



# Geomorfología y morfometría de Tres Grupos de Montes Submarinos de la Dorsal de Juan Fernández

Juan Diaz-Naveas\*, Pedro Apablaza, Claudia González, Diego López y Alejandro Silva

Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Av. Altamirano 1480, Valparaíso, Chile

Luis E. Lara y Valentina Astudillo

Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN, Av. Santa María 0104, Providencia, Santiago, Chile

\* email: [jdiaz@ucv.cl](mailto:jdiaz@ucv.cl)

**Resumen.** La Dorsal de Juan Fernández tendría su origen en una pluma primaria, aunque estudios recientes proponen algunas hipótesis alternativas. Uno de los aspectos fundamentales para dilucidar esta materia es la existencia de más y mejores datos de la región, en particular de la morfología submarina. El presente estudio se focaliza en caracterizar la batimetría y calidad del fondo marino utilizando datos de batimetría multihaz. Nuevos datos, de gran resolución y cobertura, fueron adquiridos el 2014, los cuales permitieron cartografiar los montes submarinos JF5, JF6 (al oeste de Robinson Crusoe) y MO (junto a la fosa Perú-Chile). Los resultados muestran edificios volcánicos con forma de estrella, tanto con cumbres aguzadas, como planas, con pequeños conos volcánicos superpuestos en la parte baja de los flancos, incluso algunos con sus cráteres bien desarrollados. A su vez, se observan depósitos de remoción en masa, pero sólo en algunos de los montes. Todo lo anterior sugiere que ha habido procesos volcanogénicos de diferentes edades, tanto en un mismo edificio volcánico, como al comparar entre edificios.

**Palabras Claves:** Dorsal Juan Fernández, monte submarino, morfología

## 1 Introducción

La Dorsal de Juan Fernández (JFR) corresponde a una cadena volcánica de 900 km de largo, construida sobre la placa de Nazca, con un rumbo cercano a los 80°E en la mayor parte de su extensión, que se torna NW hacia el oriente de los guyot y monte O'Higgins. Como otras en su tipo, la JFR es un alineamiento de centros volcánicos cuyo origen se asocia a la actividad de una pluma mantélica estacionaria. La distribución de edificios volcánicos, entre los cuales se encuentran algunos mayores como otros de volumen reducido, indica magmatismo episódico (Yañez *et al.*, 2001) para el cual se ha documentado recientemente una clara progresión de edades siendo éstas más jóvenes hacia el oeste. La estructura general de la dorsal, así como la evolución de los edificios individuales es materia de investigación en el marco del proyecto FONDECYT 1141303 "Volcanism of the Nazca Plate: plumes and tectonic processes" (I.P. Luis E. Lara). Junto a la progresión de edades que confirma el origen asociado a una pluma primaria fija, un hallazgo importante de las investigaciones en curso es el reconocimiento de una fase magmática posteriosional, bien documentada en la isla

Robinson Crusoe (Lara *et al.*, en preparación). En efecto, mientras las edades de la sección emergida de la isla cubren el rango de 5-4 Ma, edificios volcánicos mejor conservados y superpuestos en el relieve insular han sido datados en *ca.* 1 Ma. De esta forma, existe evidencia de diferentes fases de construcción y erosión de los edificios volcánicos cuyo resultado son las formas observadas en el presente, que siguen el patrón arquetípico de islas oceánicas de origen volcánico como Hawaii.

De los montes estudiados, MS MO-Este corresponde al Monte O'Higgins y MS MO-Oeste al Guyot O'Higgins, analizados previamente por varios autores (Von Huene *et al.*, 1997; Kopp *et al.*, 2004; Yañez *et al.*, 2001). JF5-Este corresponde al monte Duke, JF5-Oeste al monte Cinco Ports y JF6 al monte Dresden, nombres introducidos recientemente en Rodrigo & Lara (2014).

A pesar de lo evidente de este rasgo, hasta el presente ha sido muy pobremente mapeado, destacando solamente el guyot O'Higgins y el monte O'Higgins, en su extremo oriental (von Huene *et al.*, 1997). Por ello, la mayor parte del conocimiento morfológico que se tiene de la cadena de JFR está basado en la batimetría satelital (Becker *et al.*, 2009).

