la reactivación de la red fluvial, su mitad S-SW es un paisaje fundamentalmente relicto que data desde al menos las últimas fases de actividad del volcán Roque Nublo (3-2,7 Ma), aunque en su mayoría corresponde a la fase erosiva terminal del Mioceno que finalizó hace unos 5,5 Ma.

MATERIAL EROSIONADO, RESPUESTA ISOSTÁTICA Y DISECCION DIFERENCIAL DE LA ISLA.

A partir del MDT elaborado en base a la cartografía digital 1:5000 de la isla (Menéndez *et al.*, 2008) y de la implementación de la cartografía geológica 1:25.000 sobre el mismo, se ha procedido a la identificación de las superficies pre-incisión y posteriormente al cálculo del volumen erosionado para cada una de las 58 cuencas de drenaje principales de Gran Canaria. Este análisis se ha zonificado siguiendo los diferentes sectores geomorfológicos identificados en la isla (Tabla I)

SECTORES	NW (h+a)	NE (h+j)	SE (s+j)	SW (s+a)
AREA (km ²)	256,98	390,15	228,15	398,64
VOLUMEN (km ³)	90,91	32,26	23,25	74,87
RELIEVE GEOF $G_r = V(m^3)/A(m^2) = h(m)$	354,31	82,68	101,92	187,80
ELEVACION ISOST. $E_i = G_r \times (\rho_m/\rho_c)(m)$	304,71	71,10	87,65	161,50
ELEVACIÓN (mm/año)	0,023	0,039	0,022	0,016
INCISIÓN (mm/año)	0,115	0,112	0,071	0,075

TABLA I. Promedios de los parámetros evaluados en los diferentes sectores geomorfológicos de la isla. (a): Laderas antiguas volcán mioceno; (j): Laderas jóvenes sobre plataformas basálticas; (h) vertiente húmeda; (s) Vertiente seca

A partir de estos datos morfométricos se ha calculado el "relieve geofísico". Este responde a la división del volumen vaciado por la erosión (m³) por el área de la cuenca de drenaje (m²), resultando un valor en metros asimilable a la altura de la lámina teórica desmantelada por la erosión en cada cuenca analizada (Gilchrist *et al.*, 1994). Si a esta lámina se le aplica una sencilla función de respuesta isostática, se obtiene el valor de la respuesta isostática de elevación a la descarga erosiva. Los mayores valores de volumen de material erosionado, relieve geofísico y elevación corresponden, lógicamente, a los sectores occidentales de la isla (NW y SW), donde el relieve es más antiguo (Escudo Mioceno) y se superponen los dos ciclos erosivos que ha sufrido la isla (ver tabla I). Estos valores se disparan en el sector NW donde además el

efecto orográfico aumenta la disección fluvial en la vertiente Norte (húmeda) de la isla, focalizada fundamentalmente en la cabecera de erosión de Tejeda.

En cuanto a las tasas de incisión, se observa como las tasas promedio de la isla, independientemente de la edad, son mayores en la vertiente húmeda (Norte). Sin embargo, considerando la elevación total producida en cada sector en respuesta a la descarga isostática erosiva, se observa que en el sector NE los valores son máximos y en el SW son mínimos, pudiéndose interpretar esto en términos de un basculamiento NE-SW tal y como registran también los horizontes de pillow-lavas pliocenos (Pérez-Torrado *et al.*, 2002).

El volumen total de material erosionado (223,95 km³) en Gran Canaria tan solo representa el 0,5% del volumen total del edificio volcánico, pero cerca del 26% de su sector emergido (859,77 km³). Aún este pequeño volumen de descarga es capaz de explicar hasta el 83% (+71,1 m) de la elevación máxima (+143 m) de la isla registrada en esos horizontes de pillow-lavas en el sector NE de la isla. El restante 17% de elevación, puede ser explicada por un conjunto de factores que involucran la flexura litosférica generada por Tenerife desde el desarrollo del edificio de Las Cañadas hace unos 3,8 Ma (Fig. 2). No obstante, no hay que descartar una contribución importante de la bajada del nivel del mar plioceno tras el comienzo del desarrollo de la Antártica hace unos 3,5 Ma.

