



## ANOMALÍAS MAGNÉTICAS EN LA CALDERA PIEDRA PARADA, PATAGONIA, ARGENTINA

Eugenio Aragón<sup>1,2</sup>, Lucio Pinotti<sup>8</sup>, Fernando Javier D'Eramo<sup>8</sup>, David Gómez-Ortiz<sup>5</sup>, Rosa Tejero<sup>6</sup>, José M<sup>a</sup>. Tubia<sup>7</sup>, Claudia Ernestina Cavarozzi<sup>1,2</sup>, Yolanda Emilia Aguilera<sup>2,3</sup>, Alejandro Mario Ribot<sup>2,4</sup>, Julio Gianibelli<sup>9</sup> y Carlos Jorge Chernicoff<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET). 1 N° 644. (1900) La Plata, Buenos Aires. Argentina. [earagon@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:earagon@cig.museo.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). 122 y 60, s/n. (1900), La Plata, Buenos Aires. Argentina.

<sup>3</sup> Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias (M.O.S.P.). 58 e/ 7 y 8, piso 2. 1900, La Plata, Buenos Aires.

<sup>4</sup> LEMIT CIC, 52 entre 121 y 122, 1900, La Plata, Buenos Aires.

<sup>5</sup> Área de Geología, Dpto. de Biología y Geología, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán s/n, 28933 Móstoles (Madrid,) España. [david.gomez@urjc.es](mailto:david.gomez@urjc.es)

<sup>6</sup> Departamento Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. C/José Antonio Novais s/n, 28040 Madrid, España. [rosatej@geo.ucm.es](mailto:rosatej@geo.ucm.es)

<sup>7</sup> Departamento de Geodinámica. Universidad del País Vasco, 48080 Bilbao, España. [jm.tubia@ehu.es](mailto:jm.tubia@ehu.es)

<sup>8</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, (UNRC-CONICET), Ruta 36 km 601. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

<sup>9</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas, Universidad Nacional de la Plata

<sup>10</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas, Servicio Geológico-Minero Argentino.

**Resumen:** La caldera de Piedra Parada constituye el principal edificio volcánico del Complejo Volcánico-Piroclástico del curso medio del río Chubut, situado en la provincia argentina de Chubut. Los materiales intracaldera están constituidos por coladas riolíticas, sills andesíticos, domos riolíticos y tobas de composición riolítica. Con objeto de investigar la estructura de la caldera, se han obtenido tanto datos magnéticos terrestres como aeromagnéticos. Los mapas magnéticos muestran que la caldera se encuentra definida por una anomalía magnética de forma circular interrumpida en su parte occidental por varias discontinuidades de dirección NNE-SSO a NE-SO. Los modelos magnéticos llevados a cabo sugieren que la base de la caldera está constituida por materiales de alta susceptibilidad magnética, mientras que el relleno de la misma viene definido por materiales de baja susceptibilidad. Tanto los materiales de la base de la caldera como del relleno afloran como cuerpos adyacentes limitados por planos subverticales, lo que parece indicar la existencia de un proceso de fragmentación y movimientos verticales diferenciales de la caldera.

**Palabras clave:** caldera, anomalías magnéticas, Patagonia

**Abstract:** The Piedra Parada Caldera is the main volcanic building of the Complejo Volcánico-Piroclástico of Chubut Medio river. Intracaldera materials consist of rhyolite flows, andesites, rhyolitic glass domes and rhyolitic tuffs. Aeromagnetic and magnetic data have been collected in order to investigate the caldera's structure. Magnetic maps show that the caldera results in a circular magnetic anomaly. Several NNE-SSW to NE-SW trending discontinuities disrupt the anomalies in the western part. Magnetic models suggest that the caldera consists of a high susceptibility floor and a low susceptibility infill cap. Floor and infill materials crop out as adjacent bodies bounded by vertical planes. This fact points out the fragmentation and differential vertical motions of the caldera.

