

EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA FOSA DE LONCOPUÉ: ESTRUCTURA DEL DEPOCENTRO CUATERNARIO DEL HUECÚ Y SU RELACIÓN CON LA SEDIMENTACIÓN Y EL VOLCANISMO

Emilio A. Rojas VERA¹, Andrés FOLGUERA¹, Mario GÍMENEZ², Patricia MARTÍNEZ², Francisco RUIZ² y Víctor A. RAMOS¹

¹ Laboratorio de Tectónica Andina, FCEyN, Universidad de Buenos Aires - CONICET. Email andes@gl.fcen.uba.ar

² Instituto Volponi, Universidad Nacional de San Juan - CONICET.

RESUMEN

El depocentro del Huecú constituye un depocentro alojado en el sector central del retroarco en la fosa de Loncopué. Su relleno de carácter volcánico, volcánico-lacustre, muestra una estrecha relación con la actividad tectónica que le dió origen. Los diferentes pulsos de efusión mayormente de composición basáltica reflejan la recurrencia de la actividad tectónica asociada a fallamiento extensional y al desarrollo de fisuras tensionales. A partir de métodos potenciales se ha podido verificar que el basamento de las secuencias terciarias participa de la deformación extensional que afectó a la zona durante los últimos 5 Ma. Asimismo rasgos neotectónicos en secuencias volcánicas cuaternarias sugieren la persistencia de los mecanismos de subsidencia en esta cuenca. Estas fallas se encuentran directamente relacionadas con la segmentación inferida del basamento a partir de la gravimetría y magnetometría. La inundación histórica de la zona a partir del endicamiento del río Agrio durante un pulso de eruptividad fisural de la cuenca, demuestra la alta probabilidad de que erupciones en el área del retroarco se repitan en el futuro. El reconocimiento de las áreas anegadas correspondientes a las últimas inundaciones del depocentro del Huecú permite estimar el alcance de estos procesos localizados en el retroarco de Neuquén asociados a tectónica activa y sismicidad.

Palabras clave: *Andes, Neotectónica, Volcanismo, Loncopué, Endicamiento.*

ABSTRACT: *Tectonic evolution of the Loncopué trough: Structure of the Quaternary Huecú depocenter and its relation to the sedimentation and volcanism.* The Huecú basin is located at the central part of the large Loncopué retroarc trough. Its volcanic, volcanoclastic, lacustrine and fluvial filling is directly related to neotectonic activity in the area. The basaltic eruptions are reflecting different pulses associated with the development of extensional faults and tensional fractures. Geophysical potential methods have identified basement involvement in the extensional deformation that affected the Tertiary sequences of the area during the last 5 Mys. Neotectonic features in Quaternary volcanic sequences suggest the persistence of these subsidence mechanisms in the Huecú depocenter. These faults are directly connected to the basement segmentation identified by gravimetric and magnetometric studies. The historical floods produced by the Agrio river damming, are related to fisural eruptions and demonstrate the high probability that retroarc volcanic eruptions may occur again. The recognition of flooded areas that are forming the youngest sedimentary levels in the Huecú depocenter shows potential areas of active retroarc spreading in the Neuquén area associated with neotectonic and seismic processes.

Keywords: *Andes, Neotectonics, Volcanism, Loncopué, Damming.*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo indaga la génesis de la depresión correspondiente al depocentro del Huecú, localizada en el sector interno de la faja plegada y corrida del Agrio. El mismo plantea un modelo evolutivo que liga el carácter recurrente de las efusiones volcánicas y las inundaciones asociadas con la actividad tectónica de la fosa de Loncopué. En este trabajo se utilizan evi-

dencias geológicas y geofísicas, relacionando la estructura en profundidad, revelada a través de la aplicación de métodos geofísicos potenciales, con la geología de superficie.

La zona de estudio se localiza sobre el depocentro del Huecú que se ubica en el sector central de la fosa de Loncopué (Figs. 1 a, b y c), una depresión de 300 km de largo por 40 km de ancho ubicada en el retroarco andino. Su límite oriental está

definido por rasgos lineales y escarpas correspondientes a fallas normales cuaternarias (Ramos 1977, Folguera *et al.* 2006). El sector oriental de la fosa de Loncopué se encuentra conformado por secuencias mesozoicas plegadas en anticlinales de gran longitud de onda relacionados con hemigrábenes invertidos, formados durante la apertura triásica superior-jurásica inferior de la cuenca Neuquina (Vergani *et al.* 1995).

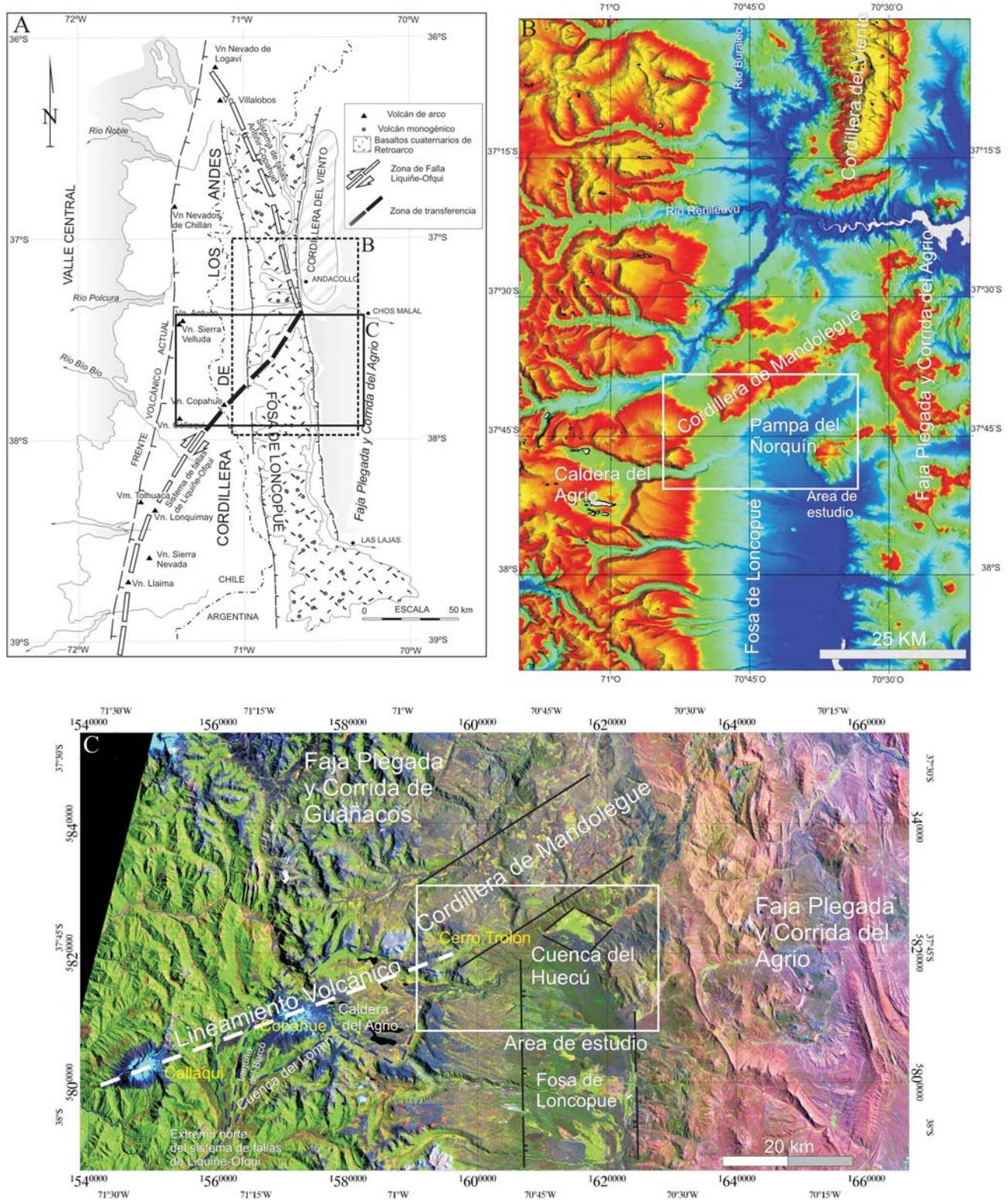


Figura 1: a) Mapa geológico simplificado de la fosa de Loncopué (según Ramos 1977, Ramos y Folguera 2005); b) topografía digital de la cuenca de Cura Mallín entre los 37° y los 38° de latitud Sur; c) imagen satelital Landsat-7 donde se encuentran marcadas las principales unidades morfoestructurales descritas en el texto.

Jordan *et al.* (2001) analizaron una línea sísmica al norte de la zona de estudio a la

altura del río Buraleo (Fig. 1b), sobre el límite occidental de la antedicha fosa, en

donde se observa una falla normal que inclina hacia el oeste, que controla los

máximos espesores correspondientes al Oligoceno tardío en el subsuelo. Ramos y Folguera (2005) interpretan esta falla oligocena como asociada al sistema extensional de la cuenca de Cura Mallín (González *et al.* 1962), la que fue reactivada extensionalmente durante el desarrollo de la fosa de Loncopué. La mayor parte de esta fosa se encuentra cubierta por basaltos alcalinos cuaternarios (Ramos 1977), asociados a conos monogénicos, basálticos y piroclásticos, que abarcan edades que van desde los $2,3 \pm 0,3$ hasta los $0,47 \pm 0,2$ Ma sobre la base de dataciones K-Ar (Linares y González 1990). Folguera *et al.* (2004 y 2006) relacionaron esta actividad volcánica cuaternaria con la presencia de fallamiento extensional desarrollado en el retroarco durante tiempos pliocenos a cuaternarios. Evidencias de carácter geofísico (*receiver function*; Yuan *et al.*, 2006) muestran un espesor de la corteza de sólo 30 km por debajo de la fosa y parte de la faja plegada y corrida del Agrio, que avalan un régimen extensional, a partir del atenuamiento cortical observado, asociado potencialmente a atenuamiento litosférico. Adicionalmente análisis isostáticos muestran un estado de subcompensación compatible con los bajos espesores corticales medidos (Folguera *et al.* 2007).

Los estratos oligocenos a miocenos inferiores se agrupan en la Formación Cura Mallín en el área cordillerana (Niemeyer y Muñoz 1983), unidad que ha sido objeto de numerosos estudios durante los últimos años. Radic *et al.* (2002) analizaron la estructura y relleno de la cuenca de Cura Mallín, realizando secciones a lo largo de la misma y reconociendo variaciones en el espesor, edad y ambiente de deposición de los diferentes depocentros que la constituyen. De esta manera se ha determinado que esta cuenca se encontraría compartimentada en dos subcuencas principales diacrónicas e independientes de polaridad opuesta. La zona de transferencia desarrollada entre las dos subcuencas coincide espacialmente con la cordillera de Mandolegüe y el depocentro del Huecú, dos rasgos postmiocenos (Fig. 1).

