



## VOLC-2: Volcanismo y tectónica del Cuaternario en los Andes del Sur

### Análisis Geofísico de la región del Volcán Copahue y zonas aledañas

Stéfanie Pechuan<sup>1</sup>, Silvina Nacif<sup>1</sup>, Mario Giménez<sup>1</sup>.

(1) Instituto Geofísico y Sismológico Ing. Volponi, Universidad Nacional de San Juan, Ruta 12-Km17, San Juan, Argentina.

### Resumen

El área de estudio se localiza entre los 37° y 39°S sobre los Andes Neuquinos, allí se encuentra el volcán Copahue también conocido como Complejo Volcánico Caviahue-Copahue (CVCC). El CVCC ha sido estudiado en forma continua desde la década de los 90 hasta la actualidad debido a sus frecuentes erupciones (Folguera 2016, Caselli 2016). En este trabajo integramos nueva información gravimétrica, aeromagnética y sismológica con el fin de caracterizar la estructura en profundidad del Volcán Copahue y su entorno. A partir de datos gravimétricos satelitales y utilizando un programa de inversión se obtuvo un modelo 3D de densidad, observándose zonas de alta densidad vinculadas con chimeneas fósiles y zonas de baja densidad vinculadas a la geometría de la caldera de Copahue. De manera paralela, se procesaron datos aeromagnéticos (inéditos), para la obtención de la anomalía magnética y la reducción al Polo de la misma, con el fin de ser comparadas con los datos gravimétricos. Esta comparación se llevó a cabo mediante la relación de Poisson. Del total de la sismicidad localizada, en este trabajo solo se reporta la sismicidad con error en parámetros de localización menor a 10 km, la cual se concentra en la Caldera del Copahue. Para el conjunto de sismos localizados en la caldera, las incertezas en latitud y longitud (mediana) son de 5.45 y 6.15 km, respectivamente. La incerteza en el hipocentro es de 3.2 km. Esta sismicidad a ~ 5 km de profundidad está directamente relacionada a la actividad volcano-tectónica del Copahue. En el modelo integrador geológico-geofísico se observa que la mayor sismicidad se encuentra vinculada con la cámara magmática del volcán.

### Introducción

El límite (perpendicular al margen) entre los Andes Centrales y los Andes del Sur ocurre aproximadamente a los 33°S en coincidencia con la terminación de la subducción plana y a los 38°S culmina la parte norte de la SVZ (Southern Volcanic Zone). La SVZ consiste en una cadena de estratovolcanes de arco (33-50°S) andesíticos a basálticos, los cuales al sur de los 38°S se alinean con el sistema de falla Liquiñe Ofqui (LOFS). Desde esta latitud hacia el norte los desplazamientos de rumbo son absorbidos en el retroarco a lo largo del territorio argentino por el sistema de fallas Antipiñir-Copahue (Folguera et al. 2004). La naturaleza del vínculo entre la tectónica y el vulcanismo en la SVZ está controlada por diferentes parámetros, tales como el espesor de la corteza y la presencia (o no) de sistemas activos de falla intra-arco. En la parte norte de la SVZ la corteza es relativamente más gruesa (~ 50 km), esto favorece la diferenciación del magma; la presencia de un sistema activo de fallas de intraarco (LOFS) en la porción central y sur de la SVZ permite la existencia de una serie de vías que pueden favorecer los procesos de diferenciación del magma (Cembrano y Lara, 2009). Otro factor tal como la naturaleza local del basamento del sistema volcánico tiene un impacto en la arquitectura tridimensional de la corteza superior, incluso bajo la misma cinemática intra-arco. En la región entre los 34 y 36° S las grietas profundas debido a tensión cortical se conectarían con las antiguas fallas inversas inactivas que afectan a la cubierta y alimentan los sistemas volcánicos individuales; al sur de los 38° las grietas de tensión pueden alcanzar directamente la superficie (Cembrano y Lara, 2009). El CVCC se ubica a los 37.8542° de latitud sur y a los 71.1625° de longitud oeste y su rasgo más predominante es la Caldera de Agrio-Caviahue. En la parte norte y centro de la caldera, se reconocen fallas inversas con componente de rumbo dextral (Folguera et al. 2004, Rojas Vera et al. 2009). Estas estructuras están asociadas con el sistema de fallas Mandolegüe de orientación ENE, que representa una zona de transferencia entre el LOFS y el Antipiñir-Copahue. El vulcanismo de arco de esta región está asociado a la subducción empinada (Bohm et al. 2002) de la placa oceánica de Nazca por debajo de la Sudamericana y está controlado por la zona de falla de rumbo dextral Liquiñe-Ofqui (LQFZ) que se extiende por ~ 1200 km en dirección NNE y acomoda parte de la componente paralela de la subducción oblicua. El lineamiento volcánico Mandolegüe, oblicuo al tren andino, se encuentra en la terminación norte del LOFS y el sistema de fallas de dirección NE Antipiñir-Copahue (Folguera et al. 2015). El LOFS constituye una vía localizada de ascenso y descenso de magma, las fallas NNE focalizan el emplazamiento de intrusiones de diques sintectónicos y la distribución de paleofluidos en reposo, principalmente cuando se producen dilataciones. Estos elementos estructurales constituyen vías para la migración de magma y fluido hidrotermal. La variación del campo de estrés local tiene un fuerte control sobre los sistemas de vetas y la orientación de los diques en la escala de afloramiento (Pérez-Flores et al. 2016). En cuanto a la sismicidad reportada con anterioridad, Ibañez et al. (2008) detecta señales sísmicas relacionadas con el Copahue a partir del despliegue de una red de 6 estaciones ubicadas al este del cráter a una distancia no mayor de 8 km y adicionalmente, Lundgren et al. (2017) presentan la sismicidad del catálogo del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) correspondiente al período que va desde el año 2013 hasta mediados del 2016. El objetivo de este trabajo es poder aportar a la caracterización geofísica de la región del Copahue y zonas aledañas a partir de distintas fuentes de datos disponibles