**Key words:** caldera, magnetic anomalies, Patagonia

Aragón, E., Pinotti, L., D'Eramo, F., Gómez-Ortiz, D., Tejero, R., Tubia, J.M<sup>a</sup>., Cavarozzi, C.E., Aguilera, Y.E., Ribot, A., Gianibelli, J. y Chernicoff, C.J. (2009): Anomalías magnéticas en la caldera Piedra Parada, Patagonia, Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22 (3-4): 137-144



La Caldera de Piedra Parada es el edificio volcánico más importante del Complejo Volcánico-Piroclástico del curso medio del río Chubut. Se trata de una caldera de colapso (*collapse trap door caldera*) de 25 km de ancho y de edad Paleoceno (Aragón y Mazzoni, 1997). Durante el colapso de la caldera se produjo la extrusión de más de 200 km<sup>3</sup> de ignimbritas riolíticas conocidas como la Formación Ignimbrita Barda Colorada, de 57 Ma de edad. La caldera está rellena con depósitos piroclásticos e intercalaciones de domos de vidrio, sills andesíticos (*andesite funnel sills*), flujos de basaltos toleíticos y alcalinos (Aragón *et al.*, 2001, 2004a, 2004b, 2005). En este trabajo se ha investigado la estructura de la caldera mediante el análisis e interpretación de las anomalías del campo magnético. Para ello se han elaborado distintos mapas magnéticos y se ha realizado una modelización.

**Contexto Geológico**

El volcanismo bimodal de edad paleógena del Complejo Volcánico-piroclástico del Río Chubut está constituido por series calcoalcalinas, alcalinas y toleíticas. Las series calcoalcalinas son las más abundantes y extendidas en el *plateau* ignimbrítico (Aragón y Romero, 1984; Aragón y Mazzoni, 1997), en los domos intracaldera (Aragón *et al.*, 2004a) y en

los sills andesíticos (Aragón *et al.*, 2001), seguidas por los afloramientos de basaltos alcalinos (Aragón *et al.*, 2005) y en menor cantidad por las lavas toleíticas-andesíticas (transicional) pertenecientes a la Formación de Andesitas de Estrechura (Aragón *et al.*, 2004b). El Complejo Volcánico-piroclástico del Río Chubut descansa mediante una discordancia erosiva sobre sedimentos subhorizontales correspondientes a ambientes litorales transicionales a marinos poco profundos (de un mar epicontinental) que culminan con sedimentos continentales cuyas edades van del Cretácico superior al Paleoceno inferior (Spalletti, 1996) y que constituyen las Formaciones Paso del Sapo y Lefipan, que en esta región llegan a superar los 1000 metros de espesor. Esta secuencia sedimentaria, descansa a su vez mediante una discordancia erosiva sobre una penillanura labrada sobre las vulcanitas andesítico-traquíticas de la Formación Alvar de edad Jurásico medio (Aragón *et al.*, 2003). La figura 1 muestra la distribución de las litologías que componen el complejo volcánico-piroclástico del Río Chubut.

Algunos de los elementos estructurales y morfológicos que caracterizan una caldera (Lipman, 1997) están presentes en la de Piedra Parada. La erosión del relleno intracaldera ha expuesto la topografía de su fondo (ignimbritas, Fig. 2) en fosas de