Melnick *et al.* (2002) relacionaron a la cordillera de Mandolegüe, el mayor lineamiento volcánico cuaternario de los Andes Australes, con la estructura de transferencia descrita, determinando que la estructuración del basamento, heredada de la extensión oligo-miocena, sería la que controló la geometría fisural de la volcánica.

A nivel regional Melnick *et al.* (2006) establecieron tres fases de evolución tectónica para este sector de los Andes: 1) Oligoceno tardío al Mioceno medio (28-11 Ma) en la cual se forma la cuenca de Cura Mallín en respuesta a extensión; 2) Mioceno tardío (11-6 Ma), en la cual el régimen imperante cambia a compresivo asociándose a la fase de cierre de Cura Mallín a través de la inversión tectónica de fallas normales y a la reactivación de la faja plegada y corrida del Agrio hacia el este (Ramos 1998); 3) Plioceno a Cuaternario (5-0 Ma), en el que cesa la etapa de compresión y el frente del arco magmático migra hacia la trinchera, coetáneamente al inicio de transtensión en la zona septentrional del sistema de fallas de Liquiñe-Ofqui (Fig. 1). Este sistema acomodó desplazamientos transcurrentes dextrales durante el Neógeno al Cuaternario (Lavenue y Cembrano 1999) extendiéndose por más de 1.200 km desde los 38°S hasta los 46,5°S (Fig. 1a). A los 38° este sistema penetra en territorio argentino continuándose en el sistema de fallas de Antihir-Copahue (Fig. 1a) (Folguera *et al.* 2004). Estas fallas se vinculan al desarrollo de cuencas transtensionales (*pull-apart basins*) tales como la caldera del Agrio, el graben de la laguna del Barco y la cuenca de del río Lomín (Fig. 1c) (Melnick *et al.* 2006).

GEOLOGÍA DEL DEPOCENTRO DEL HUECÚ

El relleno volcánico-sedimentario del depocentro del Huecú y sus adyacencias (Fig. 2), posee un basamento integrado por secuencias jurásicas marinas que afloran en el sector NE de la zona de

estudio (Delpino *et al.* 1995). Las mismas se encuentran cubiertas por secuencias de andesitas, basaltos y aglomerados volcánicos correspondientes a la Formación Cayanta de edad cretácica superior hasta eocena (Rapela y Llambías 1985, Rovere 1998, Jordan *et al.* 2001). Sus afloramientos se encuentran restringidos al sector noroeste de la zona de estudio, sobre la base del cerro Rankül-Lom y la parte alta del arroyo Ñorquín.

En los sectores NO y SO de la zona de estudio aflora la Formación Cola de Zorro (Vergara y Muñoz 1982) que agrupa a basaltos, andesitas, brechas volcánicas y aglomerados volcánicos del Plioceno inferior ($5,67 \pm 0,20$ y $4,00 \pm 0,20$ Ma; Linares *et al.* 1999). Esta unidad es equivalente a la Formación Hualcupén definida por Pesce (1989) hacia el oeste de la caldera del Agrio. A lo largo de la cordillera de Mandolegüe con posterioridad a la acumulación de la secuencia volcánica de la Formación Cola de Zorro, se desarrolló la Formación Mandolegüe (Rovere *et al.* 2000, emend Rojas Vera *et al.* 2008), integrada por coladas basálticas emitidas a partir de cuerpos monogénicos y calderas asociadas.

En el sector sudoeste de la región de estudio a la altura de las puertas de Trolope (Fig. 2), se encuentra la unidad Basalto Escorial (Rojas Vera *et al.* 2008). Su composición es basáltica/andesítica y corresponde a las coladas que se ubican sobre la planicie del río Agrio. Su génesis se encuentra relacionada con el control estructural ejercido por la pared norte de la caldera del Agrio, a partir de la cual se generó un campo de conos monogénicos. A esta unidad se le asigna una edad de $1,4 \pm 0,03$ Ma K-Ar según Linares *et al.* (1999). Posteriormente un nuevo pulso de actividad volcánica se asoció a la Formación Cerro Trolón (Pesce 1989, Rovere *et al.* 2000, emend Rojas Vera *et al.* 2008). Los afloramientos de esta unidad se encuentran restringidos a la cordillera de Mandolegüe y corresponden a coladas basálticas e intrusivos. Linares *et al.* 1999 dataron esta unidad obteniendo una edad K-Ar de $0,66 \pm 0,70$ Ma.

Sobre estas unidades se derramó el Basalto Rankül-Lom, compuesto por coladas basálticas desarrolladas a partir de aparatos volcánicos monogénicos y efusiones fisurales. Los afloramientos del mismo comprenden a los cerros Rankül-Lom, Colorado y la ladera oriental de la cordillera de Mandolegüe. La edad propuesta para el Basalto Rankül-Lom es pre-glaciaria, posterior a la Formación Cerro Trolón (Pesce 1989; *emend* Rovere *et al.* 2000.). El relleno del depocentro del Huecú continúa con el desarrollo del basalto preglaciario Tres Hermanos (Fig. 2). Esta unidad se encuentra integrada por volcanes monogénicos ubicados hacia el sector occidental de la depresión central de la fosa de Loncopué.

Sobre ambas márgenes del río Agrio, a la altura de las puertas de Trolope, se reconocieron depósitos de morenas, potencialmente correlacionables con las del arroyo Hualcupén inmediatamente hacia el sur, cuyos depósitos lacustres asociados fueron datados por el método C^{14} determinándose una edad pleistocena tardía (30 ka, *sic* Bermudez y Delpino 1999). Posteriormente al último avance glaciario acaecido en la zona, se desarrolló la unidad Basalto Cerro Artillería. La misma se encuentra integrada por coladas basálticas y andesíticas que se desarrollaron sobre el valle del arroyo Ñorquín bajo un fuerte control estructural y sobre el sector norte y sur de la pampa homónima (Fig. 2). La extrusión de estas coladas sobre los valles del arroyo Ñorquín al norte de la zona de estudio y el río Agrio en el sector central llevaron al anegamiento de los sistemas fluviales generando dos grandes inundaciones en los sectores de menor cota topográfica del área. La primera inundación se encuentra registrada en la Formación El Huecú, que aflora sobre el valle del arroyo Ñorquín. La segunda afectó al área ocupada actualmente por la pampa del Ñorquín, y se encuentra representada por los depósitos lacustres de la Formación Mar Pequeño. El último relleno del depocentro Huecú se encuentra representado por el basalto postglaciario Tres Hermanos (Rojas Vera

et al. 2008) sobre el sector sur de la zona de estudio. Allí se concentró la última actividad magmática de la zona, correspondiente a coladas basálticas eruptadas a través de fisuras.

Estructura

La zona de estudio se ubica en la intersección de tres unidades morfoestructurales: la faja plegada corrida del Agrio hacia el este, la cordillera de Mandolegüe en el norte y la fosa de Loncopué en el oeste (Fig. 1c). El elemento dominante en este segmento de la cordillera está constituido por la zona de transferencia de la cuenca paleógena de Cura Mallín que coincide con la cordillera de Mandolegüe en la parte central de la fosa de Loncopué. Radic *et al.* (2002) diferenciaron dos subcuencas, la subcuenca norte (36° - $37,7^{\circ}$ S), que muestra el desarrollo de hemigrábenes de dirección N-S con planos de falla que inclinan hacia el oeste, y la subcuenca sur (38° - 39° S), donde los hemigrábenes se desarrollaron con un rumbo NNE y la inclinación de los planos de falla es hacia el este. En base a estudios estratigráficos estos autores proponen que la zona de transferencia se habría desarrollado entre los $37,7^{\circ}$ - 38° S bajo la cordillera de Mandolegüe.

La estructura superficial de la zona de estudio fue dividida en una serie de sistemas de fallas y lineamientos con características geométricas y tiempos de desarrollo distintos (Fig. 2). Estos son los sistemas de fallas y lineamientos: Mandolegüe, Rankül-Lom, pampa del Ñorquín y campo volcánico Tres Hermanos (Fig. 2).

Sistema de fallas y lineamientos Mandolegüe

El sistema de fallas y lineamientos Mandolegüe se ubica en el faldeo sur de la cordillera de Mandolegüe con una orientación general ENE y afecta distintos niveles de coladas que la conforman y a su basamentov. Se encuentra integrado por fallas que muestran componentes normales y fisuras a través de las cuales se alinean conos monogénicos. Las coladas agrupadas en la unidad Basalto Rankül-Lom se emitieron a partir de un lineamiento que nace a la altura del cerro

Trolón tomando rumbo NE a lo largo de 4,5 km hasta la base de la caldera de Mandolegüe (Figs. 2 y 3). A partir del análisis de la topografía digital, es posible observar el marcado cambio de pendiente que se manifiesta entre el nivel a partir del cual se emitió el Basalto Rankül-Lom y la cordillera de Mandolegüe probablemente vinculado a un desplazamiento vertical de la pendiente. Esta estructura es más joven que $0,66 \pm 0,70$ Ma, edad de la Formación Cerro Trolón según Linares *et al.* (1999), dado que controló el derrame del Basalto Rankül-Lom por encima de esta unidad.

Otras estructuras que integran el sistema de lineamientos de Mandolegüe, son aquellas presentes al norte de la zona de estudio sobre la caldera de Mandolegüe, en donde la dirección de las estructuras es predominantemente NE. Los lineamientos volcánicos alcanzan allí los 5 km de longitud sobre la ladera sur de dicha caldera. Por otra parte en el análisis de las imágenes satelitales y de la topografía se pudo constatar la presencia de una escarpa de rumbo E-O desarrollada sobre la pared norte de la caldera de Mandolegüe. La misma presenta un rechazo vertical de 60 m desplazando la morfología volcánica. En el interior de la caldera de Mandolegüe se desarrolló otro juego de fallas de orientación nordeste, afectando coladas emitidas desde volcanes monogénicos de la Formación Cerro Trolón. Dado el hecho de que todas estas estructuras se encuentran afectando a materiales de estas unidades, se concluye que la edad máxima de deformación es de $0,66 + 0,70$ Ma, aunque existe la posibilidad de que estas estructuras pudieran ser más jóvenes aún.

Sistema de fallas y lineamientos Rankül-Lom

El sistema de fallas y lineamientos Rankül-Lom afecta la zona norte del área de estudio (Fig. 2). El cerro Rankül-Lom se encuentra limitado por su borde oriental por fallas inversas de alto ángulo de $2,5$ km de longitud y rumbo predominante NNE. Estas fallas se encuentran afectando a la Formación Cayanta conformando un bloque basculado hacia el NO (Figs.

