



## Sección eléctrica cortical a través de la Fosa de Loncopué

Agustina PESCE<sup>1,3</sup>, Mario E. GIMÉNEZ<sup>1,3</sup>, Bibiana CASTIGLIONE<sup>2</sup>, Guido GIANNI<sup>1,3</sup> y Andrés FOLGUERA<sup>4,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geofísico-Sismológico Volponi. Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.

<sup>3</sup>CONICET-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>4</sup>IDEAN. CONICET. Laboratorio de Tectónica Andina. Universidad de Buenos Aires

Emails: pesce.agustina@gmail.com, mgimenez@unsj-cuim.edu.ar, bcasti@uncu.edu.ar, guidogianni22@gmail.com, andresfolguera2@yahoo.com.ar

Editor: Augusto Rapalini

Recibido: 18 de junio de 2018

Aceptado: 28 de septiembre de 2020

### RESUMEN

La fosa de Loncopué es una cuenca extensional del Plioceno al Cuaternario producida por la reactivación extensional del área del intrapaís de los Andes Centrales del Sur. Los estudios previos que se han realizado en esta zona se han centrado en su relleno volcán-sedimentario, estructura superficial y actividad neotectónica. Sin embargo, la estructura en profundidad de esta cuenca no se ha estudiado en detalle. Por lo tanto, en este trabajo se presentan los resultados de sondeos magnetotéluricos realizados en la zona de la fosa a los 38° de latitud Sur. La sección de resistividad obtenida por inversión 2D de los sondeos MT, se correlacionan con los sistemas de fallas ya reconocidos en la fosa. Se identificó una zona de baja resistividad bajo la faja plegada y corrida del Agrío, que aparentemente estaría vinculada con otra zona de baja resistividad que alcanza los 40 km de profundidad.

**Palabras clave:** Geofísica; Magnetotélurica; Fosa de Loncopué; Andes Centrales del Sur.

### ABSTRACT

*Electrical section through the Loncopué trough.*

The Loncopué trough is a Pliocene to Quaternary extensional basin produced by the extensional reactivation of the hinterland area of the Southern Central Andes. Previous studies have mostly focused in the volcano-sedimentary infill, the surface structure and the neotectonic activity. However, less effort has been devoted to unravel the crustal-scale structure, particularly the deep geometry of this extensional basin. To assess this issue, we present the results of a magnetotelluric sounding carried out in a profile at 38°S, crossing the Loncopué trough. The resistivity model obtained by 2D inversion is correlated with the fault systems already recognized in the trough. In addition, an area of low resistivity is identified under the Agrío fold and thrust belt, which would be apparently linked to another feature of low resistivity that rises from 40 km of depth to the surface.

**Keywords:** Geophysics; Magnetotelluric soundings; Loncopué trough; Southern Central Andes.

### INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ubica en el retroarco de los Andes Centrales Sur entre los 36°S y los 38°S, más precisamente sobre la fosa de Loncopué y zonas aledañas. La fosa de Loncopué fue definida inicialmente por Ramos (1978) como

una depresión topográfica alargada desarrollada a lo largo por 200 km con un ancho medio de 50 km, siendo un rasgo distintivo de los Andes neuquinos, formando parte del sector occidental de la cuenca Neuquina (Fig. 1). La fosa se encuentra limitada hacia el norte por la cordillera de Mandolegüe, un rasgo NE oblicuo al tren andino, hacia el oeste por la Cordi-

llera Principal Neuquina, y hacia el este por la faja plegada y corrida del Agrio (Fig. 1).

La fosa de Loncopué es una cuenca extensional del Plioceno al Cuaternario ubicada entre el arco volcánico actual y la faja plegada y corrida del Agrio al este (Fig. 1). Esta cuenca se formó sobre estructuras contraccionales desarrolladas en dos eventos deformacionales, un episodio que abarca desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno (aproximadamente 98-55 Ma.) y un evento más joven del Neógeno (aproximadamente 18-5 Ma.) (Cobbold y Rossello 2003, Folguera et al. 2015).