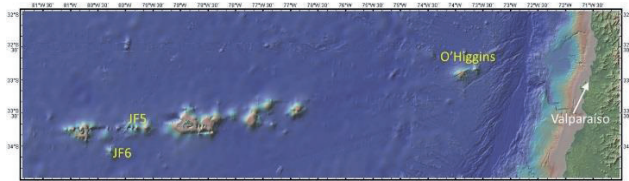
Por otra parte, En el marco de las actividades del proyecto del PNUD "Hacia un Manejo con Enfoque Ecosistémico del Gran Ecosistema Marina de la Corriente de Humboldt" suscrito por Chile y Perú, el Fondo de Investigación Pesquera (FIP) ha requerido establecer una línea base de la batimetría y calidad del fondo marino de varios montes submarinos de la cadena de Juan Fernández. Lo anterior coincide con algunos aspectos metodológicos del proyecto FONDECYT 1141303. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es caracterizar la morfología y calidad del fondo marino de algunos montes submarinos de la cadena de JF y contribuir a la comprensión de la génesis de los mismos.

## 2 Toma y procesamiento de datos

### 2.1 Toma de datos de batimetría y retrodispersión acústica

El FIP encargó un estudio batimétrico y de calidad del fondo marino de los así llamados monte JF5 (Oeste y Este), JF6 y monte O'Higgins (Oeste y Este) (Figura 1).

Para tal fin se efectuó un crucero de investigación a bordo del buque de investigación de la Armada de Chile AGS61 Cabo de Hornos, el cual cuenta, entre otros, con un ecosonda multihaz Kongsberg EM122 para grandes profundidades y un ecosonda multihaz Kongsberg EM710 para profundidades bajas a medias.



**Figura 1.** Mapa de localización de los montes JF5, JF6 y O'Higgins, que corresponden a la zona de estudio.

Ambos ecosondas registran tanto la profundidad del fondo marino, como la señal de retrodispersión acústica. Esta última variable da información de la intensidad del eco, la cual depende –básicamente– de la pendiente y de la dureza del fondo marino. Esta última característica es útil para caracterizar tipos de fondo marino. Si bien, no permite discriminar entre fango, arena, grava, roca, etc.; sí da información medida en decibeles, y de esta forma se puede clasificar *a priori* en varias categorías de dureza del fondo marino. A continuación, si se efectuaran tomas de muestras, se podría calibrar la retrodispersión acústica contra tipo de fondo propiamente tal. Este último paso, aún no puede ser efectuado pues todavía no se toman muestras del fondo marino.

Los ecosondas EM122 y EM710 pueden barrer el fondo marino con un haz de hasta un máximo de 150° de ancho, perpendicular al rumbo de la nave. La franja de barrido se divide en hasta más de 800 puntos de muestreo, con lo cual se consigue cobertura completa y gran resolución.

Además, en 4 puntos geográficos se midió la velocidad del sonido del agua de mar en función de la profundidad, desde la superficie del mar hasta el fondo marino, con el objeto de convertir correctamente los tiempos de ida y vuelta (que miden los ecosondas) en profundidad.

## 2.2 Procesamiento de datos de batimetría y retrodispersión acústica

Los datos tomados con los ecosondas fueron procesados con el software MB-System de Caress y Chayes (2015). Se efectuó edición de los datos acústicos y de la navegación. Además se utilizó las mediciones de velocidad del sonido para obtener la profundidad del fondo marino a partir de los tiempos de ida y vuelta.

A su vez, también con MB-System se efectuó una corrección de los datos de retrodispersión acústica, con el

fin de eliminar el efecto del ángulo local con que inciden los rayos sobre el fondo marino. De esta manera, la retrodispersión acústica depende solamente de la dureza del fondo marino.

## 2.3 Construcción de mallas y mapas temáticos

A partir de los datos corregidos de profundidad (longitud-latitud-profundidad) y de retrodispersión acústica (longitud-latitud-retrodispersión), se construyeron mallas con nodos equiespaciados en longitud y latitud. Para los edificios volcánicos completos se logró construir mallas con una resolución de 1", esto es, unos 30m. Para las cumbres de los montes, dado que los haces están mucho más próximos entre sí, se logró construir mallas con una resolución de 0,2", es decir, unos 6 m.

A su vez, a partir de las mallas de profundidad, se derivaron mallas de pendiente local del fondo marino, con la misma resolución que las mallas batimétricas.