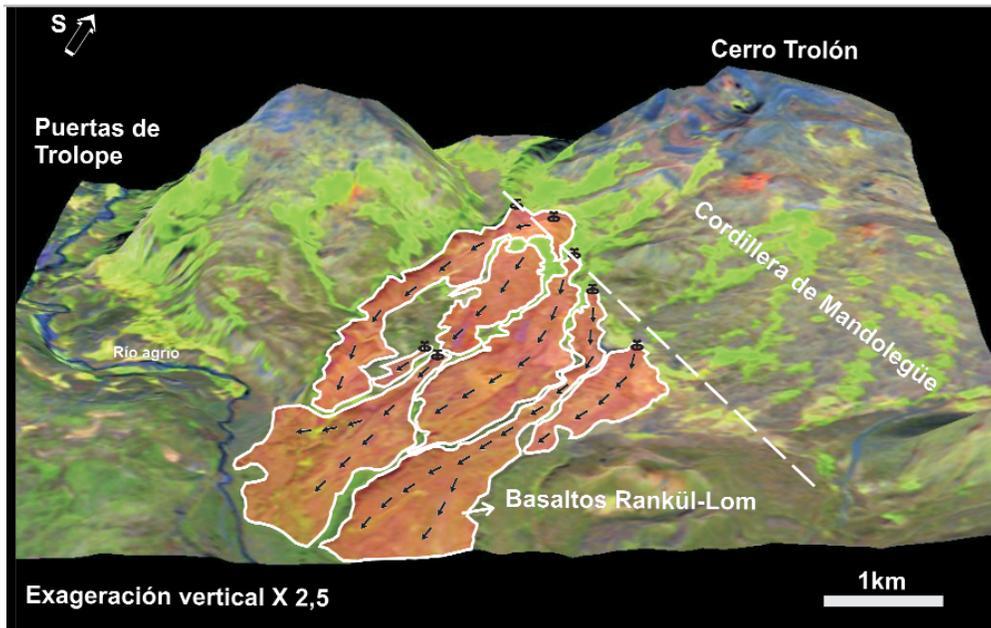


Figura 3: Imagen satelital Land-sat-7 sobre un DEM (SRTM resolución 90x90m) que muestra la posición del lineamiento Mandolegüe y el control que ejerce sobre las efusiones de las coladas del Basalto Rankül-Lom.

4, 5 y 6). Posteriormente al basculamiento del bloque, el Basalto Rankül-Lom se emplazó acomodándose a la topografía, controlado por la topografía generada estructuralmente. Otra estructura perteneciente al sistema de lineamientos de Rankül-Lom es un lineamiento asociado al cambio de pendiente que afecta la ladera oriental de la cordillera de Mandolegüe definiendo la morfología del valle del arroyo Ñorquín (Fig. 6). Este cambio de pendiente coincide con la ubicación de centros emisores asignados al Basalto Rankül-Lom. Los basaltos no presentan evidencias de fallamiento, por lo que la estructura sería anterior a los mismos y habría controlado su emisión.

Sistema de fallas y lineamientos Pampa Ñorquín

Bajo el nombre de sistema de fallas y lineamientos Pampa Ñorquín se denominó al conjunto de estructuras que limita la cuenca cuadrangular de la pampa homónima (Fig. 2). Su geometría está definida inmediatamente al norte por un área en donde el basamento de las secuencias neógenas, expuesto en la cordillera de Mandolegüe, se encuentra deprimido y cubierto por secuencias cuaternarias. Asociada a este depocentro se asume la presencia de tres juegos de fallas normales que determinan una morfología cuadrangular. Si bien los planos de falla no

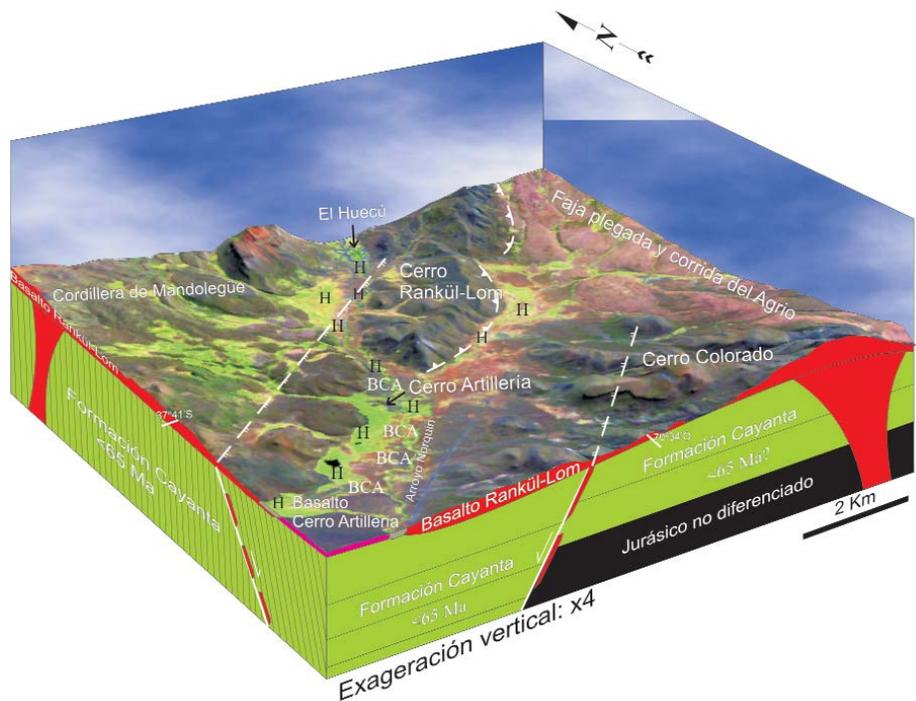


Figura 4: Modelo de elevación digital confeccionado a partir de imágenes satelitales Landsat-7 y topografía digital. Muestra la distribución de la inundación de la Formación El Huecú (H) y el Basalto Cerro Artillería (BCA).

han podido ser directamente identificados, poseen expresión morfológica en superficie, definiendo el bajo estructural presente en la pampa del Ñorquín. La escarpa que marca el límite norte de la pampa del Ñorquín posee un longitud de 5 km en dirección NO e inclinación hacia el SO. Otra estructura similar se presenta

en la ladera oriental de la cordillera de Mandolegüe, a la latitud de la pampa del Ñorquín. Esta estructura marca el límite NO de la depresión albergada en la pampa y posee una longitud de 4,5 km en dirección NE e inclinación hacia el SE. Se encuentra cubierta por las coladas de la Formación Cerro Trolón evidencián-

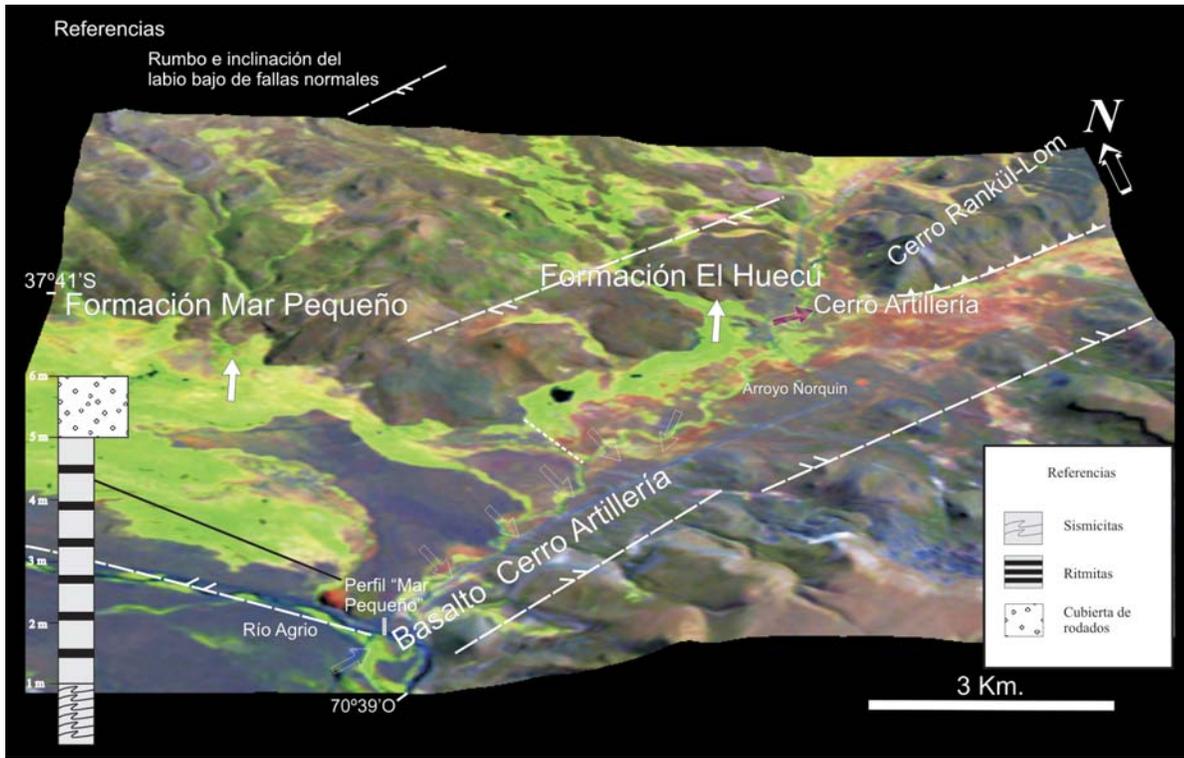


Figura 5: Modelo de elevación digital realizado a partir de imágenes satelitales Landsat-7 y topografía digital en donde se muestra la distribución y relación espacial del Basalto Cerro Artillería, los depósitos lacustres de la Formación Mar Pequeño y perfil levantado en el campo.

