

Actividad de una falla asociada a la erupción volcánica de la Isla Decepción en 1970 (Antártida Occidental): la Falla de María

The 1970's volcanic eruption at Deception Island (West-Antarctica) and fault-related activity: the Maria's Fault

R. Pérez-López¹, M.A. Rodríguez-Pascua², M. Bejar³, J.J. Martínez-Díaz³, J.L. Giner-Robles¹, P.G. Silva⁴, P. Villamor⁵ y J.M. González-Casado^{6†}

1 Dpto. CC. AA. y RR. NN. Universidad San Pablo. Campus Montepríncipe, 28668. Madrid. rperez.fcex@ceu.es, rbicoín@gmail.com

2 Área de Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España. ma.rodriguez@igme.es

3 Dpto. de Geodinámica. Facultad de CC. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 28004. martabejar@geo.ucm.es; jmdiaz@geo.ucm.es

4 Dpto. de Geología. Universidad de Salamanca. pgsilva@usal.es

5 Dpto. of Paleoseismicity and Volcanology. Institute of Geological and Nuclear Sciences. New Zealand.

6 Dpto. de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. †

Resumen: Este trabajo analiza la formación de un escarpe de falla asociado a la erupción freatomagmática que ocurrió en 1970 en la Isla Decepción (Antártida Occidental). El hecho de tener información de fotografías aéreas previas a su desarrollo (1968) y una imagen de satélite de alta resolución (2003) permite establecer la formación de dicho escarpe, la evolución de la red de drenaje y la presencia de terrazas fluviales levantadas. A partir de esta información, llevamos a cabo una campaña de campo durante el verano austral de 2007, con el fin de realizar una serie de trincheras a lo largo del escarpe. De toda la información expuesta, se constata un movimiento de componente inverso a lo largo de la falla con 1 km de ruptura superficial y 20 cm de salto, afectando a los depósitos piroclásticos de la erupción de 1970. Tres modelos podrían explicar dicha actividad: (1) Terremoto inverso de tamaño pequeño-moderado ($5 < M < 6$) posterior a la erupción de 1970, (2) Reactivación de una falla previa asociada a la inyección o migración de un dique somero durante el proceso eruptivo y (3) Actividad asísmica de tipo *creep* a lo largo del plano de falla post terremoto.

Palabras clave: erupción freatomagmática, terremoto tecto-volcánico, falla inversa, volcán, Antártida.

Abstract: This work addresses the presence of a superficial rupture fault scarp in relationship with the phreatomagmatic eruption occurred in 1970 at Deception Island, West Antarctica. We have analysed aerial photographs (1968) previous to the eruption and contemporaneous high resolution satellite image (Quickbird, 2003). This information was relevant to establish the scarp morphology, fluvial network variations and uplifted fluvial terraces. Accordingly and during the austral summer of 2007, we carried out a field survey with the purpose to perform several paleoseismic trenches across the fault scarp. This analysis showed a reverse fault movement through 1 km of superficial rupture with 20 cm of vertical throw. This activity affected to the pyroclastic volcano sedimentary sequence of the 1970's eruption. We propose three models that could explain this activity: (1) Reverse small-moderate earthquake ($5 < M < 6$) triggered by the 1970's eruption, (2) Reactivation of a previous fault as a consequence of dike injection and/or magma migration in relationship with the eruptive process and (3) Aseismic fault creep activity post-earthquake.

Key words: phreatomagmatic eruption, volcano tectonic earthquake, reverse fault, volcano, Antarctica.

INTRODUCCIÓN

La actividad volcánica subaérea reciente del Estrecho de Bransfield se localiza principalmente en la Isla Decepción, una pequeña isla volcánica de 13 km de diámetro y que está localizada al suroeste de las Islas Shetland del Sur (Antártida Occidental) (Fig.1). De toda la actividad volcánica cuaternaria en la isla, la más reciente constituye el proceso eruptivo de 1967, 1969 y 1970 (Barker y Mc Reath, 1971; Smellie *et al.*, 2002).