## VOLC-2: Volcanismo y tectónica del Cuaternario en los Andes del Sur

en el Instituto Geofísico Sismológico F. Volponi de la Universidad Nacional de San Juan.

### Datos

Se realizaron levantamientos gravimétricos terrestres sobre las rutas y accesos disponibles en el área, con un espaciamiento medio de 2 km, utilizando un gravímetro Scintrex CG3. Esta información se complementó con datos previos obtenidos por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) e YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales), tratando de cubrir la totalidad del área de trabajo. Sin embargo, como el área comprende una parte importante en territorio chileno, y debido a que no se cuenta con los datos de gravedad terrestres de éste país vecino, es que se trabajó con datos del modelo EIGEN-6C4 (Förste et al., 2014). Los datos magnéticos fueron relevados por la Empresa Carson Aerogravity durante fines de 2004 y principio de 2005, en líneas Oeste-Este espaciadas cada 2 km y líneas de control norte-sur cada 10 km. Este relevamiento sólo cubre el área del lado argentino de la zona de estudio. Para el modelo de densidad se utilizó un servicio de inversión geofísica denominado VOXI Earth Modelling de Geosoft, que brinda herramientas para generar modelos Voxel 3D a partir de relevamientos de datos de gravedad y magnetismo tanto aéreo como terrestre. Los datos sismológicos fueron obtenidos a partir de una red local localizada en el centro de Neuquén con la cual se detectó sismicidad asociada al volcán Copahue. A fin de mejorar esta localización se agregó a esta base de datos la estación de INPRES localizada en el pueblo de Caviahue y una estación de la red FDSN localizada a aproximadamente 120 km al sur del Copahue. Se localizaron un total de 55 sismos ocurridos en un periodo de 1 año, en este trabajo solo se reporta la sismicidad con error en parámetros de localización menor a 10 km.

### Resultados

La carta de anomalías de Bouguer muestra a las anomalías positivas asociadas con las cadenas volcánicas, mientras que las negativas con la Fosa de Loncopué y a los valles y Mallines ubicados entre las mismas. A nivel más superficial, observamos el gradiente vertical de la carta de Bouguer, con el cuál se resaltan los efectos más superficiales (Álvarez et al. 2016) asociados a variaciones de densidad superficiales posiblemente vinculadas con escurrimientos lávicos expuestos sobre la topografía. Calculando la anomalía magnética y reduciéndola al Polo se observa un cambio de polaridad a partir de los 37°30'S, con una interrupción en la región de Caviahue. Es probable que este cambio obedezca a la influencia del desgarro de la placa de Nazca descrito por Pesicek et al. (2012). Las anomalías basadas en la relación de Poisson, obtenida a partir del , deben ser equivalente en signo a las anomalías magnéticas reducidas al polo. Sin embargo, al compararlas, observamos que existe un notable cambio de polaridad magnética en la zona de Caviahue, con lo cual nos hace pensar que en el momento de emplazamiento éste volcán recalentó la región por encima del punto de Curie ( $\approx 580^{\circ}\text{C}$ ) desmagnetizando las rocas preexistentes que posteriormente al enfriarse se magnetizaron con un campo de polaridad opuesta a la anterior. A partir de los datos observados de la anomalía residual de Bouguer, se definió el área para realizar el modelo de inversión geofísica a través de un polígono cerrado, obteniendo así el modelo de densidad. En el mismo se observan zonas de alta densidad vinculadas con chimeneas fósiles y zonas de baja densidad vinculadas a la geometría de la caldera de Copahue. La sismicidad registrada en el período desde el 1 de julio de 2016 al 31 de junio del 2017 se asocia a niveles corticales ( $< 20$  km) y a niveles subcorticales. Los sismos corticales más superficiales se localizan principalmente en la Caldera del Agrio-Caviahue y los más profundos (entre 5 km y 20 km) a una distancia no mayor de 40 km de la misma. Sin embargo, en este trabajo no se presenta toda la sismicidad localizada, solo se analiza aquella con incertezas en los parámetros de localización menores a 10 km. Se calculó magnitud la cual varía entre 1.8 y 3.3. La sismicidad reportada en este trabajo estaría asociada a las cámaras propuestas por Lundgren et al. (2017).