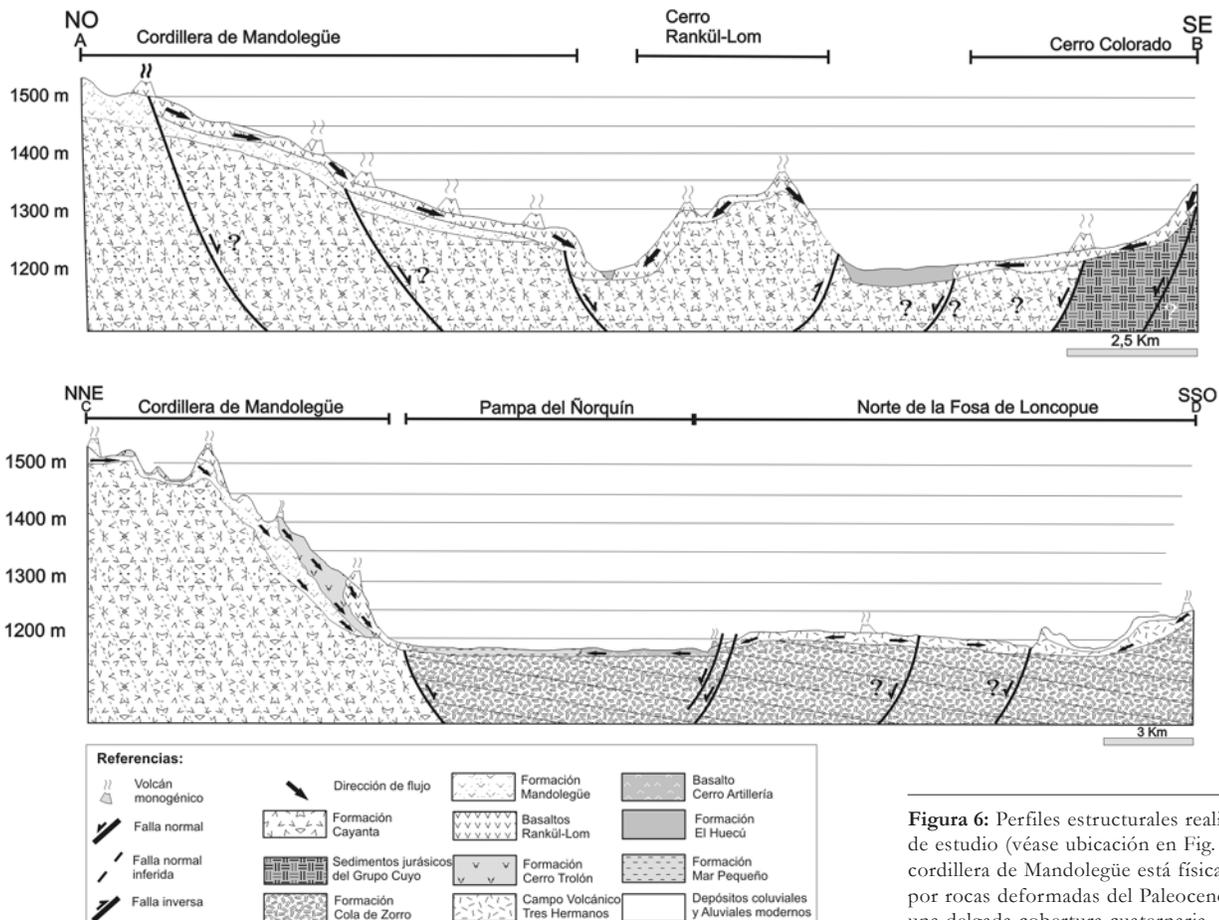


Figura 6: Perfiles estructurales realizados en el área de estudio (véase ubicación en Fig. 2). Nótese que la cordillera de Mandolegüe está físicamente formada por rocas deformadas del Paleoceno-Eoceno con una delgada cobertura cuaternaria.

dose por un escalón debajo de éstas. La edad de esta estructura debe ser anterior a las coladas de la Formación Cerro Trolón ya que no presentan evidencias de fallamiento en superficie.

El borde oriental de la pampa del Ñorquín (Fig. 5) se encuentra marcado por una estructura de 8 km de longitud en dirección NE e inclinación hacia el NO. La misma es la responsable de la formación del valle del arroyo Ñorquín que alberga las coladas del Basalto Cerro Artillería y al Basalto Rankül-Lom en dirección NO. Esta estructura coincide con la zona de emisión de los mismos sobre la ladera occidental del cerro Colorado. Su edad es anterior a la emisión de las coladas del Basalto Cerro Artillería y al Basalto Rankül-Lom.

Sistema de fallas y lineamientos Tres Hermanos
El sistema de fallas y lineamientos Tres Hermanos se ubica en el sector sur de la zona de estudio (Fig. 2). El mismo se encuentra integrado por una serie de fallas y lineamientos de unos 6 km de longitud con dirección promedio NO, demarcando el límite sur de la pampa del Ñorquín. Las escarpas son discernibles en fotografías aéreas e imágenes satelitales. Estas fallas afectan las coladas del basalto postglaciarío Tres Hermanos y al Basalto Cerro Artillería.

APLICACIÓN DE MÉTODOS POTENCIALES

Se han utilizado métodos geofísicos para relacionar la estructura descrita en superficie con aquella inferida en subsuelo. Tanto los métodos gravimétricos como los magnetométricos han mostrado una relación consistente entre la estructura que provoca el derrame de los principales pulsos volcánicos en superficie y los principales contrastes de densidad y susceptibilidad magnética potencialmente asociados a la estructura que afecta al basamento de la cuenca neuquina y la cuenca de Cura Mallín en el área de estudio.

Gravimetría

La base de datos gravimétrica fue cons-

truida a partir de diferentes fuentes: Instituto Geográfico Militar (IGM), Instituto Geofísico y Sismológico Ing. F. S. Volponi (IGSV), Universidad Nacional de San Juan, y el Instituto de Física de Rosario (IFR), Universidad Nacional de Rosario. La base de datos contiene cerca de 1.500 puntos de gravedad irregularmente distribuidos. Con el fin de resaltar las menores longitudes de onda que producen las anomalías locales, se adicionaron a la base de datos 120 puntos en el área de interés (desde el límite con Chile llegando hasta 100 km al este).

Los datos gravimétricos fueron referidos a la estación fundamental Miguelete (Buenos Aires) en el sistema IGSN 1971 (979690,03 mGal). Los gravímetros utilizados fueron el Lacoste-Romberg G 981 y el Scintrex CG3.

Los datos obtenidos en el campo fueron analizados con el *software Oasis Montaj* 6.1, utilizado para la homogenización de los datos de diferentes fuentes, reducción de la gravedad absoluta y cálculo de la anomalía de Bouguer. Las correcciones topográficas fueron realizadas en base a los datos topográficos de SRTM DEM (*Shuttle radar topography of the mission digital elevation model*) (90 x 90 m).

Las primeras cartas correspondientes a anomalías de Bouguer en la zona han permitido inferir la estructura asociada a la cuenca de Cura Mallín reconociendo las diferentes profundidades del basamento y por ende su segmentación en distintos depocentros (Zapata y Folguera 2005). La subcuenca sur se ubica inmediatamente al sur de la zona de transferencia de Mandolegüe, evidenciada por un bajo gravimétrico en coincidencia con la fosa de Loncopué. La figura 7 muestra una serie de rasgos distintivos correspondientes a las anomalías de gravedad en la zona: 1) el fuerte gradiente gravimétrico que existe entre la faja plegada y corrida del Agrio y la fosa de Loncopué; 2) el bajo gravimétrico presente sobre la ladera oriental de la caldera del Agrio; y 3) el alto gravimétrico desarrollado sobre la cordillera de Mandolegüe. Particularmente, en base a la geología de superficie

se interpretó que el alto gradiente gravimétrico presente entre la fosa de Loncopué y la faja plegada y corrida del Agrio está definido por una discontinuidad vertical en el basamento atribuida a una falla normal que limita hacia el este dicha depresión. Por otra parte el bajo gravimétrico desarrollado al este de la caldera del Agrio coincide espacialmente con los principales centros del campo volcánico Tres Hermanos, mientras que la cuenca de Pampa del Ñorquín se desarrolla marginando por el sur al alto gravimétrico de Mandolegüe.

Magnetometría

La figura 8a muestra el mapa de anomalías magnéticas reducidas al polo (SEGEMAR 2003) en donde se pueden observar rasgos lineales asociados a fuertes gradientes magnéticos de dirección ONO. Estos lineamientos se proyectan desde la pared sur de la caldera del Agrio, hacia la ladera oriental de la misma, hasta alcanzar la fosa de Loncopué. Un bajo magnético se asocia al cerro Trolón con valores aproximados de -700 a -300 nT. Este puede estar ligado a magnetización remanente reversa (Rapalini, com. pers.), ya que el mismo se ajusta exactamente a la geometría en planta del cerro Trolón, y su edad es aproximadamente $0,66 \pm 0,70$ Ma (K/Ar, Linares *et al.* 1999), dado que 0,70 Ma es la edad del inicio de la polarización reversa para el Cuaternario. Aplicando el método de prolongación ascendente (Fig. 8b), mediante el cual se simula un plano de registro más elevado al de medición con el objeto de realzar las grandes longitudes de onda, la anomalía mencionada continúa nítidamente definida, lo que implica un origen relativamente profundo, potencialmente ligado a la existencia de cuerpos subvolcánicos en subsuelo. La interpretación de las anomalías magnéticas negativas que coinciden con la pampa del Ñorquín y el norte de la fosa de Loncopué, con valores absolutos menores a los del cerro Trolón (300 a 150 nT), es distinta, ya que las secuencias volcánicas aflorantes son de carácter monogénico por lo que se descarta la pre-

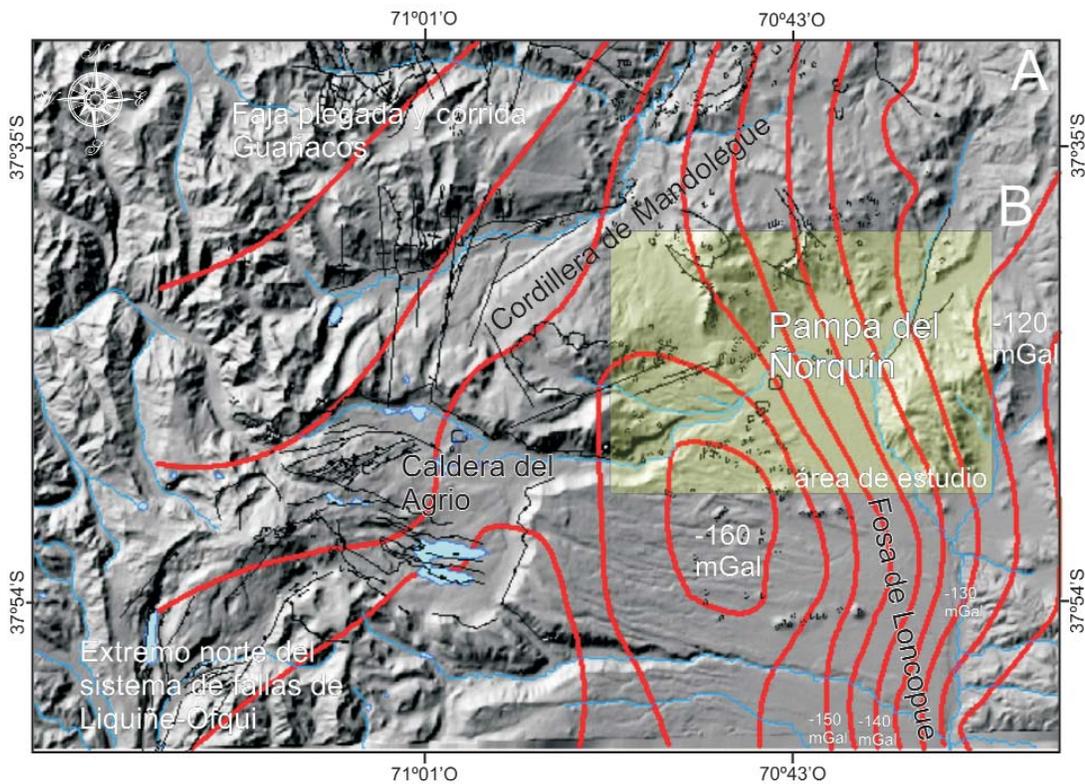


Figura 7: Curvas correspondientes a la anomalía de Bouguer en la zona de estudio superpuestas a modelo de elevación digital hillshade (datos gravimétricos provenientes de Wienieke 2002).

sencia de grandes raíces magmáticas. Por otro lado estas secuencias volcánicas coinciden con bajos gravimétricos, lo que implicaría que los contrastes de susceptibilidad magnética relacionados se asociarían a discontinuidades en la profundidad del basamento.