Como consecuencia de estas erupciones, se produjeron una serie de variaciones geomorfológicas muy evidentes en la isla: aparición de cráteres por explosión freatomagmática, variaciones de la longitud y

trazado de la línea de costa de la bahía interna (Puerto Foster) (Fig. 2), emersión del terreno por erupción volcánica, hundimiento de partes emergidas, cambios significativos en la red de drenaje, etc. En definitiva, la geomorfología de la isla muestra una variación espacio temporal como consecuencia de la intensa actividad volcánica reciente en combinación con la presencia de grandes fallas con expresión geomorfológica.

El análisis de la evolución geomorfológica como consecuencia de dichas erupciones permite estudiar la dinámica volcánica cuaternaria asociada a esta zona, la cual se enmarca, desde un punto de vista tectónico, dentro de una cuenca *trasarco* de tipo particular (González-Casado *et al.*, 2000). En este contexto

tectónico, la isla evoluciona a partir de una extensión uniaxial en un régimen de la deformación en desgarre.

Por otro lado, es interesante destacar que la dinámica eruptiva presenta actividad freatomagmática dando lugar a cráteres de tipo *maar*. El interés de dichas erupciones radica en la posibilidad de que puedan disparar terremotos post-erupción y que sean de tipo tectónico, frente a otros terremotos volcánicos (Schmincke, 2000). En este caso, los terremotos tectónicos disparados por erupciones, sean del tipo que sean, son un fenómeno raro y poco estudiado. En este sentido, este trabajo aporta un primer análisis de un posible terremoto de magnitud moderada ($5 < M < 6$), disparado como consecuencia de la erupción freatomagmática de 1970 en la isla, y que generó una ruptura superficial de, al menos, 1 km de longitud a una distancia próxima a los 800 m de los cráteres.

Existen trabajos previos que describen actividad geomorfológica cuaternaria asociada con la actividad tectovolcánica en la isla (Pallàs *et al.*, 1995; Smellie *et al.*, 2002; López-Martínez *et al.*, 2002; Fernández-Ibáñez *et al.*, 2005).

PROCESO ERUPTIVO ENTRE 1967 Y 1970

Isla Decepción se formó a partir de una serie de erupciones volcánicas cuaternarias de edad incierta: 780 ka mediante magneto-estratigrafía (Baraldo *et al.*, 2003) o bien 350 ka mediante K-Ar (Keller *et al.*, 1991). Esta secuencia ígnea comienza con una serie de materiales volcánicos submarinos: *pillow-lavas*, sobre las que se depositan varias erupciones basálticas. Posteriormente, se produce el emplazamiento de un estratovolcán mediante erupciones subaéreas de afinidad poligénica (estrombolianas, freatomagmáticas, fisurales, etc.).

Desde el punto de vista composicional, estas secuencias volcánicas están compuestas principalmente por basaltos y basaltos andesíticos de afinidad básica, generalmente compuestos por vidrio volcánico, con fenocristales de plagioclasas y algo de piroxeno (Smellie *et al.*, 2002).

Las erupciones que configuraron la parte emergida de Isla Decepción, consisten principalmente en una serie de emisiones estrombolianas con coladas piroclásticas (*surges*) y depósitos volcano-sedimentarios a favor de la pendiente. Este edificio volcánico fue modificado posteriormente por la formación de una caldera, colapso gravitacional de la cámara magmática (Puerto Foster, Fig. 2).

La actividad volcánica reciente muestra una combinación entre erupciones monogenéticas (Fig. 2a) (i.e: erupción Isla Teléfono, 1967), erupciones freatomagmáticas tipo *maar* (i.e: erupción Bahía Balleneros, 1969) y emisiones fisurales basálticas intermitentes durante el siglo XIX.

La secuencia volcánica se resume en tres grupos (Smellie, 2002):

1- *Grupo de Puerto Foster: Pillow-lavas* y brechas subaéreas. 2- *Caldera volcánica:* hundimiento de la parte central con la formación de la bahía interna denominada Puerto Foster. Se observan depósitos piroclásticos de cenizas y lapillis fracturados y plegados. 3- *Grupo de Monte de Pond:* tobas, lapillis y coladas basálticas con suelos cocidos (almagres), conos de cineritas, etc.