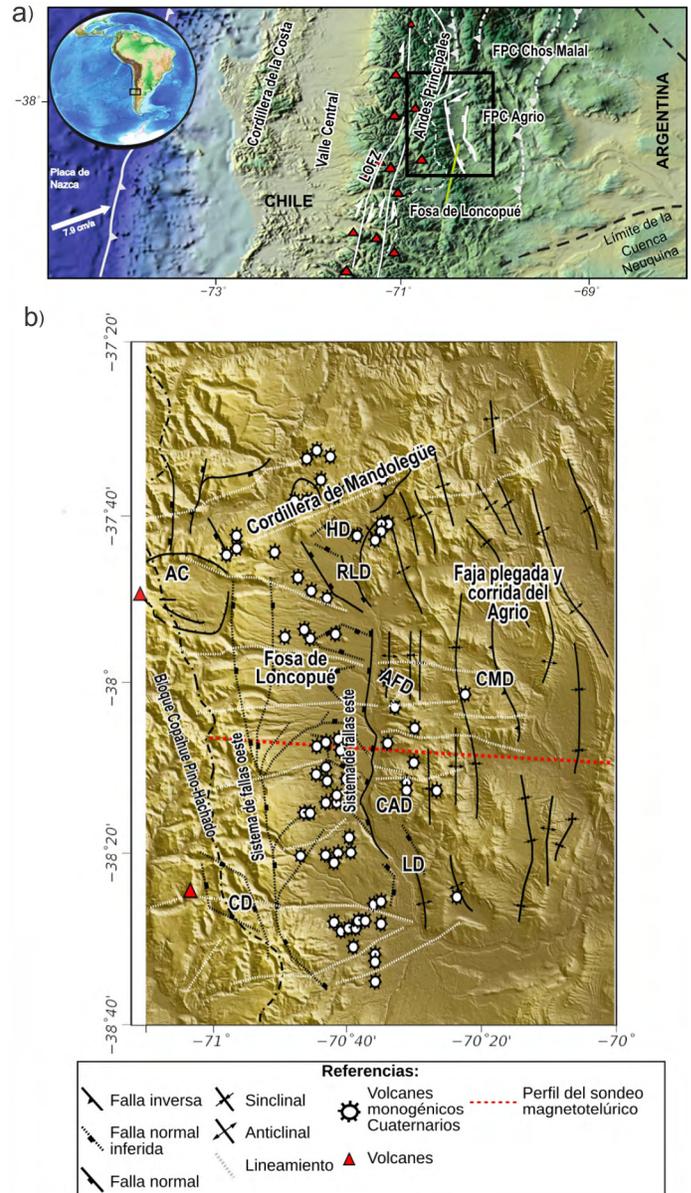
En este sentido, los trabajos geofísicos iniciales en la zona de la fosa de Loncopué incluyeron datos de gravedad, análisis de funciones receptoras y cantidades limitadas de información sísmica 2D. Los estudios realizados en esta zona del retroarco Andino proporcionaron una idea aproximada de la estructura de la corteza debajo de la fosa, identificando una corteza atenuada en el extremo sur de la cuenca a los 38.9° S donde el Moho se eleva localmente a 33 km de profundidad, posiblemente como resultado de la expansión de retroarco a partir del Plioceno-Pleistoceno (Yuan et al. 2006), y una geometría de cuña compatible con un régimen extensional (Folguera et al. 2007, 2010, Rojas Vera et al. 2010). Sin embargo, la relación espacial entre las estructuras superficiales y la morfología de Moho no está clara. Cabe destacar que esto último es crucial para una mejor comprensión del mecanismo de deformación de la corteza.

En este estudio, el objetivo es contribuir a un aspecto poco conocido de la fosa de Loncopué con respecto a su estructura a escala cortical, particularmente su geometría profunda. Para ello, se realizaron seis sondeos magnetotelúricos en un perfil Este-Oeste de aproximadamente 80 km de extensión a los 38° S, atravesando la fosa de Loncopué y la parte este de la faja plegada y corrida del Agrio. Los datos se utilizaron para crear un modelo 2D de la distribución de la resistividad con la profundidad.

## ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS SONDEOS MT

El método magnetotelúrico (MT) es una técnica de exploración geofísica que permite obtener información de las propiedades eléctricas del subsuelo mediante las fluctuaciones temporales del campo electromagnético natural generadas en la ionosfera, debido principalmente a la actividad solar.