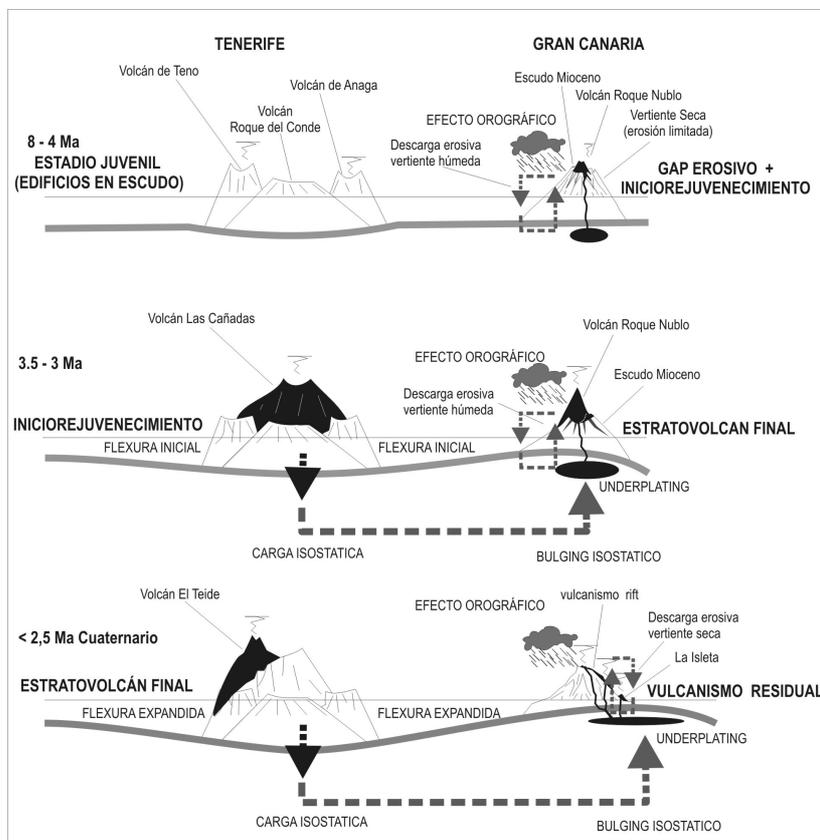


FIGURA 2. Evolución esquemática de la disección diferencial de la isla de Gran Canaria en función de la expansión de la flexura isostática generada por Tenerife desde el Plioceno Superior y su retroalimentación por basculamiento, efecto orográfico y posible underplating bajo el bulge isostático externo de la flexura (ver figura 1). En negro se resaltan los edificios volcánicos activos en cada una de las fases.

La Isla de Tenerife comenzó su desarrollo subaéreo hace unos 12 Ma coincidiendo con las últimas fases de la construcción del Escudo Mioceno de Gran Canaria (Carracedo *et al.*, 2002). De acuerdo con el espesor elástico teórico (20 km) de la litosfera en Gran Canaria y las pequeñas velocidades de desplazamiento tectónico (2 mm/año) del archipiélago (Watts, 2000), la flexuración isostática de la corteza oceánica es difícil que se produjera con anterioridad al desarrollo del estratovolcán Cañadas (3,8-3,5 Ma). Este periodo coincide con eventos relevantes en la configuración del relieve de la Isla de Gran Canaria, tal y como: (1) Primeros colapsos del estratovolcán Roque Nublo; (2) Comienzo de las erupciones volcánicas del rift NW-SE que constituyen las plataformas volcánicas en el sector joven de la isla; y (3) Inicio de la disección actual en el sector antiguo de la isla, fundamentalmente centrado en el re-vaciado de los valles miocenos rellenos por los materiales de la fase Roque Nublo.