### Agradecimientos

Agradecemos al INPRES por confiarnos datos de una de sus estaciones sismológicas, CANA, la cual fue de gran utilidad en la realización de este trabajo.

### Referencias

Álvarez O, Lincklinger F, Sánchez M, Weidmann C, Ariza J, Giménez M., 2016. Modelos globales de gravedad GOCE y EGM2008. *RAGA* 73 (1): 134 - 148. Bohom M, Lüth S, Echtler H, Ascha G, Bataille K, Bruhn C, Rietbrock A, Wiggerb P., 2002. The Southern Andes between 36 and 40S latitude. *Tectonophysics* 356 (2002) 275–289. Caselli A.T, Augusto M, Velez M.L, Forte P, Bengoa C, Daga R, Albite J.M, Capaccioni B., 2016. The 2012 eruption, in Copahue Volcano, *Active Volcanoes of the World*, edited by F. Tassi, O. Vaselli, and A. T. Caselli, pp. 49–59, Springer, Berlin. Cembrano y Lara., 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*, pages 96–113 Folguera A, Ramos V, Reginald L, Hermanns, Naranjo J.A., 2004. Neotectonics in the foothills of the southernmost central andes 37–38 s. *Tectonics*, 23(5). Folguera A, Rojas Vera E,



## VOLC-2: Volcanismo y tectónica del Cuaternario en los Andes del Sur

Vélez L, Tobal J, Orts D, Agosto M, Caselli A, Ramos V.A., 2015. A Review of the Geology, Structural Controls, and Tectonic Setting of Copahue Volcano, Southern Volcanic Zone, Andes, Argentina. Folguera A, Rojas Vera E, Vélez L, Tobal J, Orts D, Agosto M, Caselli A, Ramos V., 2016. A review of the geology, structural controls, and tectonic setting of copahue volcano, southern volcanic zone, andes, argentina. In Copahue Volcano, pages 3–22. Springer. Ibáñez J.M, Del Pezzo E, Bengoa C, Caselli A, Badi G, Almendros J., 2008. Volcanic tremor and local earthquakes at copahue volcanic complex, southern andes, argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 174 (2008) 284–294. Lundgren P, Nikkhoo M, Samsonov S.V, Milillo P, Gil-Cruz F, Lazo J., 2017. Source model for the Copahue volcano magma plumbing system constrained by InSAR surface deformation observations, *J. Geophys. Res.*, submitted. Mas L.C, Mas G.R., 2015. Geothermal energy development at Copahue Volcano. Copahue Volcano, Active Volcanoes of the World, DOI 10.1007/978-3-662-48005-2\_1. Pérez-Flores P, Cembrano J, Sánchez-Alfaro P, Veloso E, Arancibia G, Roquer T., 2016. Tectonics, magmatism and paleo-fluid distribution in a strike-slip setting: Insights from the northern termination of the Liquiñe–Ofqui fault System, Chile. Pesicek J, Engdahl E, Thurber C, DeShon H, Lange D., 2012. Mantle subducting slab structure in the region of the 2010 M8.8 Maule earthquake (30–40°S), Chile. *Geophys J Int* 191:317–324. Rojas Vera E, Folguera A, Gímenez M, Martínez P, Ruiz F, Ramos V., 2009. Evolución tectónica de la fosa de loncopué. *RAGA*, 64(2):214–230.