Por otra parte, en la figura 9, en los modelos 3D confeccionados a partir de los datos magnéticos se puede observar que los fuertes gradientes que separan bajos y altos magnéticos coinciden con la posición de los volcanes pertenecientes al campo volcánico Tres Hermanos. Como muestra la figura 8b, con posterioridad a la prolongación ascendente, las principales anomalías magnéticas mantienen su posición por lo que se infiere que sus fuentes no son superficiales. Por otra parte se observó la pérdida de definición de ciertos lineamientos de dirección NO que coinciden en superficie con conos monogénicos del campo volcánico Tres Hermanos infiriéndose así su fuente superficial.

Deconvolución de Euler

La deconvolución de Euler permite esti-

mar la ubicación y profundidad de las fuentes causantes de las anomalías magnéticas y/o gravimétricas. El método fue presentado por primera vez por Thompson (1982) para trabajos sobre secciones magnéticas y posteriormente por Reid *et al.* (1990) para datos grillados.

La deconvolución de Euler se basa en la aplicación de la ecuación de homogeneidad de Euler, sobre una ventana de datos, con un índice estructural predeterminado. En cada posición de la ventana (móvil) de datos, se resuelve un sistema sobredimensionado de ecuaciones lineales, obteniéndose la posición y profundidad de las fuentes que provocan las anomalías (Fairhead *et al.* 1994, Mikhailov *et al.* 2003, Silva y Barbosa 2003).

Esta técnica permite resolver según el índice estructural utilizado, distintas geometrías asociadas con rasgos geológicos tales como contactos, filones capa, diques, etc.

Se aplicó esta técnica con el objetivo de aportar una evidencia adicional para la interpretación de la estructura en superficie. En la figura 10, se pueden observar las soluciones de Euler calculadas a partir

de las anomalías magnéticas para un índice estructural que resuelve geometrías planares. En el sector NE sobre el cerro Colorado se presenta un conjunto de soluciones con profundidades que van desde los 3 hasta los 1,5 km, con dirección promedio NE y que coinciden en superficie con los centros fisurales asociados al Basalto Rankül-Lom.

El límite sur de la pampa del Ñorquín se encuentra marcado por un lineamiento de soluciones que van desde los 1,5 hasta los 3 km de profundidad, con una dirección NO. Por otra parte inmediatamente al sur sobre el campo volcánico Tres Hermanos, se observaron varios lineamientos que poseen la misma dirección. El lineamiento de soluciones con dirección NE ubicado sobre el cerro Rankül-Lom se interpretó como una falla, ya que a partir de la misma nacen las coladas del Basalto Rankül-Lom. El conjunto de soluciones presentes en el cerro Colorado podrían corresponder a los diques alimentadores de este centro volcánico.

Equivalentemente el conjunto de soluciones presentes bajo el campo volcánico Tres Hermanos, que carecen de una

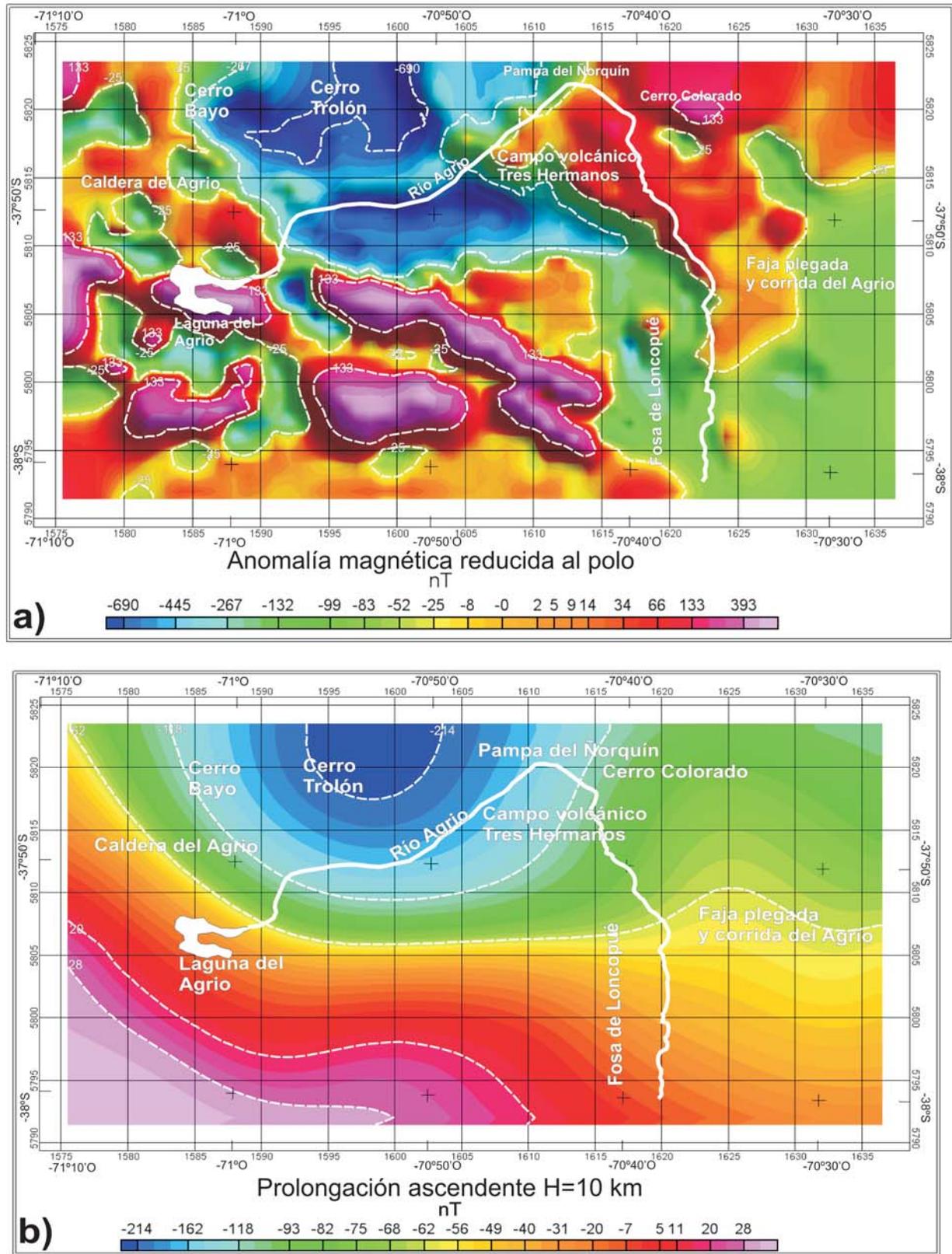


Figura 8: a) Mapa de anomalías magnéticas reducidas al polo; b) prolongación analítica ascendente para una altura de 10 kilómetros. Nótese la persistencia del bajo magnético coincidente con el área del cerro Trolón, lo cual sugiere que el mismo podría relacionarse a magnetismo remanente adquirido al momento de su formación durante un período de magnetización reversa en el Cuaternario.

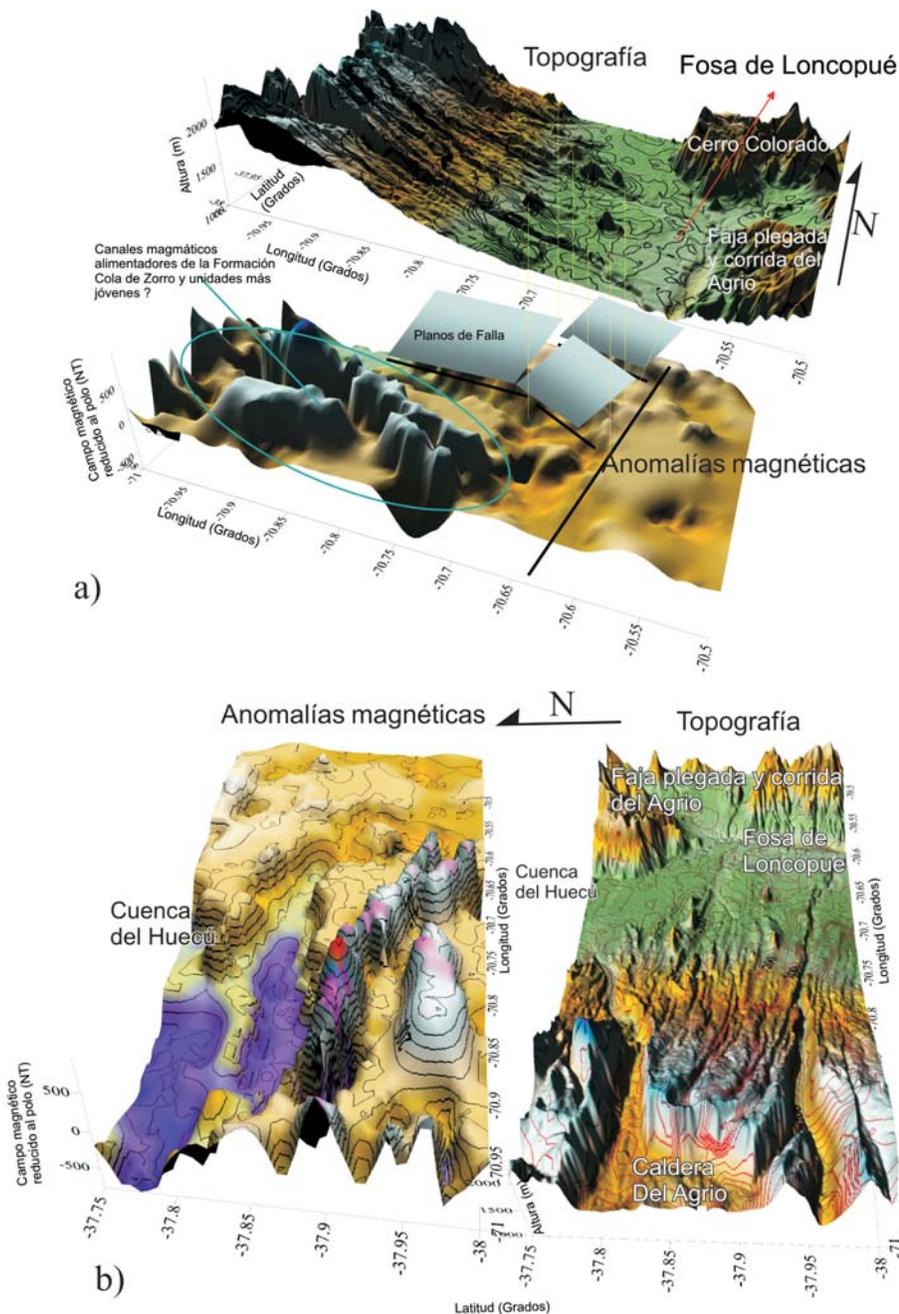


Figura 9: a) Asociación entre la anomalía magnética (campo magnético reducido al polo) y la geología de superficie en perspectiva NO-SE (topografía digital en perspectiva 3D, Gtopo 30); b) mapa de anomalías magnéticas en 3D y topografía en perspectiva E-O.

orientación particular, podría indicar la posición de cuerpos intrusivos. La figura 11a muestra las soluciones de Euler a partir de datos gravimétricos en un contexto regional. Entre la fosa de Loncopué y la faja plegada y corrida del Agrio se puede observar como las soluciones se disponen longitudinalmente.