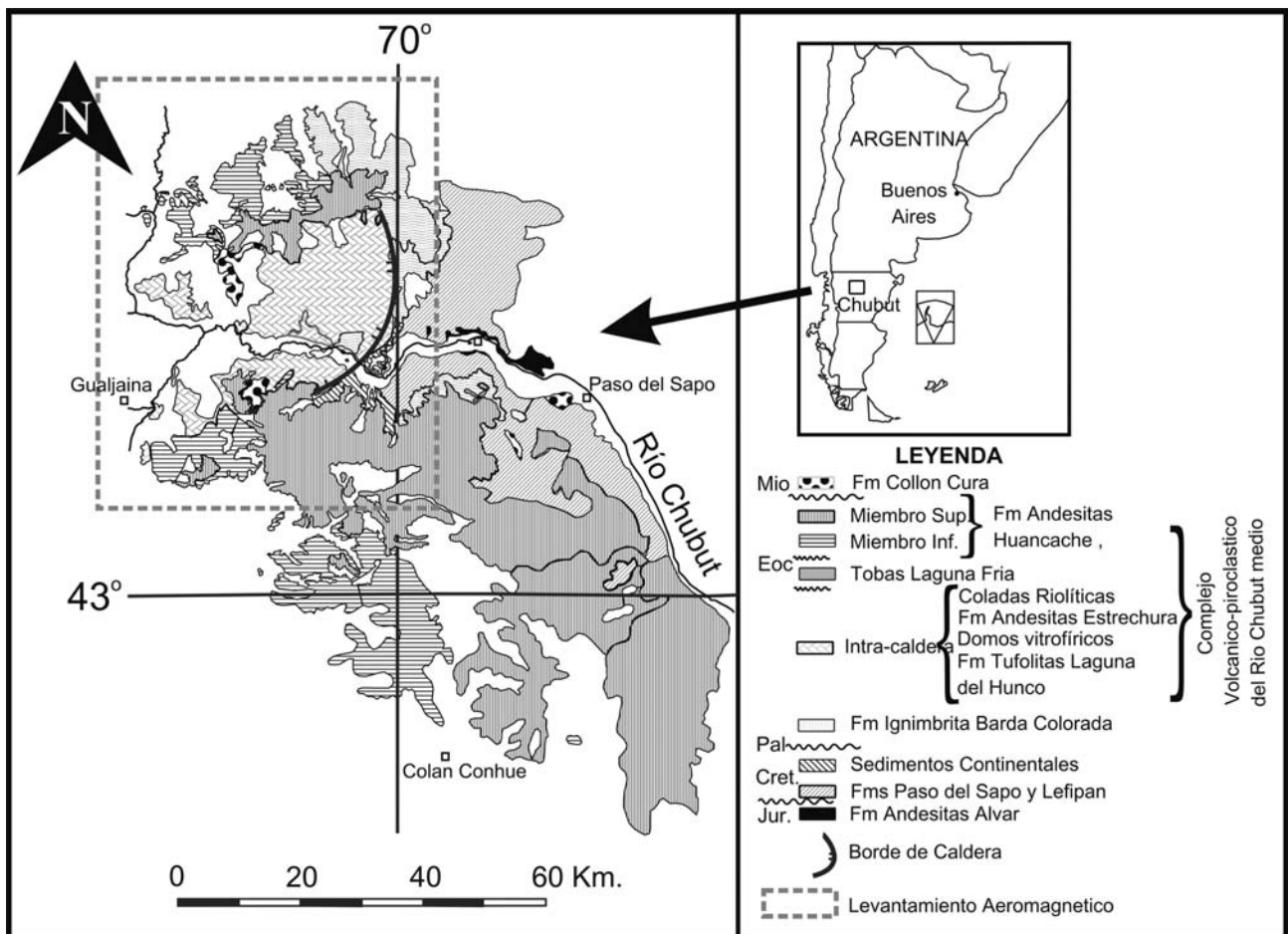


Figura 1.- Localización y geología del Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut medio y de la Caldera Piedra Parada.



**Figura 2.-** Afloramiento de la ignimbrita Barda Colorada en el cañadón La Buitrera.

caldera (*the calderas moat*) limitadas por fallas que han facilitado el ascenso de domos riolíticos tardíos (Fig. 3). No quedan señales de que existiera un borde topográfico, ni una pared interior o un anillo de colapso. Las observaciones de campo muestran que la caldera de Piedra Parada se ha comportado fundamentalmente como de colapso tipo *trap door* (Lipman, 1997). En función del estilo de la erupción y de la composición magmática de Willams y Mc Birney (1979), la caldera de Piedra Parada puede considerarse del tipo *Valles*, ya que los desplomes tienen lugar a lo largo de fracturas anulares, independientemente de los volcanes preexistentes y como consecuencia de descargas de un volumen enorme de pumita silícea (mas de 200 km<sup>3</sup>).