Erupción de 1967

Se localiza en la zona de Bahía Teléfono (Fig.2a). Esta erupción generó la emersión de una isla efímera con tres cráteres monogenéticos de tipo *scoria cone* y alineados NE-SO. Las emisiones de material piroclástico dejaron una potencia de hasta 1,8 metros sobre la zona de falla y al menos en cinco emisiones diferentes (Barker *et al.*, 1975). Las erupciones fueron de tipo mixto, entre estromboliana y freatomagmática, dejando secuencias grano-decrecientes de tipo sub-angulosos de lapilli con cenizas a techo de la serie. Presencia de bombas de tamaño centimétrico que disminuyen de tamaño y frecuencia al alejarnos del foco emisor.

Erupción de 1969

Esta erupción ocurrió a media ladera en Caleta Péndulo, en las faldas noroeste del Monte Pond (Fig. 2a). Esta erupción fue de tipo estromboliana, con coladas piroclásticas de tipo Aa que destruyeron por completo la Base Antártica Chilena Pedro Cerdá. Sobre la zona de estudio no hubo depósito alguno, pese a la cercanía del mismo.

Erupción de 1970

Constituye la última gran erupción freatomagmática en la isla, dando lugar al denominado Cráter 70 (Caleta Péndulo, Fig. 2a), una serie de cráteres alineados NO-SE de 380m de longitud y 75 m de anchura el mayor. Sobre la zona de estudio se depositaron entre 20 y 30 cm de material piroclástico fino altamente energético, bien seleccionado y redondeado, con cenizas a techo (Baker *et al.* 1975).

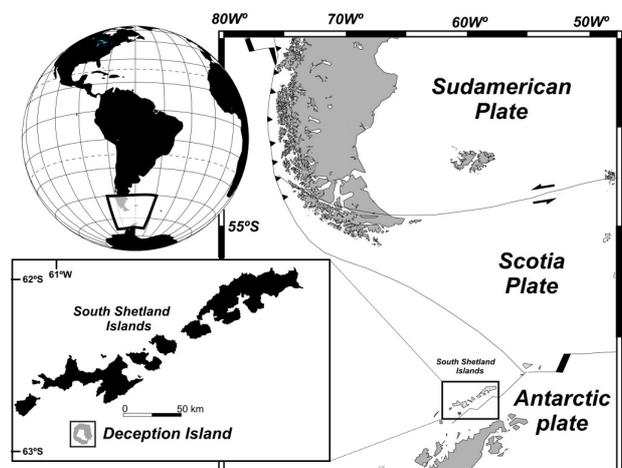


FIGURA 1. Localización geográfica de Isla Decepción, Shetlands del Sur, estrecho de Bransfield, Antártida Occidental.