En la figura 11b se pueden ver las soluciones de Euler obtenidas a partir de la información gravimétrica de la zona de estudio. Se distingue allí un lineamiento asociado al cerro Trolón, otro lineamiento sobre la ladera oriental del cerro Rankül-Lom y uno ubicado sobre la caldera de Mandogüe.

Las soluciones del lineamiento de dirección NE ubicadas sobre el cerro Trolón coinciden con la zona de emisión del Basalto Rankül-Lom, mientras que las soluciones presentes en la pared sur de la caldera de Mandogüe coinciden con la expresión en superficie de la falla normal que afectó la pared norte de la caldera. Así mismo las soluciones de dirección NE presentes en la ladera oriental del cerro Rankül-Lom coinciden en superficie con la posición de la falla normal que limita dicho cerro.

DISCUSIÓN

El depocentro del Huecú ha sido rellenado con secuencias volcánicas y sedimentarias interdigitadas desde hace por lo menos 1,4 millones de años, edad correspondiente a los niveles basales del Basalto Escorial (Figs. 12, 13, Rojas Vera *et al.* 2008) emitidas desde la zona norte de la caldera del Agrio. Los niveles más antiguos emitidos desde el perímetro de la depocentro del Huecú están constituidos por las coladas provenientes de la cordillera de Mandogüe de edad preglaciaria. Estas unidades muestran un control estructural fisural en sus emisiones (Fig. 13), localmente relacionado con desplazamientos verticales en los planos de falla. La figura 13 muestra la relación temporal que existe entre los diversos sistemas de fallas y lineamientos que estuvieron involucrados en la formación de la cuenca del Huecú. Cronológicamente se observa que las estructuras comenzaron su desarrollo en el sector SO en las proximidades de las Puertas de Trollope. En este lugar un pulso extensional es el responsable de la emisión del Basalto Escorial, datado por Linares *et al.* 1999 en $1,4 \pm 0,3$ Ma. Posteriormente la actividad magmática migra hacia el sector NE (Formación Cerro Trolón) acompañada de una importante actividad extensional, generando los sistemas de fallas y lineamientos de Mandogüe. Un nuevo pulso de actividad extensional se desarrolló luego de los $0,6 \pm 0,7$ Ma, dando lugar a las estructuras del cerro Trolón, los sistemas

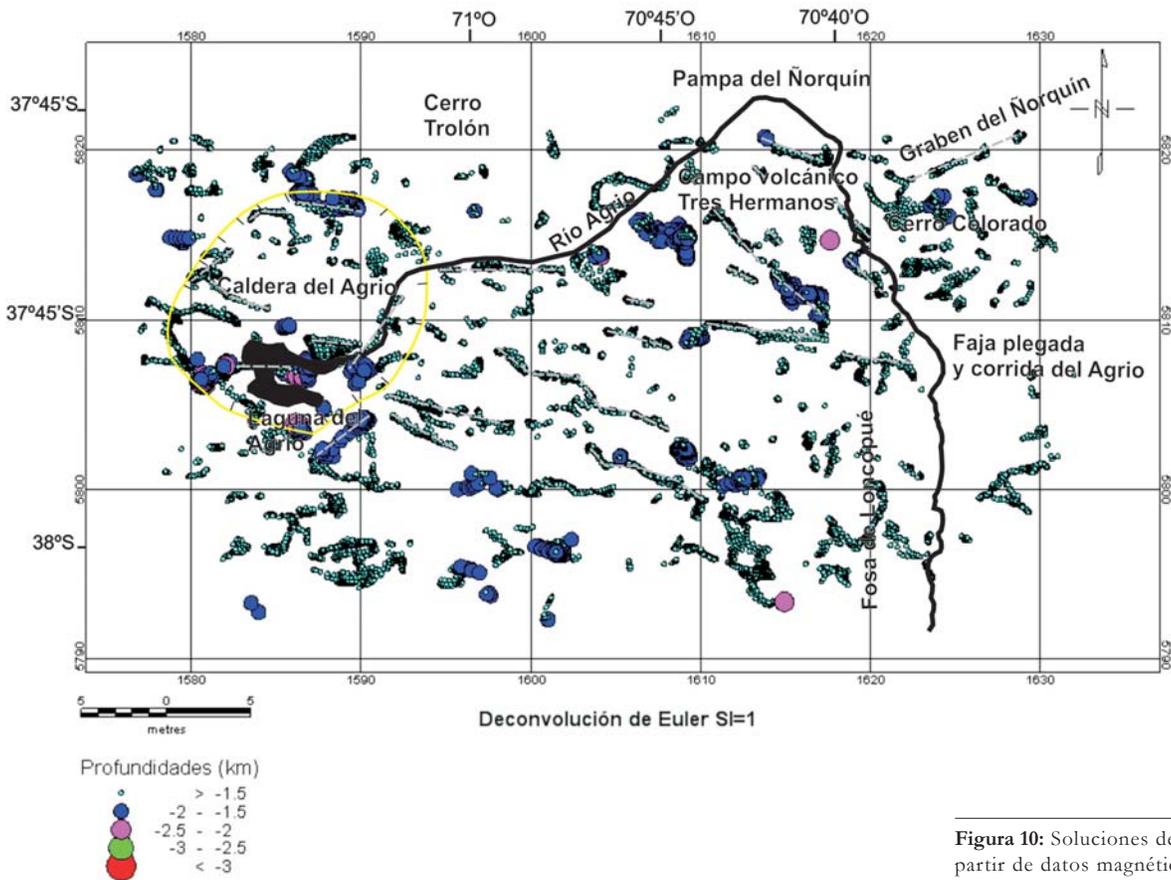


Figura 10: Soluciones de Euler realizadas a partir de datos magnéticos.

de fallas y lineamientos de Rankül-Lom y Pampa del Ñorquín. Como consecuencia de la extensión se extruyeron unidades volcánicas que rellenaron el valle del Ñorquín, y la pampa del Huecú (Formación Cerro Artillería). A su vez sobre los cerros Rankül-Lom y Trolón se emitió el Basalto Rankül-Lom. Finalmente la actividad tectono-magmática en el área culminó con el desarrollo del sistema de fallas y lineamientos de rumbo NO en el extremo central sur de la cuenca. Esta última fase de extensión es la responsable de la actividad volcánica del campo volcánico Tres Hermanos.

Los niveles más antiguos lacustres alojados en el depocentro del Huecú se han agrupado en la Formación El Huecú y están relacionados con el endicamiento del arroyo Ñorquín por parte de las coladas agrupadas en la unidad Basalto Cerro Artillería (Rojas Vera *et al.* 2008), las cuales fueron emitidas en el eje de una estructura tipo graben limitada por la falla del cerro Colorado y la que corre a través

de la ladera oriental de la cordillera de Mandogüe en las nacientes del arroyo Ñorquín. Otro episodio de inundación cuyos remanentes se encuentran a una cota topográfica inferior (40 m) se ubica parcialmente por encima de estas secuencias volcánicas y se asocia nuevamente al endicamiento del río Agrío por parte del Basalto Cerro Artillería. Posteriormente se desarrollaron los productos volcánicos más jóvenes que rellenan el depocentro del Huecú (Fig. 2), correspondientes al campo basáltico postglaciarío Tres Hermanos. La principal emisión de este campo volcánico está constituida por la colada del Agrío, cuya emisión de tipo fisural se asocia a una serie de fallas y lineamientos de orientación NO. Estas estructuras son las últimas en desarrollarse en la zona y constituyen el límite sur del depocentro del Huecú.

La primera conclusión que surge de este estudio es que la fosa de Loncopué, de la cual el depocentro del Huecú forma parte, cambia su orientación general NS a

NE desarrollando una compleja estructura de grábenes y depocentros romboidales a la altura de la zona de transferencia de Mandogüe.

La segunda conclusión es que la estructura del depocentro del Huecú se ha generado en distintas fases, incluso durante tiempos postglaciales. De igual manera el relleno de la misma (Fig. 13) también se divide en una secuencia preglaciaría y otra postglaciaría (Rojas Vera *et al.* 2008). El estudio de la recurrencia en la actividad del depocentro del Huecú, derivado de su estudio estratigráfico, demuestra que la cuenca de Loncopué ha tenido una dilatada historia de actividad tectónica desde por lo menos el Cuaternario inferior, o Plioceno si consideramos a la Formación Cola de Zorro como parte de su relleno basal. Habría sido activa hasta tiempos históricos a juzgar por las crónicas de Groeber (1928) quien relaciona la inundación de la misma con la eruptividad local. Esta última mención constituiría una de las escasas manifestaciones de