Esta caldera riolítica contiene también volcanismo toleítico y alcalino. La resurgencia post-caldera se observa en su parte central. Según el modelo de Smith y Bailey (1968) no hay evidencias de tumescencia regional. Las erupciones que crean la caldera construyeron un gran *plateau* de ignimbritas externo, alcanzando potencias locales de 100 m, formadas por una unidad basal dacítica y una unidad superior donde hay varias unidades de enfriamiento diferentes. El colapso de la caldera tiene lugar a lo largo de paredes de alta pendiente y sub-verticales. El volcanismo pre-

resurgencia y la sedimentación no son fácilmente observables pero hay afloramientos de flujos hialoclásticos y, en la parte superior, flujos con *pillows* intercalados con sedimentos lagunares. El abombamiento debido a la resurgencia es central y no muestra *rifting* (o está cubierto por rocas volcánicas). El volcanismo asociado a la fractura del anillo principal se encuentra restringido a las fracturas anulares de la fosa y está formado por intrusiones andesíticas (*andesitic funnel intrusions*), domos riolíticos vítreos y riolitas foliadas intercaladas con sedimentos lagunares o sobre ellos (tufitas). Las fracturas radiales están bien desarrolladas.

### Metodología

Se han utilizado dos tipos de datos: datos aeromagnéticos y datos recogidos a lo largo de varios perfiles terrestres (Fig. 4). Los datos aeromagnéticos, pertenecientes al SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino), están medidos a lo largo de perfiles de orientación norte-sur realizados a 100 m de altitud, con un espaciado de 1.000 m y con líneas de control de orientación este-oeste espaciadas cada 7.500 m; el intervalo de muestreo del magnetómetro de vapor de cesio utilizado es de 0,1 segundos (equivalente a





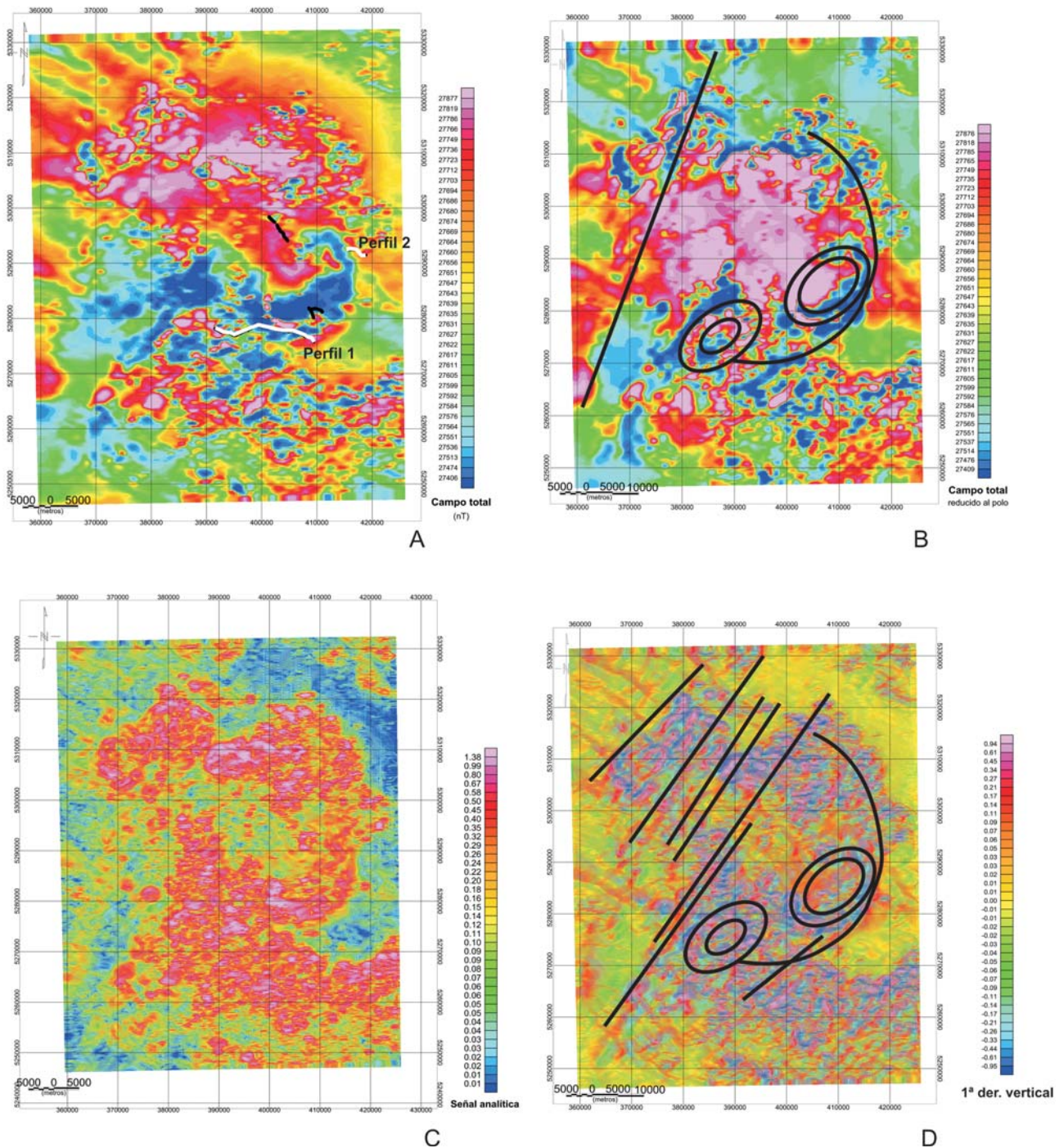
**Figura 3.-** Los domos del borde de la caldera vistos desde el interior de la misma. Estos domos al coalescer forman un verdadero dique. Las rocas blanquecinas corresponden a Tufolitas Laguna del Hunco.