A partir de las mallas se construyeron diversos mapas temáticos: 1) de batimetría en falso color; 2) de batimetría con contornos; 3) de morfología en tonalidades de grises y con iluminación; 4) de pendiente local del fondo marino y 5) de retrodispersión acústica. Además, dado que uno de los aspectos importantes del estudio concierne a la clasificación del fondo marino, según su tipo, se constató la conveniencia de producir mapas de retrodispersión acústica filtrados espacialmente. Para ello, se hizo un barrido con filtros pasabandas, cuyas ventanas de filtrado tenían anchos de 100 m, 250 m, 500 m, 750 m y 1.000 m. A su vez, considerando que se produjeron mallas de los edificios volcánicos completos con una resolución de 30 m, y mallas para sus cumbres con una resolución de 6 m, todos los mapas se produjeron en estas dos versiones. En el primer caso para tener la visión de conjunto; y en el segundo caso, para maximizar el detalle a resolver en sus cumbres.

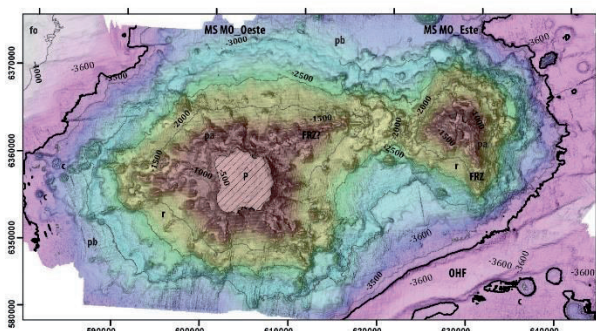
## 3 Resultados y Discusión

De los 3 grupos de montes estudiados, a continuación se revisan los resultados y discusiones de los montes O'Higgins y JF6.

### 3.1 Monte Submarino MO - Monte O'Higgins

El grupo identificado como MS MO corresponde a dos montes submarinos mayores, con más de 3000 m de altura (medida sobre el nivel de fondo oceánico (fo) más allá de las pendientes bajas del volcán), cuyas cumbres están separadas por 25 km de distancia pero con sus flancos fusionados. Además, se distingue una serie de morfologías volcánicas muy bien conservadas, interpretadas como centros eruptivos menores de una fase posterosional, que aparecen tanto como conos sobre los flancos de los edificios mayores, o bien aislados en los flancos distales

donde las pendientes son bajas, a veces formado sutiles alineamientos.



**Figura 2.** MS MO Este y Oeste. Simbología: fo, fondo oceánico; pa y pb, pendientes/partes altas y bajas; FRZ, flank rift zone; OHF, O'Higgins Fracture; P, plateau; r, depósito remociones en masa; c, pequeños conos.

Asimismo, se distingue la traza de la Fractura O'Higgins (OHF, Kopp *et al.*, 2004) al SE de los cuerpos mayores, con un rumbo subparalelo al alineamiento volcánico principal.

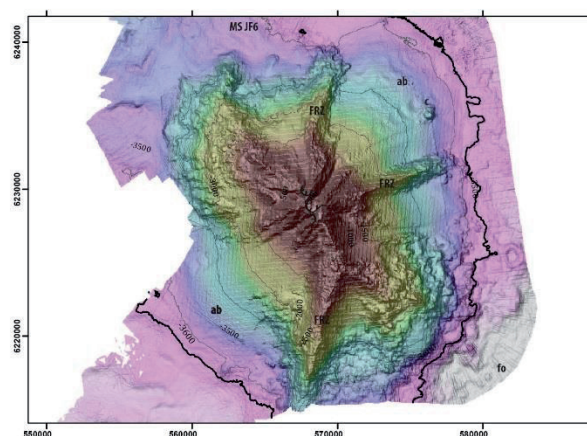
El MS MO-Este presenta una profundidad mínima de 714 m, lo que indicaría una altura aproximada de 3280 m (considerando una profundidad de fondo oceánico de 4000 m, determinada como la zona de menor rugosidad circundante). Tiene un área estimada de 440 km<sup>2</sup> (considerada en la cota -3600 m –al igual que el volumen–, que excluye los sectores distales interpretados como abanicos de depósitos volcanoclásticos) y un volumen mínimo de 380 km<sup>3</sup>. Este monte presenta una estructura elongada hacia el sur, de altas pendientes, que pudo corresponder a un “flank rift zone” (FRZ) incipiente (Figura 2). Su cumbre tiene una morfología irregular y presenta algunas cicatrices de deslizamientos. Las zonas altas del volcán (pa, desde los 2000 m de profundidad en este volcán), además del FRZ, presentan una señal de backscatter de fuerte a muy fuerte, lo que podría corresponder a afloramientos rocosos o al menos zonas más consolidadas y de granulometría más gruesa.