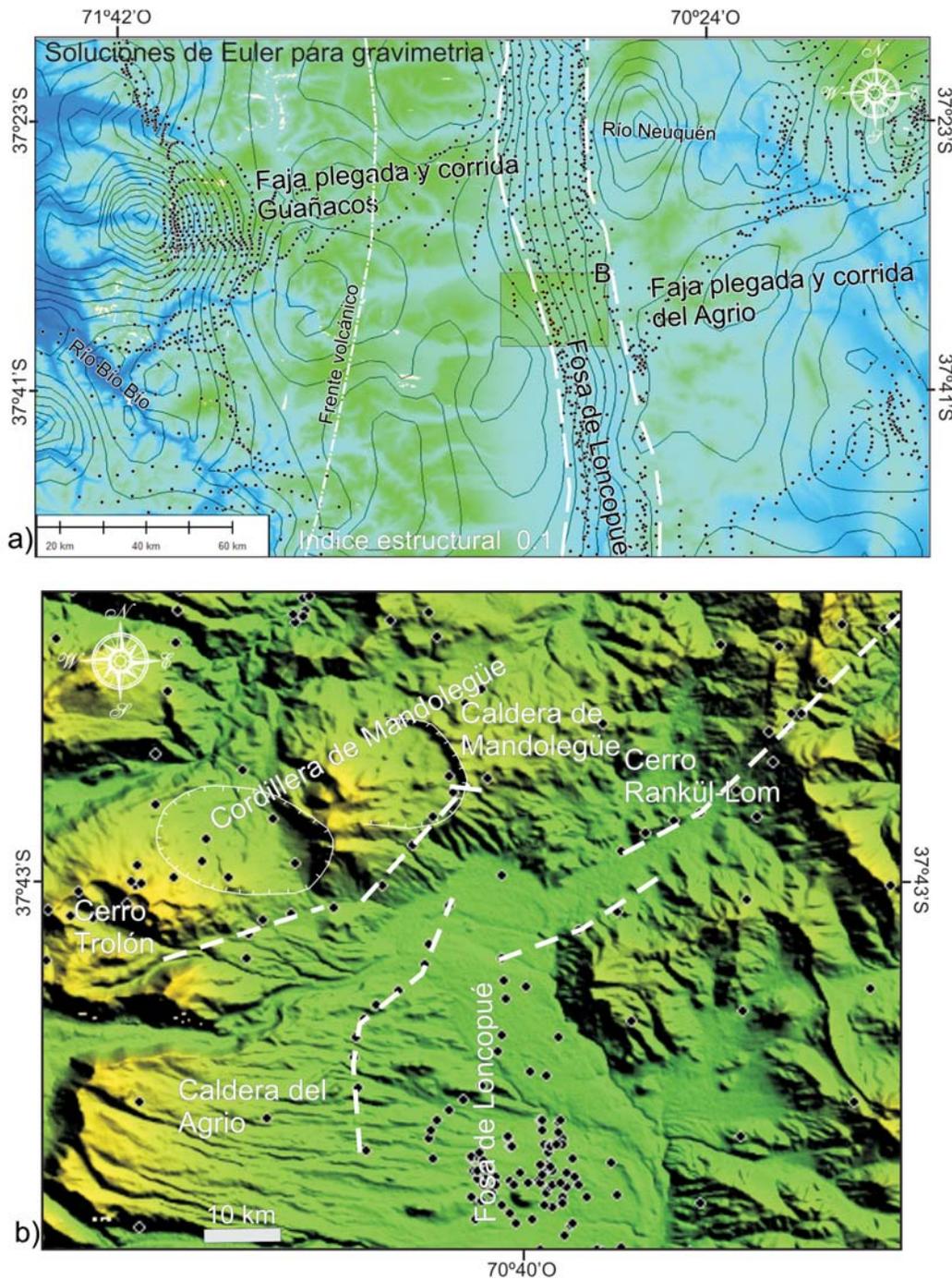


Figura 11: a) Soluciones de Euler (índice estructural 0,1, que describen en el caso de datos gravimétricos a una geometría planar) a nivel regional en donde dos juegos de fallas principales definen un graben simétrico en la fosa de Loncopué; b) soluciones de Euler que se alinean según estructuras NE en la zona de estudio marginando la zona sur de la cordillera de Mandolegüe. Las líneas blancas marcan la posición de las estructuras interpretadas a partir de la soluciones de Euler.

actividad volcánica histórica en el sector de retroarco. Se define así al área del Huecú como un sector de potencial peligrosidad volcánica, evidente actividad neotectónica y actividad sísmica relacionada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente la lectura crítica y las sugerencias recibidas en diversas etapas de este trabajo a los doctores Augusto Rapalini, Emilio González Díaz,

Tomas Zapata y Laura Giambiagi. Los trabajos de campo y gabinete fueron financiados con el PICT 14.144 de la ANPCYT.

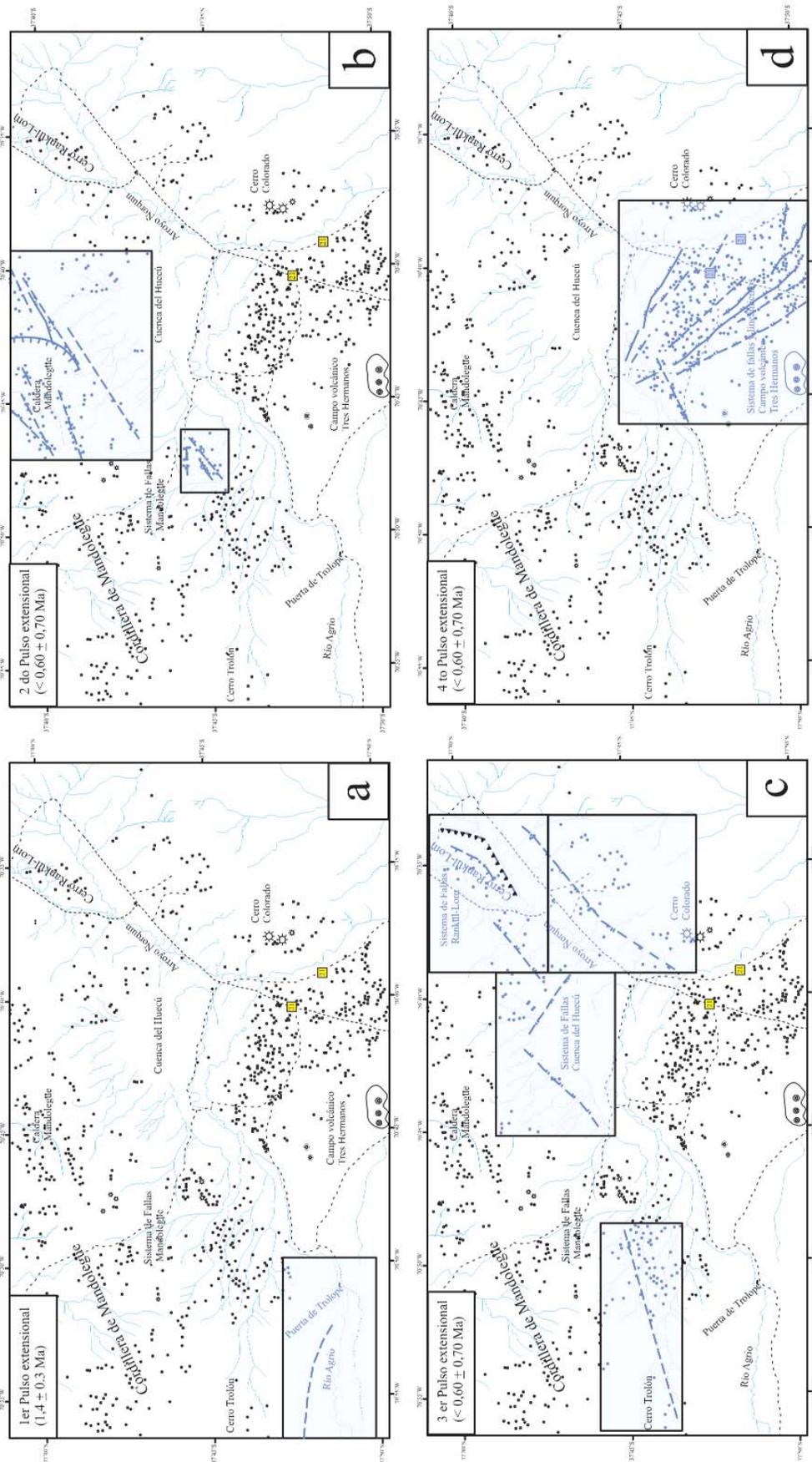


Figura 12: Evolución tectono-magmática de la cuenca del Hucú. a) Actividad tectónica de la ladera norte de la caldera del Agrio a los $1,4 \pm 0,3 \text{ Ma}$. b) Desarrollo del sistema de fallas y lineamientos de Mandolégüe hacia el Norte ($0,6 \pm 0,7 \text{ Ma}$). c) Extensión generalizada (sistemas de fallas y lineamientos Pampa del Norquín y Rankül-Lom) posterior a los $0,6 \pm 0,7 \text{ Ma}$ acompañada de una importante actividad magmática. d) Apertura del sistema de fallas y lineamientos Tres Hermanos al sur de la región.

Relleno de la Fosa de Loncopué

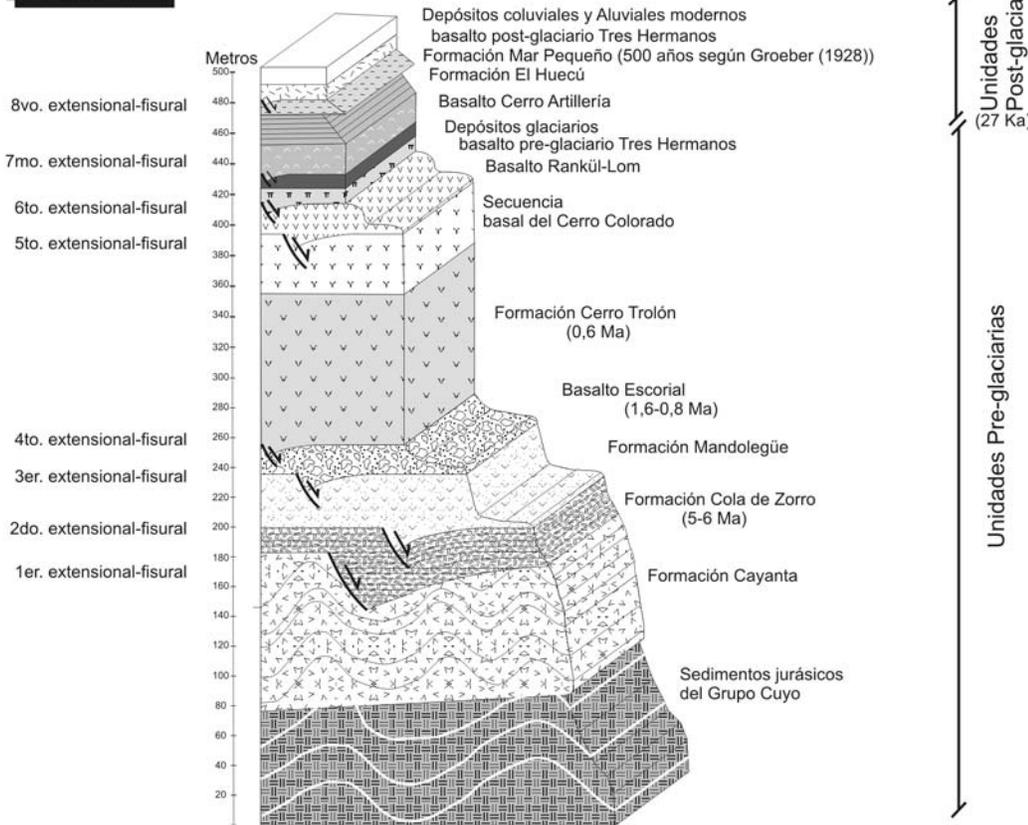


Figura 13: Relación entre la estructura desarrollada en la cuenca del Huecú y la efusión de los distintos pulsos volcánicos que rellenan la cuenca de Loncopué y su sedimentación asociada. Las edades radimétricas son de Linares *et al.* (1999) y la edad del último avance glaciario de Bermudez y Delpino (1999).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Barbosa, V.C. F., Silva, J.B.C. y Medeiros, W.E. 1999. Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution. *Geophysics* 64: 48-60

Barbosa, V.C.F., Silva, J.B.C. y Medeiros, W.E. 2000. Making Euler deconvolution applicable to small ground magnetic surveys. *Journal of Applied Geophysics* 43: 55-68.