La forma de trabajo consiste en medir simultáneamente sobre la superficie de la Tierra las variaciones de las



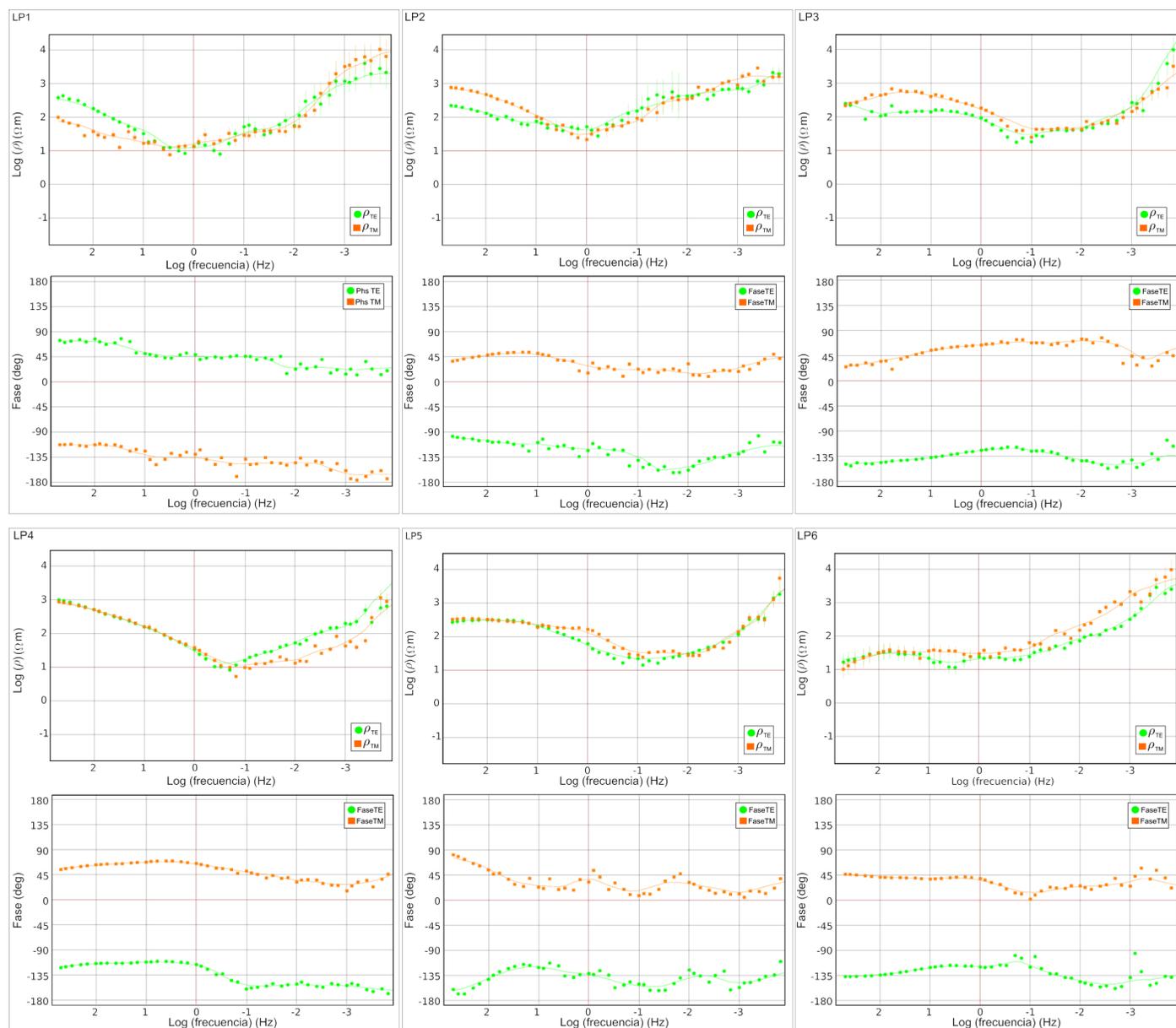
**Figura 1:** a) Entorno tectónico de los Andes Centrales Sur que muestra la fosa de Loncopué en el traspaís; b) Ubicación del área de estudio (recuadro negro) en un contexto regional sobre un mapa topográfico (ETOPO1, Amante y Eakins 2009)). El área de estudio se interpone entre la faja plegada y corrida del Agrio y los Andes Principales. La fosa representa una cuenca retroarco activa asociada con erupciones volcánicas monogénicas generalizadas. Además, se presentan las principales estructuras mapeadas en el del área por Rojas Vera et al. (2014). Las localizaciones de los centros volcánicos monogénicos se tomaron de Folguera et al. (2010) y García Morabito y Folguera (2005). LOFZ: zona de falla Liquiñe-Ofqui; FPC: Faja plegada y corrida; AC: Caldera del Agrio; HD: Depocentro Huecu; RLD: Depocentro Ranku-Lom; AFD: Depocentro Agua Fría; CMD: Depocentro Cerro Mocho; CAD: Depocentro Cajón de Almanza; LD: Depocentro Las Lajas; CD: Depocentro Codihue.