El MS MO-Oeste presenta una profundidad mínima de 347 m, lo que indicaría una altura de 3540 m sobre el fondo oceánico. Tiene un área mínima de 1400 km<sup>2</sup> y un volumen de 1300 km<sup>3</sup> (cota -3600 m). Su morfología evidencia un volcanismo central sin el desarrollo de zonas laterales de rift. Por otra parte, presenta una serie de estructuras volcánicas menores superpuestas (centros eruptivos menores o conos volcánicos en sus flancos, algunos aislados, con una fuerte a muy fuerte señal de backscatter). Presenta, un importante desarrollo de las pendientes bajas (que corresponderían principalmente a depósitos de material volcanoclástico, eventualmente producto de una transición en el estilo eruptivo hacia uno más explosivo, además del efecto de los procesos erosivos que incluyen remociones en masa como mecanismo

dominante). Este rasgo es notoriamente más desarrollado que en el MS MO-Este y se asocia con una media a baja señal de backscatter. Otra característica evidente es su cumbre plana (con pendientes < 5°, pero en general < 2°), descrita como plateau, lo que confirma que corresponde a un guyot sensu stricto (definición según Ramalho *et al.*, 2013 y referencias en él). El área de esta plataforma de cumbre es de 35 km<sup>2</sup> y su shelf break se encuentra a una profundidad promedio de 500 m, pero con evidentes diferencias según orientación: hacia el sur el quiebre se encuentra a los 550-560 m de profundidad, mientras que al norte a los 440-450 m. El desnivel del plateau (considerando el promedio del shelf break) es de 140 m. Utilizando la fórmula de Vogt & Smoot (1984) para la estimación de altura de la isla, previo a la erosión por abrasión marina, se infiere que el volcán pudo tener una altura –desde el shelf break– de 600-800 m.

Por último, existen estructuras volcánicas menores, como conos relativamente alineados, con un rumbo subparalelo al alineamiento principal, dentro de un radio de 23 km (Figura 117) y de alturas entre 100 y 300 m. Además, entre MS MO-Este y MS MO-Oeste se encuentra una estructura con pendientes de 20° hasta mayores a 30°, que podría corresponder a un FRZ. En general, las morfologías observadas no se encuentran muy bien delimitadas o no presentan su forma original, lo que puede indicar etapas avanzadas de erosión y/o recubrimiento con sedimentos pelágicos, consistente con una señal de backscatter comparativamente más baja que otros montes.

### 3.2 Monte Submarino JF6 (Dresden)



**Figura 3.** MS JF6. Simbología: fo, fondo oceánico; FRZ, flank rift zone; ab, depósito de abanico.

El MS JF6 corresponde a un monte submarino mayor, con una profundidad mínima de 378 m, lo que indicaría una altura de 3620 m desde el fondo oceánico. Se encuentra desplazado levemente al sur (~30 km) del alineamiento principal definido por la Dorsal de Juan Fernández. Presenta una elongación NW-SE y tiene un área mínima de 720 km<sup>2</sup> con un volumen mínimo de 430 km<sup>3</sup> (Figura 3).



Probablemente el rasgo más sobresaliente de este monte son las tres zonas de rift, con orientaciones N, NEE y SSW, y extensiones de 11, 10 y al menos 12 km, respectivamente, todos con altas pendientes (localmente mayores a 30°) y con una fuerte a muy fuerte señal de backscatter. Las FRZ de orientación NEE-SSW presentan inflexiones en su rumbo que sugieren un cambio en algún momento de su evolución. A su vez, la cumbre de este monte presenta algunas cicatrices de deslizamiento y en las pendientes bajas del volcán se logra apreciar al menos dos depósitos en forma de abanico con señal de backscatter de intensidad media a baja.

En la dirección NW-SE el monte presenta la rugosidad característica de los montes submarinos. La señal de backscatter es bastante alta en comparación con los otros montes, mostrando una señal media a muy fuerte para las pendientes altas del volcán y de media a débil en las pendientes bajas. Casi no existe señal muy débil para el monte y sus alrededores.