## VOLC-2: Volcanismo y tectónica del Cuaternario en los Andes del Sur

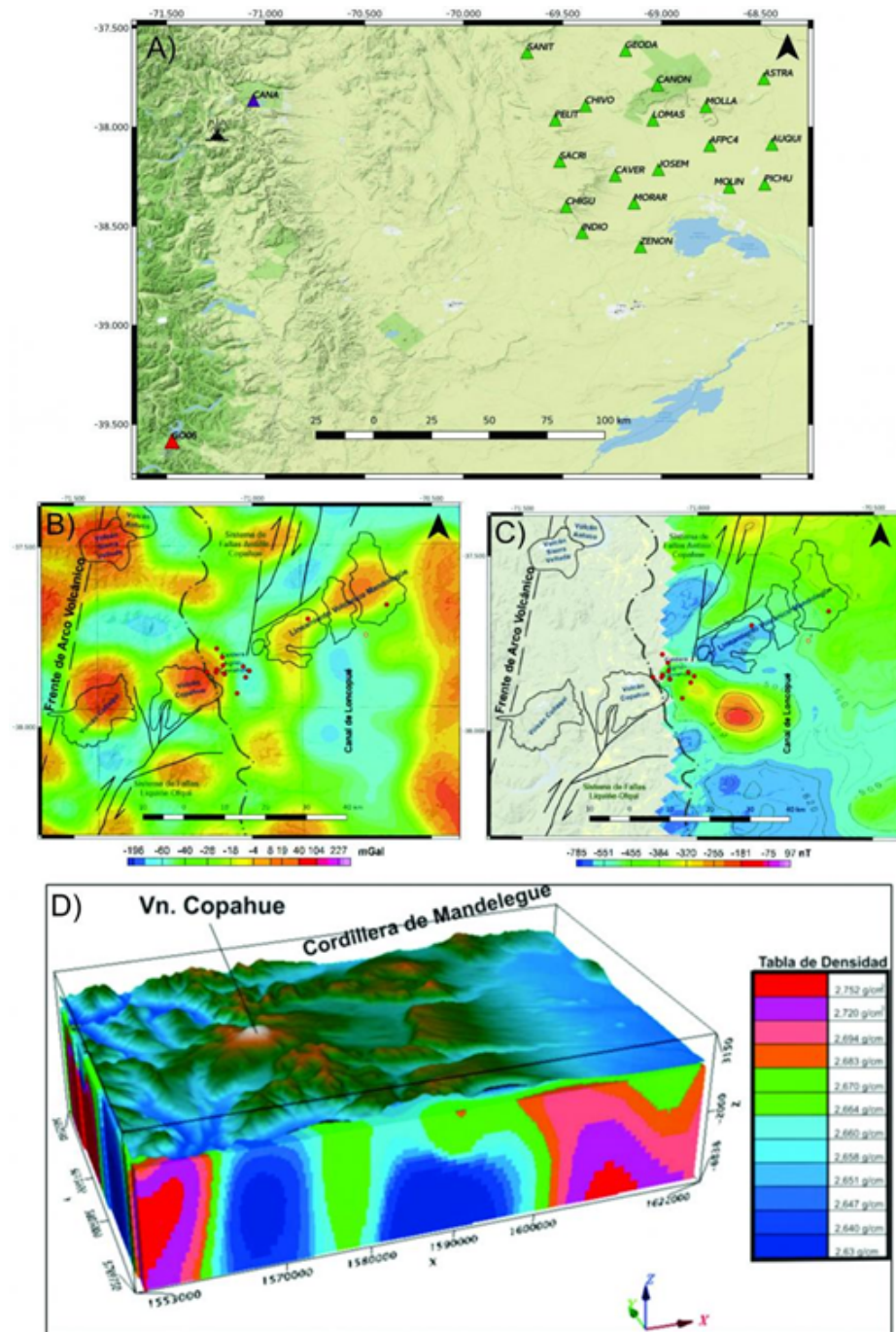


Figura 1. A) Mapa de estaciones sismológicas. Los triángulos verdes corresponden a las estaciones de la red AÑELO. El triángulo violeta y rojo a la estación de INPRES y FDSN, respectivamente. B) Carta de anomalía de Bouguer obtenida a partir del modelo global EIGEN-6C4 (Förste et al., 2014), corregida por efecto topográfico. En rojo se observan los sismos con profundidades menores a 5 km y en rosado de más de 5 km. C) Anomalía magnética reducida al Polo con sismos reportados en este trabajo. D) Modelo de densidad (modelo integrador geológico-geofísico).