tres componentes del campo geomagnético ( $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) y ambas componentes horizontales del campo eléctrico asociado ( $E_x$ ,  $E_y$ ), siendo  $x$  e  $y$  las direcciones N-S y E-O respectivamente y  $z$  la componente vertical.

En este trabajo se midió un perfil E-O aproximadamente sobre los 38°S, atravesando la fosa de Loncopué y el sector oeste de la faja plegada y corrida del Agrio. El equipo utilizado fue un registrador Metronix ADU-07e que posee tres bobinas de inducción (NFS-07e) para registrar las componentes del campo magnético. También cuenta con dos pares de electrodos impolarizables de Cu-SO<sub>4</sub>Cu que permiten medir las componentes eléctricas en las dos direcciones E-O y N-S, dispuestos en el campo de tal manera de formar dos dipolos eléctricos de 100 m. Las cinco series temporales (Ex, Ey, Hx, Hy y Hz) se registraron en un rango de frecuencias que va desde los 700 a 0.0001

Hz utilizando frecuencias de muestreo de 2014 Hz para frecuencias más altas y 128 Hz para frecuencias inferiores a 64 Hz.

En magnetotelúrica, la respuesta de las estructuras regionales puede estar enmascarada por distorsiones producidas por inhomogeneidades locales y/o cercanas a la superficie. Las distorsiones se definen como la alteración de la respuesta regional inductiva debido a la presencia de distribuciones de corrientes y cargas que producen distorsiones inductivas y galvánicas respectivamente. El efecto inductivo desaparece rápidamente con el período, pero no pasa lo mismo con el efecto de las distorsiones galvánicas que afectan las curvas



**Figura 2:** Curvas de resistividad aparente y fase en función de la frecuencia para cada sondeo (Lp<sub>j</sub> con j=1, 2, 3, 4, 5 y 6). Los datos observados se muestran en círculos verdes para el modo TE y cuadrados naranja para el modo TM. La respuesta del modelo invertido se muestra en líneas verde y naranja para los modos TE y TM, respectivamente.

de resistividad aparente, siendo la fase más estable ante estas distorsiones.

Por lo tanto, a través de un análisis espectral robusto de las cinco series temporales registradas se estiman las componentes del tensor de impedancia ( $Z$ ) en función de la frecuencia para cada uno de los sondeos (Groom y Bailey 1989, F. E. M. (Ted); McNeice y Jones 2001). Con los resultados de la impedancia se calculan tanto la dirección de rumbo de las estructuras principales, como diferentes parámetros para el análisis y corrección de distorsiones galvánicas. Luego de este procesamiento se obtiene como resultado dos curvas de resistividad aparente y dos de fase provenientes de la ubicación de las dos orientaciones de los sensores en función de la frecuencia para cada uno de los sondeos realizados (Fig. 2). En la figura 2 se observan los valores de resistividad y fase, con sus respectivas barras de error, denominando TE (transverso eléctrico) cuando las corrientes eléctricas son paralelas a la dirección de rumbo de la estructura y TM (transverso magnético) cuando las corrientes eléctricas circulan en dirección perpendicular al rumbo de la estructura. En este caso la dirección de rumbo de las estructuras es consistente con el rumbo de las estructuras geológicas de la zona (N-S).