### 3.3 Síntesis de rasgos geológico – geomorfológicos

El examen de la batimetría multihaz, en conjunto con imágenes de backscatter, permite reconocer morfologías contrastantes en los montes submarinos estudiados que sugieren una evolución diferenciada e independiente. A su vez, estas diferencias no parecen dependientes de la edad conocida o inferida para su construcción, como tampoco de la posición a lo largo de la cadena o respecto del eje de ella.

En efecto, en este conjunto existen formas volcánicas erosionadas con avanzado desarrollo de una meseta de cumbre, lo que tradicionalmente se interpreta como somerización de la zona apical hasta alcanzar el nivel con efecto del oleaje. A su vez, algunos montes corresponden a estructuras centrales con un buen desarrollo de los flancos mientras otros presentan una marcada exposición de las zonas de rift laterales. Por último, el rasgo más singular es probablemente la presencia de pequeñas estructuras cónicas, varias con su cráter bien formado, que corresponderían a centros eruptivos menores de flanco o distales y que naturalmente constituyen fases de volcanismo posterosional de edad desconocida, aunque significativamente más joven que el monte al cual se adosan.

Por otra parte, en términos de los procesos erosivos, destaca la presencia de abanicos de depósitos formados por remoción masiva de los flancos de algunos de estos centros mientras en otros ese rasgo es menos evidente, reafirmando de este modo la evolución contrastante de estos grupos de montes submarinos.

## Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado gracias al proyecto del Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura FIP 2014-04-1 y al proyecto FONDECYT 1141303. Se agradece la colaboración prestada por la tripulación del buque de la Armada de Chile AGS61 Cabo de Hornos y del cabo hidrógrafo del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) Néstor Riveros.

## Referencias

- Araya-Vergara, J.F.; Vieira, R. 2005. Formas costeras y submarinas de destrucción en los sistemas volcánicos San Félix y Robinson Crusoe, Pacífico Suroriental. *Cienc. Tecnol. Mar* 28 (1): 5-23.
- Becker, J.J.; Sandwell, D.T.; Smith, W. H. F.; Braud, J.; Binder, B.; Depner, J.; Fabre, D.; Factor, J.; Ingalls, S.; Kim, S.-H.; Ladner, R.; Marks, K.; Nelson, S.; Pharaoh, A.; Trimmer, R.; Von Rosenberg, J.; Wallace, G.; Weatherall, P. 2009. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy* 32 (4): 355-371.
- Caress, D.W.; Chayes, D.N. 2015. MB-System. Seafloor Mapping Software: Processing and Display of Swath Sonar Data. [<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/MB-System/>] Revisado: 12/06/2015.
- Kopp, H.; Flueh, E.R.; Papenberg, C.; Klaeschen, D. 2004. Seismic investigations of the O'Higgins Seamount Group and Juan Fernández Ridge: Aseismic ridge emplacement and lithosphere hydration. *Tectonics*, 23 (2), doi: 10.1029/2003TC001590.
- Rodrigo, C.; Lara, L.E. 2014. Plate tectonics and the origin of Juan Fernández Ridge: analysis of bathymetry and magnetic patterns. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42 (4): 907-917.
- Vogt, P. R.; Smoot, N.C. 1984. The Geisha Guyots: Multi-beam bathymetry and morphometric interpretation. *Journal of Geophysical Research* 89: 11085-11107.
- von Huene, R.; Corvalan, J.; Flueh, E.R.; Hinz, K.; Korstgard, J.; Ranero, C.R.; Weinrebe, W.; and the CONDOR Scientists. 1997. Tectonic control of the subducting Juan Fernández Ridge on the Andean margin near Valparaiso, Chile. *Tectonics* 16 (3): 474-488.
- Wessel, P.; Smith, W. H. F.; Scharroo, R.; Luis, J.F.; Wobbe, F. 2015. The Generic Mapping Tools GMT Version. Technical Reference and Cookbook. [[http://gmt.soest.hawaii.edu/doc/5.1.2/GMT\\_Docs.html](http://gmt.soest.hawaii.edu/doc/5.1.2/GMT_Docs.html)]. Revisado: 12/06/2015.
- Yáñez, G.; Ranero, C.; von Huene, R.; Díaz, J. 2001. Magnetic anomaly interpretation across the southern Central Andes (32°-33.5°S): the role of the Juan Fernández ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research* 106: 6325-6634.