aproximadamente 8 m a lo largo de las líneas de vuelo) y el posicionamiento de las lecturas está obtenido con GPS diferencial (otros detalles de la adquisición, como así también las rutinas del procesamiento, son idénticos a los descritos por Chernicoff (2001). En la obtención de los datos a lo largo de perfiles se utilizó un magnetómetro/gradiómetro Advanced magnetometers GSM-19 con un espaciado medio de 50 m. Los datos de dos de estos perfiles han sido utilizados para la elaboración de dos modelos magnéticos detallados en la zona meridional de la caldera.

Por otra parte se midió la susceptibilidad magnética de materiales correspondientes a diversas unidades geológicas. La medición se realizó en afloramiento con un susceptibilímetro Magnetic Susceptibility Meter MS2 de la marca Bartington. Para cada estación, se midieron los valores que se presentan en la tabla I.

A partir de los datos aeromagnéticos digitales de alta resolución, y con el objetivo de obtener una mayor información del campo magnético, se han elaborado distintos mapas de anomalías magnéticas. Además de los mapas de campo total y campo reducido al polo, se han calculado los mapas de señal analítica y de la 1ª derivada del campo reducido al

polo (Fig. 4). Todos ellos han sido elaborados mediante el software Oasis Montaj de Geosoft. El proceso de reducción al polo produce un ajuste en la configuración de las anomalías magnéticas, al modificar la inclinación magnética local, de aproximadamente  $42^\circ$  S en este caso a  $90^\circ$  S (la inclinación magnética del polo sur), de modo que las anomalías magnéticas coincidan con los cambios litológicos y estructuras que las originan. El mapa de señal analítica (o de gradiente total) (Roest *et al.*, 1992) corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las derivadas del campo magnético total en las direcciones  $x$ ,  $y$  y  $z$ . La señal analítica es útil para delimitar los límites de los cuerpos que originan las anomalías magnéticas, en especial cuando el magnetismo remanente o la baja latitud magnética complican la interpretación. Por su parte, el mapa de la primera derivada vertical (o gradiente vertical) de la intensidad del campo magnético total reducida al polo resalta las unidades geológicas someras con respecto a las más profundas y produce un realce de los rasgos estructurales. Con objeto de investigar la estructura con más detalle se han realizado modelos magnéticos en 2+1/2D mediante el software GM-SYS v. 7.1.1 de Geosoft.