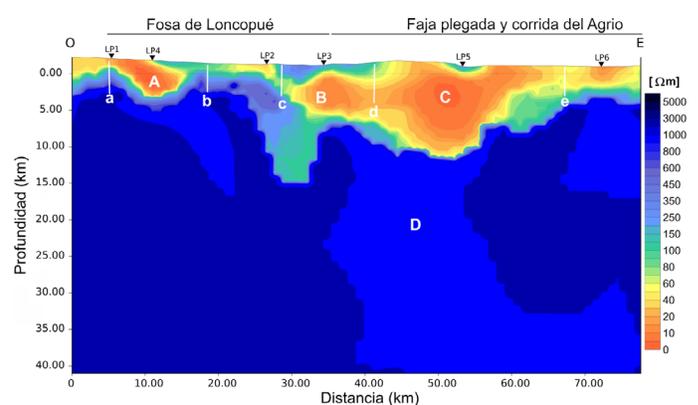
Con estos resultados se llevó a cabo la inversión 2D del perfil empleando un software de inversión que hace uso de estructuras simples y se basa en un algoritmo de gradientes conjugados no-lineales denominado RLM2DI (Rodi y Mackie 2001). Para realizar la inversión se utilizó la resistividad aparente y las fases de ambos modos, TE y TM, aplicando el mismo peso a todos los sondeos. La topografía no se incluyó en la malla de inversión y el modelo inicial se diseñó con un semi-espacio homogéneo de 100  $\Omega\text{m}$ . El modelo resultante de la inversión 2D (Fig. 3) se obtuvo después de 98 iteraciones con error cuadrático medio de 2.5  $\Omega\text{m}$ . Por lo tanto se determinó un modelo de la distribución de la resistividad en función de la profundidad, determinando los diferentes estratos subyacentes bajo cada sitio de medición. Las curvas de resistividad y fase aparentes para todos los sondeos, así como las respuestas del modelo se presentan en la figura 2, mostrando un buen ajuste entre ellas.

## INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El modelo de resistividad 2D obtenido de la inversión (Fig. 3) tiene un rango de valores de 5 a 5000  $\Omega\text{m}$ . Muestra zonas discontinuas de baja resistividad (o alta conductividad) en los primeros 14 km de profundidad (corteza superior) con un valor promedio de aproximadamente 60  $\Omega\text{m}$ , mientras que debajo

de esta profundidad aparecen valores altos (aproximadamente 3000  $\Omega\text{m}$ ). También, se aprecia una zona de alta resistividad cerca de la superficie, que se encuentra entre el sondeo LP4 y LP5 con valores entre 100 y 400  $\Omega\text{m}$  (colores azul claro y verde en la Figura 3), que podría deberse a secuencias volcánico-sedimentarias jóvenes. Mientras que los bajos valores de resistividad debajo del sitio LP6 podrían estar vinculados a la Formación Vaca Muerta, que está formada principalmente por lutitas y calizas (Rojas Vera et al. 2010).

Además, se logró identificar los siguientes rasgos: I) dos unidades de baja resistividad a cada lado de la zona de la fosa de Loncopué, indicadas como A y B en la figura 3. Una de ellas, a una profundidad de 5 km en el límite occidental de la fosa, con un valor de aproximadamente 10  $\Omega\text{m}$ , y la otra que se extiende hasta aproximadamente los 14 km en el límite este, con un valor de aproximadamente 80  $\Omega\text{m}$ ; II) una gran zona con un valor de aproximadamente 30  $\Omega\text{m}$  (señalada como C en la figura 3), que se extiende hasta una profundidad de 10 km ubicada en el área de la faja plegada y corrida del Agrio, más precisamente debajo de la zona del depocentro del Cajón de Almanza; III) una zona de valores de resistividad relativamente bajos de alrededor de 900  $\Omega\text{m}$  (D en la figura 3), respecto de los valores circundantes, caracterizados por resistividades aproximadas de 3000  $\Omega\text{m}$ . En particular, esta zona de resistividad baja se eleva desde una profundidad de 40 km, llegando hasta zonas más superficiales por debajo del área del Cajón de Almanza; IV) las discontinuidades a una distancia de alrededor de 8 km, 20 km, 30 km, 40 km y 65 km en la sección (indicadas como a, b, c, d, e en la Fig. 3), se correlacionan con fallas identificadas en superficie por Folguera et al. (2010) y Rojas Vera et al. (2010, 2014). Particularmente,



**Figura 3:** Resultado de la Inversión magnetotelúrica 2D, de la sección donde se encuentran ubicados los sondeos. Esta sección, a los 38° S, tiene una longitud de aproximadamente 80 km cruzando la fosa de Loncopué y la zona occidental de la faja plegada y corrida del Agrio (línea discontinua azul en la figura 1b). Las letras mayúsculas y minúsculas representan las características principales y las discontinuidades identificadas respectivamente (consulte el texto para obtener más información).

la primera y la tercera discontinuidad (a y c en la figura 3), pueden vincularse con los dos sistemas de fallas principales que limitan la fosa de Loncopué.