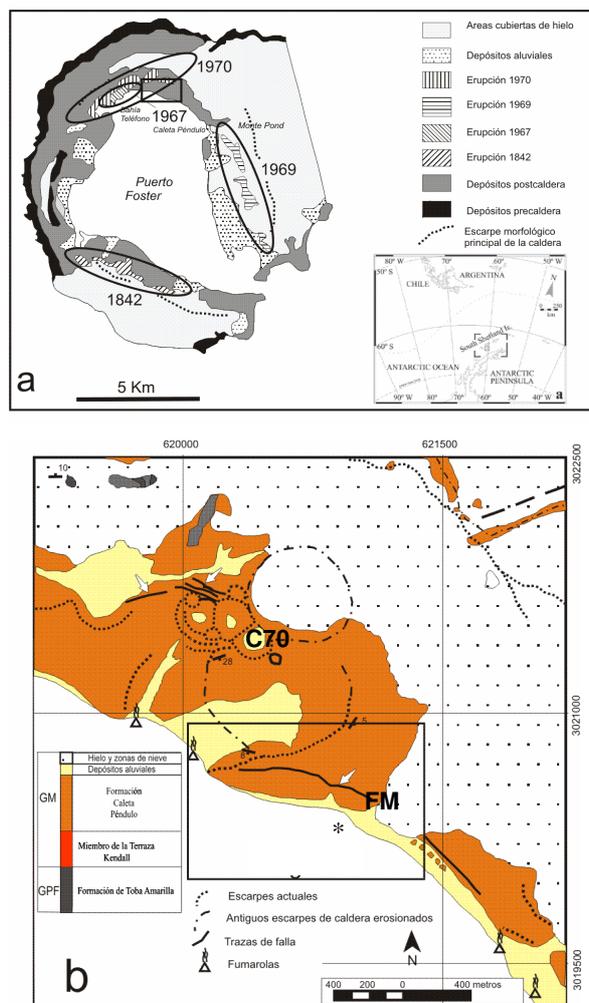


FIGURA 2. **a)** Localización de las erupciones volcánicas históricas en Isla Decepción. Las elipses hacen referencia a la localización de las erupciones, fisurales estrombolianas en 1842 y 1969, freatomagmáticas en 1967 y 1970 (C70). Las tramas indican la localización de las coladas. Los depósitos grises piroclásticos son estimativos. Modificada de De Rosa, 1995. **b)** Mapa geológico simplificado de la zona, inspirado en López-Martínez y Serrano, 2002. El recuadro localiza la zona de la Falla de María (FM), ya cartografiada por dichos autores y el asterisco localiza la trinchera.

ESTUDIO DE GEOMORFOLOGÍA TECTÓNICA

Existen pocos trabajos sobre paleoisismología y geomorfología tectónica en zonas activas de la Antártida (e.g. Fernández-Ibáñez, 2005, Maestro *et al.*, 2007). Esta zona, a parte de lo remota y difícil de acceso, presenta una cubierta de nieve de gran espesor, presencia de *permafrost* a los pocos centímetros de profundidad y procesos geomorfológicos propios de zonas glaciares y/o periglaciares (López-Martínez y Serrano, 2002). Además, hay pocos afloramientos de materiales cuaternarios a lo largo de la Antártica, sensibles de indicar la actividad tectónica actual. Sin embargo, la Isla Decepción está datada como cuaternaria, con un 40% aproximadamente de su superficie libre de hielo y nieve, y con numerosos procesos geomorfológicos sensibles de indicar actividad tectónica reciente (fluviales, litorales, etc.), tal y como evidencian los trabajos anteriormente citados.

Fotografías aéreas 1968

A partir del vuelo argentino de 1968 (1:20.000), se han interpretado 8 pares estereográficos que cubren la totalidad de la isla. Tomando los márgenes de las esquinas de la fotografía, y mediante una corrección geométrica, se procedió a rectificar la deformación de cada uno de los pares (UTM, elipsoide y datum WGS 84). El error residual de la deformación es inferior a 14 m. A partir de las ortofotografías, se realizó un mosaico entre Cráter 70 y Caleta Péndulo (Fig. 3 inferior). Se observa una ladera orientada al sur, con una longitud de 1,2 km aproximada, surcada por una red de drenaje jerarquizada con una posible traza de falla.

Imagen Quickbird 2003

Con una resolución de 64 x 64 cm de la imagen *Quickbird* y un MDT de 2 x 2 m (cortesía de la Universidad de Cádiz), realizamos la ortofoto de la misma zona (Fig. 3 superior). Se observa una traza de ruptura superficial afectando a media ladera, con 1 km. de longitud y un buzamiento de 27° SSO. Dicha traza queda limitada a la derecha de la imagen por un glaciar de fondo de valle y a la izquierda por la bahía. Aparece una variación importante por retroceso de la línea de costa con emplazamiento de abanicos aluviales activos y encajamiento de la red de drenaje del labio levantado, lo que sugiere un movimiento inverso.

Trincheras en la falla de María (Caleta Péndulo)

Realizamos un total de tres trincheras perpendiculares a la traza de la falla, de 6 m de longitud por 2 m de profundidad. De todas ellas, solo la trincheras de la zona central (* en Fig. 2b) mostró el plano de falla, estando las demás trincheras afectadas por el *permafrost* y en la zona superior a la plano de falla. La interpretación de la trincheras aparece en la Figura 4.