La situación de Gran Canaria en la parte interior del bulge isostático generado por Tenerife entre los 3,8 y 2,5 Ma, provocaría un basculamiento hacia el Este que habría facilitado la erosión fluvial y gravitacional de toda su fachada Oeste sometida a elevación durante el comienzo del presente periodo erosivo. Este hecho explicaría los mayores valores de elevación y descarga isostática que en conjunto registra el sector Oeste de la isla (fundamentalmente antiguo y húmedo). Con posterioridad, la expansión de la flexura isostática de Tenerife, situó a Gran Canaria en el interior del surco isostático a comienzos del Cuaternario (2,5- 2,0 Ma.), dando lugar al presente fenómeno de basculamiento hacia el Oeste, el cual facilitaría la aceleración de la erosión fluvial en toda la fachada Este de la isla que se encontraría en elevación (ver figura 2).

Los valores de las tasas de incisión, y especialmente elevación, se disparan en el cuadrante NE de la isla (ver tabla I), donde esta elevación es retroalimentada por el efecto orográfico (vertiente Norte húmeda) en el sector más joven (vertiente Este). Además es en este sector NE de la isla donde se focaliza mayoritariamente la actividad volcánica reciente (<1 Ma) con erupciones pleistocenas e incluso holocenas. Este vulcanismo mayoritariamente responde a erupciones freatomagmáticas y estrombolianas, que han generado conos volcánicos de diferente entidad, como es el caso de los volcanes de Arucas, La Isleta, Bandama, etc... en el entorno de la Ciudad de Las Palmas. Por lo general, las coladas volcánicas asociadas a estos edificios recientes se canalizan por la red de barrancos cuaternarios. Este vulcanismo podría estar alimentado por un proceso de Underplating (Krstel y Schmincke, 2002) que según el esquema propuesto podría estar facilitado por la posición reciente del abombamiento isostático (bulging) al NE de Gran Canaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PI2002/148 del Gobierno de Canarias y por el Proyecto GRANCA de la CICYT, Ministerio de Educación y Ciencia (Ref. CGL2004-04039/BTE).

REFERENCIAS

- Carracedo, J.C., Pérez-Torrado, F.J., Ancochea, E., Meco, J., Hernán, F., Cubas, C.R., Casillas, R., Rodríguez-Badiola E. y Ahijado, A. (2002): Cenozoic volcanism II: the Canary Islands. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, eds.). Geological Society of London, Londres, 439-472.
- Collier, J.S. y Watts, A.B. (2001): Lithospheric response to volcanic loading by the Canary Islands: Constrains from seismic reflection data in their flexural moat. *Geophysical Journal International*, 147: 660-676.
- Gilchrist, A.R., Summerfield, M.A. y Cockburn, H.A.P. (1994): Landscape dissection, isostatic uplift, and the morphologic development of orogens. *Geology*, 22: 963-966.
- Guillou, H., Pérez-Torrado, F.J., Hansen, A.R., Carracedo, J.C. y Gimeno, D. (2004): The Plio-Quaternary volcanic evolution of Gran Canaria based on new K-Ar ages and magnetostratigraphy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 135: 221-246.
- Krstel, S. y Schmincke, H.U. (2002): Crustal structure of northern Gran Canaria, Canary Islands, deduced from active seismic tomography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115: 153-177.
- Menéndez, I., Silva, P.G., Martín-Betancur, M., Pérez-Torrado, F.J., Guillou, H., Scaillet, S. (2008): Fluvial dissection, isostatic uplift, and geomorphological evolution of volcanic islands (Gran Canaria, Spain). *Geomorphology*, en prensa.
- Pérez-Torrado, J.F., Santana, F., Rodríguez-Santana, A., Melián, A.M., Lomostchitz, A., Gimeno, D., Cabrera, M.C. y Baez, M.C. (2002): Reconstrucción paleogeográfica de los depósitos volcano-sedimentarios Pliocenos en el litoral NE de Gran Canaria (Islas Canarias) mediante métodos topográficos. *Geogaceta*, 32: 43-46.
- Watts, A.B. (2000): The growth and decay of oceanic islands. En: *Geomorphology and global tectonics* (M.A. Summerfield, ed.). John Wiley & Sons, Chichester, 338-360.