Bermúdez, A. y Delpino, D. 1999. Erupciones subglaciares y en contacto con el hielo en la región volcánica de Copahue, Neuquén. 14º Congreso Geológico Argentino (Salta), Actas 2: 250-253, Buenos Aires.

Delpino, D., Bermúdez, A. y Deza, M. 1995. Mapa provincial de Neuquén 1:250.000. SEGEMAR. Buenos Aires.

Fairhead, J.D., Bennett, K.J., Gordon, D.R.H. y Huang, D. 1994. Euler: Beyond the "black box": 64th Annual International Meeting, Society Exploration Geophysics, Expanded Abstracts: 422-424.

Folguera, A. 2005. Tectónica de la Cuenca de Cura Mallín (36°30'-38°S). Repsol-YPF (Informe interno) 56 p, Buenos Aires.

Folguera, A. y Ramos, V.A. 2000. Control estructural del volcán Copahue (38°S-71°O): implicaciones tectónicas para el arco volcánico cuaternario (36°-39°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55(3): 229-244, Buenos Aires.

Folguera, A. y Ramos, V.A. 2007. Present-Andean arc to retroarc tectonic setting between 35° and 39°30'S. State of the Arc 2007 (Termas de Puyehue), Archivos electrónicos 2 p.

Folguera, A., Introcaso, A., Giménez, M., Ruiz, 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 (2007): 129-147.

Folguera, A., Ramos, V. A., González Díaz, E. y Hermanns, R. 2006. Miocene to Quaternary deformation of the Guañacos fold-and-thrust belt in the Neuquén between 37°S and 37°30'S, en Kay, S. M. and Ramos V. A., eds., Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén basin (35°-39°S lat): Geological Society of America Special paper 407, p. 274-266.

Folguera, A., Ramos, V.A., Hermanns, R.L. y Naranjo, J. 2004. Neotectonics in the foothills of the southernmost central Andes (37°-38°S): Evidence of strike-slip displacement along the Antiñir-Copahue fault zone. *Tectonics* 23, TC5008, 23 p.

Folguera, A., Ramos, V.A. y Melnick, D. 2003. Recurrencia en el desarrollo de cuencas de intraarco, Cordillera Neuquina (37°30'-38°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(1): 3-19, Buenos Aires.

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(4): 742-761, Buenos Aires.
- González Díaz, E. 2007. Geomorfología de la región del volcán Copahue y adyacencias orientales. SEGEMAR. Mapa geomorfológico (en prensa), Buenos Aires.
- González Díaz, E. 2005. Geomorfología de la región del volcán Copahue y sus adyacencias (centro-oeste del Neuquén). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(1): 72-87, Buenos Aires.
- González Díaz, E. 2003. El englazamiento en la región de Caviahue-Copahue: Su reinterpretación. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(3): 356-366, Buenos Aires.
- González-Ferrán, O. y Vergara, M. 1962. Reconocimiento Geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° Latitud Sur. Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicación 24, 119 p.
- Groeber, P. 1925. La región de Copahue y su glaciación diluvial. *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)* 1(3): 92-110, Buenos Aires.
- Groeber, P. 1927. Toponimia araucana. *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)* 2 (1926-1927): 3-195, Buenos Aires.
- Groeber, P. 1928. Traslado del vulcanismo de la falda oriental de la cordillera hacia la ladera occidental. *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)* 3(1): 210-218, Buenos Aires.
- Jordan, T., Burns, W., Veiga, R., Pángaro, F., Copeland, P., Kelley, S. y Mpodozis, C. 2001. Extension and basin formation in the southern Andes caused by increased convergence rate: A mid-Cenozoic trigger for the Andes. *Tectonics* 20 (3): 308-324.
- Kay, S. 2001. Tertiary to recent magmatism and tectonics of the Neuquén basin between 36° 05' and 38°S latitude. Repsol-YPF (informe interno), 77 p., Buenos Aires.
- Keating P. B. 1998. Weighted Euler deconvolution of gravity data. *Geophysics* 63: 1595-1603.
- Klingel'e, E.E., Marson, I. y Kahle, H.G. 1991. Automatic interpretation of gravity gradiometric data in two dimensions: Vertical gradient. *Geophysical Prospecting* 39: 407-434.
- Lavenu, A. y Cembrano, J. 1999. Compressional and tranpressional stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore arc and intra arc zones (Andes of Central and Southern Chile). *Journal of Structural Geology* 21: 1669-1691.
- Linares, E., Ostersa, H.A. y Mas, L. 1999. Cronología Potasio-Argón del complejo efusivo Copahue-Caviahue, Provincia de Neuquén: *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 240-247, Buenos Aires.
- Linares, E., y González, R. 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina 1957-1987. Asociación Geológica Argentina, Publicaciones Especiales Serie B, Didáctica y Complementaria 19 p., Buenos Aires.
- Marson, I., and Klingel'e, E.E., 1993. Advantages of using the vertical gradient of gravity for 3-D interpretation. *Geophysics* 58: 1588-1595.
- Melnick, D., Rosenau, M., Folguera, A., Ehtler, H. 2006. Neogene Tectonics of the Western flank of the Neuquén Andes, 37°-39°30'S. En Kay, S. M. y Ramos V. A. (eds.) *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén basin (35°-39°S lat)*, Geological Society of America, Special Paper 407: 73-95.
- Melnick, D., Folguera, A., Hechtler, H., Charlet, F., Buttner, O. y DeBatist, M. 2003. The Lago del Laja fold system: active intraarc orogenic collapse in the Southern Central Andes (37° 15'S). 10° Congreso Geológico de Chile, Archivos electrónicos, 10 p., Concepción.
- Melnick, D., Folguera, A., Rosenau, M., Ehtler, H. y Potent, S. 2002. Tectonics from the Northern segment of the Liquiñe-Ofqui fault system (37°-39°S), Patagonian Andes. 5° International Symposium of Andean Geodynamics, Expanded abstracts: 413-417, Toulouse.
- Mikhailov, V., Galdeano, A., Diament, M., Gvishiani, A., Agayan, S., Boboutdinov, S., Graeva, E. y Sailhac, P. 2003. Application of artificial intelligence for Euler solutions clustering. *Geophysics* 68: 168-180.
- Niemeyer, H. y Muñoz, J. 1983. Geología de la hoja 57 Laguna de la Laja, Región de Bío Bío. Servicio Nacional de Geología y Minería, escala 1:250,000, Santiago.
- Pardo Casas, F. y Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. *Tectonics* 6: 233-248.
- Pesce, A. H., 1989. Evolución volcánico-tectónica del Complejo Efusivo Copahue-Caviahue y su modelo térmico preliminar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54(1-4): 307-327, Buenos Aires.
- Radic, J., Rojas, L., Carpinelli, A. y Zurita, E. 2002. Evolución tectónica de la cuenca terciaria de Cura- Mallín, Región cordillerana chileno argentina (36°30'-39°00'S). 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 233-237, El Calafate.
- Ramos, V. A. 1977. Estructura de la Cuenca Neuquina. 7° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 98-118, Neuquén.
- Ramos, V.A., 1998. Estructura del sector occidental de la faja plegada y corrida del Agrio, cuenca Neuquina, Argentina: Buenos Aires, 10° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 105-110.
- Ramos, V. A. 1999. Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22(3): 183-190.
- Ramos, V. A. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En Veiga, G., Howell, A., Schwarz, E. y Spalletti, L. (eds.) *The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. The Geological Society, Special Publication 252: 15-35, London.
- Rapela, C. y Llambías, E. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 3: 485-488, Antofagasta.
- Reid, A.B. 1995. Euler deconvolution: Past, present and future: A review. 65° Annual International Meeting, Society Exploration Geophysics, Expanded Abstracts: 272-273.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. y Somerton, I.W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics* 55: 80-91.
- Rojas Vera, E., Folguera, A. y Ramos, V.A. 2008. Estratigrafía del sector central de la cuenca de Loncopué: El depocentro cuaternario del Huecú (sector occidental de la cuenca neuquina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* (este número).
- Rovere, E. 1998. Vulcanismo jurásico, paleógeno y neógeno en el noroeste del Neuquén, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geo-

- logía Económica, Actas: 144-149, Buenos Aires.
- Rovere, E. 2000. Hoja geológica Andacollo (3772-IV). Carta geológica de la Republica Argentina, escala 1:250.000, SEGEMAR, (mapa preliminar), Buenos Aires.
- SEGEMAR 2003. Mapa de anomalías magnéticas reducidas al polo. Hoja Andacollo escala 1:250.000, Buenos Aires.
- Silva J.B.C. y Barbosa V.C.F. 2003. 3D Euler deconvolution: Theoretical basis for automatically selecting good solutions. *Geophysics*, 68: 1962-1968.
- Silva, J.B.C., Barbosa, V.C.F. y Medeiros, W.E. 2001. Scattering, symmetry, and bias analysis of source position estimates in Euler deconvolution and its practical implications. *Geophysics* 66: 1149-1156.
- Somoza, R. 1998. Updated Nazca (Farallon)-South American relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 11: 211-215.
- Thompson, D.T. 1982. EULDPH-technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics* 47: 31-37.
- Vergani, G., Tankard, A., Belotti, H. y Welsnik, H. 1995. Tectonic Evolution and Paleogeography of the Neuquén basin. En Tankard, A., Suárez Sorucco, R. y Welsnik H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Vergara, M. y Muñoz, J. 1982. La Formación Cola de Zorro en la Alta Cordillera andina chilena (36°-39° Lat. S), sus características petrográficas y petrológicas: una revisión. *Revista Geológica de Chile* 17: 31-46.
- Vergara, M., López Escobar, L. y Hickey-Vargas, R. 1997. Geoquímica de las rocas volcánicas miocenas de la cuenca intermontana de Parral y Ñuble. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 1570-1573, Antofagasta.
- Wienieke, S. 2002. Homogenisierung und interpretation des Schwerefeldes entlang der Salt-Triangle zwischen 36°-42°S. Unpublished Diploma thesis, Freie Universität Berlin.
- 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. En Kay, S.M. y Ramos, V.A. (eds.) *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° lat)*, Geological Society of America, Special Paper 407: 61-72.
- Zapata, T. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andean Fold and Thrust Belt of the southern Neuquén Basin, Argentina. En Veiga, G., Howell, A., Schwarz, E. y Spalletti, L. (eds.) *The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. The Geological Society, Special Publication 252: 37-56.
- Zapata, T., Brissón, I. y Dzelalija, F. 1999. The role of basement in the Andean fold and thrust belt of the Neuquén Basin. En McClay, K. (ed.) *Thrust Tectonics Conference*, 122-124, London.

Recibido: 7 de abril, 2008

Aceptado: 2 de marzo, 2009