## CONCLUSIÓN

Los datos de la sección magnetotélúrica presentados sobre la zona de la fosa de Loncopué y el borde occidental de la faja plegada y corrida del Agrio permitieron interpretar la estructura cortical en una región caracterizada por neotectónica y actividad magmática.

El modelo de resistividad 2D obtenido de la adquisición y procesamiento de seis sondeos MT sobre una sección E-O aproximadamente centrada a los 38°S, muestra una imagen del comportamiento resistivo de la corteza en esta región. La interpretación de éstos resultados indican la posible existencia de fluidos magmáticos o hidrotermales en el área identificada con "C" en la figura 3, donde existen manifestaciones superficiales de la actividad volcánica del Pleistoceno (Holoceno?). Al este de la fosa de Loncopué, particularmente debajo de la región del Cajón de Almanza, se observa una disminución de la resistividad (identificada con "D" en figura 3), que se extiende desde la base de la corteza hasta conectarse con las anomalías de la corteza superior. Este notable canal de baja resistividad podría corresponderse con la corteza atenuada interpretada por análisis de la función receptora en esta misma latitud, posiblemente como resultado del expansión de retroarco a partir del Plioceno-Pleistoceno, donde se interpretó que la corteza se presenta adelgazada en aproximadamente 10 km, lo que sugiere una posible relación genética.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por haber subsidiado dicha investigación a través del PIP 2015-2017. A CONICET y a la Universidad Nacional de San Juan que brindó equipamiento e infraestructura para realizar el presente trabajo.

## REFERENCIAS

Amante, C. y Eakins, B.W. 2009. Etopo1 1 arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis. National Geophysical Data Center, NOAA, Boulder.

Cobbold, P. y Rossello, E. 2003. Aptian to recent compressional deforma-

tion, foothills of the Neuquén Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 20: 429-443.

Folguera, A., Introcaso, A., Giménez, M., Ruíz, F., Martínez, P., Tunstall, C., García Morabito, E. y Ramos, V.A. 2007. Crustal attenuation in the Southern Andean retroarc (38°-39°30' S) determined from tectonic and gravimetric studies: The Lonco-Luán asthenospheric anomaly. *Tectonophysics* 439: 129-147.

Folguera, A., Rojas Vera, E., Bottesi, G., Valcarce, G.Z. y Ramos, V.A. 2010. The Loncopué Trough: Cenozoic basin produced by extension in the southern Central Andes. *Journal of Geodynamics* 49: 287-295.

Folguera, A., Gianni, G., Sagripanti, L., Rojas Vera, E., Novara, I., Colavitto, B., Álvarez, O., Orts, D., Tobal, J. y Giménez, M. 2015. A review about the mechanisms associated with active deformation, regional uplift and subsidence in southern South America. *Journal of South American Earth Sciences* 64: 511-529.

García Morabito, E. y Folguera, A. 2005. El alto de Copahue-Pino Hachado y la fosa de Loncopué: un comportamiento tectónico episódico, Andes neuquinos (37°-39° S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 742-761.

Groom, R.W. y Bailey, R.C. 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion. *Journal of Geophysical Research* 94: 1913-1925.

McNeice, G.W. y Jones, A.G. 2001. Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics* 66: 158-173.

Ramos, V.A. 1978. Estructura. En Yrigoyen M. R. (ed.) *Geología y Recursos Naturales del Neuquén*. 7° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 99-118, Buenos Aires.

Rodi, W. y Mackie, R.L. 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics* 66: 174-187.

Rojas Vera, E.A., Folguera, A., Valcarce, G.Z., Giménez, M., Ruíz, F., Martínez, P., Bottesi, G. y Ramos, V.A. 2010. Neogene to Quaternary extensional reactivation of a fold and thrust belt: The Agrio belt in the Southern Central Andes and its relation to the Loncopué trough (38°-39° S). *Tectonophysics* 492: 279-294.

Rojas Vera, E.A., Folguera, A., Zamora Valcarce, G., Bottesi, G. y Ramos, V.A. 2014. Structure and development of the Andean system between 36° and 39° S. *Journal of Geodynamics* 73: 34-52.

Yuan, X., Asch, G., Bataille, K., Bock, G., Bohm, M., Echtler, H., Kind, R., Oncken, O. y Wölbern, I. 2006. Deep seismic images of the Southern Andes. *Geological Society of America Special Papers* 407: 61-72.