DISCUSIÓN Y MODELOS PROPUESTOS

Se proponen tres modelos que podrían explicar las estructuras analizadas e interpretadas, tanto en la interpretación de la trincheras como en las imágenes de teledetección:

I)- *Terremoto inverso de tamaño pequeño-moderado* ($5 < M < 6$) posterior a la erupción de 1970. A favor de esta hipótesis está la cercanía del escarpe de la falla de María con los cráteres de 1970 (< 800 m), la existencia de terremotos instrumentales de tal magnitud a menos de 500 m del escarpe e inmediatamente posterior a la erupción de 1970, una orientación congruente de la falla con la orientación del máximo acortamiento horizontal (NE-SO) y congruente a su vez con las evidencias geomorfológicas (terrazas fluviales colgadas, retroceso de la línea de costa e incisión de la red de drenaje). Sin embargo es necesario considerar el error asociado a la sismicidad instrumental y la existencia de una falla inversa buzando hacia la caldera bajo un campo de esfuerzos extensional, así como la presencia de *permafrost* a 2 m de profundidad.

II)- *Reactivación de una falla previa asociada a la inyección o migración de un dique somero durante el*

proceso eruptivo. Este modelo explica la alineación de cráteres de la erupción de 1970 (NO-SE) y permite relacionar genéticamente la erupción de 1967 con la de 1970 mediante la intersección de dos estructuras someras NO-SE y ENE-OSO. Además, el movimiento inverso obedecería a la génesis de un campo de esfuerzos compresivo local por la inyección magmática. Sin embargo, se necesita más información sísmica instrumental, previa a la migración y/o emplazamiento.

III)- *Actividad asísmica de tipo creep a lo largo del plano de falla post terremoto.* Hipótesis poco estudiada pero que a tenor de los datos disponibles, no es conveniente descartar del todo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto MEC FALLADEC, CGL2005-24148-E/ANT, *Evidencias de actividad tectovolcánica reciente en Isla Decepción.* Quisiéramos, agradecer al Ejército de Tierra su labor en la Base Antártica Española Gabriel de Castilla y a la Armada Española por su labor en el buque BIO Las Palmas, A-52.

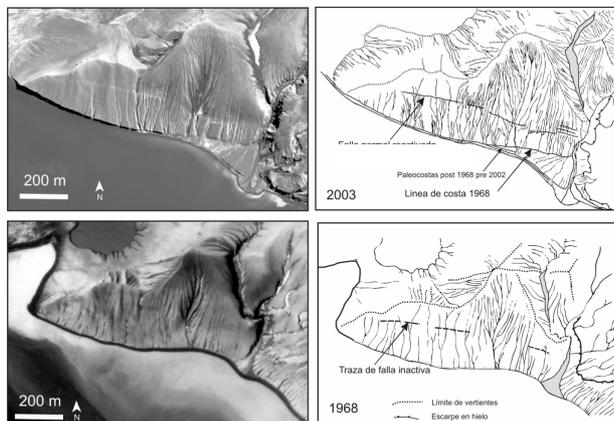


FIGURA 3. Interpretación de la red de drenaje antes y después de la actividad de la Falla de María. Superior: Ortofoto de la imagen QB2003 con la traza de la falla e interpretación (derecha). Inferior: Ortofoto del vuelo aéreo argentino de 1968 con su interpretación (derecha). Obsérvese el escarpe generado.

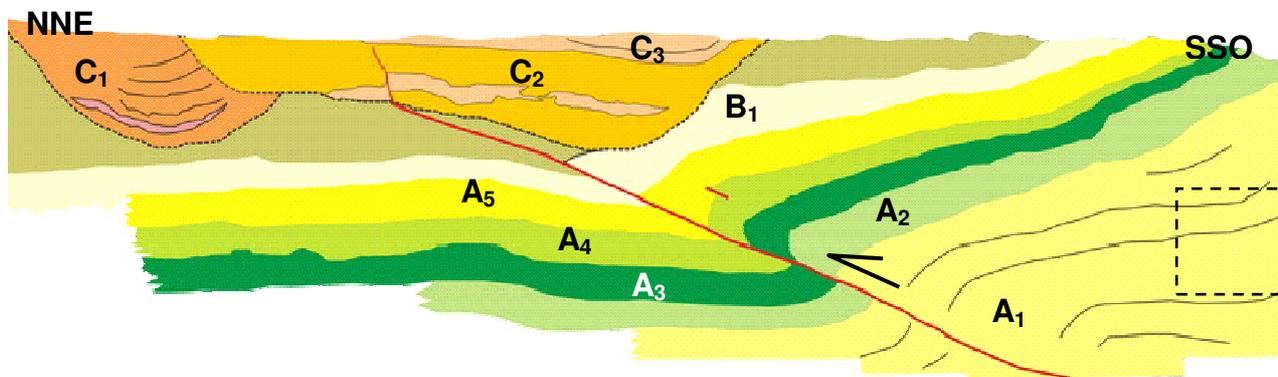


FIGURA 4. Interpretación del mosaico fotográfico de la trinchera central (* en Fig. 2b) realizada en la Falla de María (FM). La malla es de 50x50 cm, (cuadrado discontinuo). Erupción de 1967, A1, A2, A3, A4, A5. Secuencias grano decrecientes y estrato decrecientes de lapilli, bien seleccionado y redondeado, con presencia de bombas centimétricas, de tonos rojizos, plegados, representan 1,75 m de potencia, estando la base afectado por el permafrost. Erupción de 1970, material B1, secuencia entre 20 y 30 cm de material de selección pobre, subangulosos, más energético que el depósito anterior. Depósitos C1, C2 y C3. Canales fluviales paralelos a la traza de la falla y con diferentes relaciones de corte. Se formarían debida a la depresión generada por el pliegue del labio levantado. El buzamiento del plano es de 27° S, hacia el interior de Puerto Foster.

REFERENCIAS

- Baraldo, A., Rapalini, A. E., Böhnell, H. y Mena, M. (2003): Paleomagnetic study of Deception Island, Sur de la Islas Shetland, Antártida. *Geophysical. Journal International*, 153: 1-11.
- Baker, P.E., McReath, I., Harvey, M.R., Roobol, M.J. y Davies, T.G. (1975): The volcanic evolution of Deception Island. *British Antarctic Survey Science Report*, 78: 1-81.
- De Rosa, R., Mazzuoli, R., Omarini, R.H., Ventura, G. y Viramonte, J.G. (1995): A volcanological model for the historical eruptions at Deception Island (Bransfield Strait, Antarctica). *Terra Antarctica*, 2 (2): 95-101.
- Fernández-Ibáñez, F., Pérez-López, R., Martínez-Díaz, J.J., Paredes, C., Giner-Robles, J.L., Caselli, A. y Ibáñez, J. (2005): Costa Recta Beach (West Antarctica). Is it a retreated submarine fault scarp? *Antarctic Science*, 17(3): 418-426.
- González-Casado, J. M., Giner-Robles, J. L., y López-Martínez, J. (2000): Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: not a normal backarc basin. *Geology*, 28: 1043-1046.
- Keller, R. A., Fisk, M. R., White, W. M. y Birkenmajer, K. (1991): Isotopic and trace elements constrains on mixing and melting models of marginal basin volcanism, Antártida. *Earth & Planetary Science Letters*, 111: 287-303.
- López-Martínez, J y Serrano E. (2002): Geomorphology, supplementary text. En: *Smellie, J.L., López-Martínez, J. et al., eds. Geology and geomorphology of Deception Island. Sheets 6-A and 6-B, 1:25000. BAS. GEOMAP Series. Cambridge: British Antarctic Survey*, 31-39 pp.
- Maestro, A., Somoza, L., Barnolas, A., Rey, J., Martínez-Frías J. y López-Martínez, J. (2007): Active tectonics, fault patterns and stress field of Deception Island: A response to oblique convergence between the Pacific and Antarctic Plates, *Journal of South American Sciences*, 23: 253-268.
- Pallàs, R., Vilaplana, J.M. y Sàbat, F. (1995): Geomorphological and neotectonic features of Hurd Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, *Antarctic Science* 7(4): 395-406.
- Schmincke, H. U. (2000): *Volcanism*. Springer-Verlag. Berlin-New York. 324p.
- Smellie, J. L., López-Martínez, J., Headland, R. K., Hernández-Cifuentes, F., Maestro, A., Miller, I. L., Rey, J., Serrano, E., Somoza, L. y Thomson, J. W. (2002): Geology and Geomorphology of Deception Island. BAS GEOMAP SERIES, Sheet 6A and 6B. *British Antarctic Survey*, 77p. Cambridge.