**Figura 4.** Mapas magnéticos de la caldera de Piedra Parada. A) Campo magnético total y situación de los perfiles magnéticos. B) Mapa del campo magnético total reducido al polo. C) Mapa de señal analítica. D) 1ª derivada vertical del campo reducido al polo. En los mapas B y D se han indicado las estructuras magnéticas más significativas.

### La estructura de la Caldera de Piedra Parada deducida a partir de los mapas de anomalías magnéticas

El mapa de anomalías magnéticas correspondiente al campo total (Fig. 4a) muestra la existencia de una anomalía dipolar, relacionada con la caldera, cuyo eje tiene una orientación NNE-SSO. Los valores positivos se sitúan en el norte y la diferencia entre el máximo y el mínimo es de 500 nT. En la zona occidental la anomalía está interrumpida por una alineación NNE-SSO al oeste

de la cual predominan anomalías de pequeña longitud de onda orientadas NO-SE.

La presencia de una anomalía circular asociada a la caldera queda patente por el máximo que delimita el borde de la caldera en el mapa del campo magnético reducido al polo (Fig. 4b). La base de la caldera está formada por numerosas capas de ignimbritas que constituyen en conjunto una unidad de enfriamiento y que tienen valores altos de la susceptibilidad magnética (Tabla I). Estas ignimbritas son responsables de la respuesta magnética intensa de la caldera. La anomalía



Litología	Número de muestras	Susceptibilidad SI
Andesitas	60	0.1-0.13
Ignimbritas	29	0.0025-0.1
Riolitas	4	0.03
Vitrófiros	9	0.035
Domo dacítico	3	0.02
Sedimentos precaldera	9	0.0001-0.08
Tufolitas	21	0.006

**Tabla I.-** Valores de susceptibilidad magnética de las litologías más representativas de la zona de estudio.

magnética negativa coincidente con el borde de la caldera es debida a las rocas que forman los domos riolíticos, cuya susceptibilidad magnética es baja. Estos domos se emplazan con posterioridad a la etapa de resurgencia de la caldera. La integración de los datos de campo con los datos aeromagnéticos ha permitido dibujar dos de estas estructuras dómicas en la zona meridional de la caldera (Fig. 4b). El relleno de la caldera, representado por los afloramientos de tufolitas presenta una respuesta magnética más débil que la base de la caldera. Las anomalías magnéticas de pequeña longitud de onda pueden estar relacionadas con complejos de diques de distintas composiciones.

En los mapas de campo magnético total y campo magnético reducido al polo se observa la presencia de alineaciones NNE-SSO y NE-SO que afectan a las anomalías de mayor longitud de onda (Fig. 4b). Los mapas de señal analítica (Fig. 4c) y de 1ª derivada del campo magnético reducido al polo (Fig. 4d) han facilitado el análisis de estas alineaciones, siendo evidente en ambos su importancia. Sobre el mapa de la 1ª derivada vertical (Fig. 4d) se han dibujado las alineaciones más importantes. Forman un conjunto NE-SO bien visible en la zona NO. Estas alineaciones sugieren la existencia de fracturas NE-SO que fragmentan la base de la caldera.

Los datos de susceptibilidad magnética obtenidos en el campo, si bien involucran rangos con una cierta superposición, muestran la distinta respuesta magnética de las diversas unidades, destacándose los altos valores de susceptibilidad en las andesitas y basaltos. También existen valores altos en las unidades ignimbriticas aunque su fluctuación es mayor. Las tufitas son las rocas que presentan, en general, los valores más bajos.

### Interpretación de la modelización magnética

Se han modelizado dos de los perfiles sobre los que se han tomado medidas en el terreno (Fig. 5). Los perfiles de anomalías magnéticas muestran la superposición de anomalías de longitud de onda grande y pequeña. Las primeras se han modelizado como cuerpos de extensión kilométrica yacientes sobre un

cuerpo de susceptibilidad elevada correspondiente a la base de la caldera (cuerpo 7 en el modelo 1 y cuerpo 9 en el modelo 2). Las anomalías de pequeña longitud de onda se han ajustado considerando la existencia de cuerpos prismáticos con susceptibilidades bajas o altas dependiendo del carácter de la anomalía.

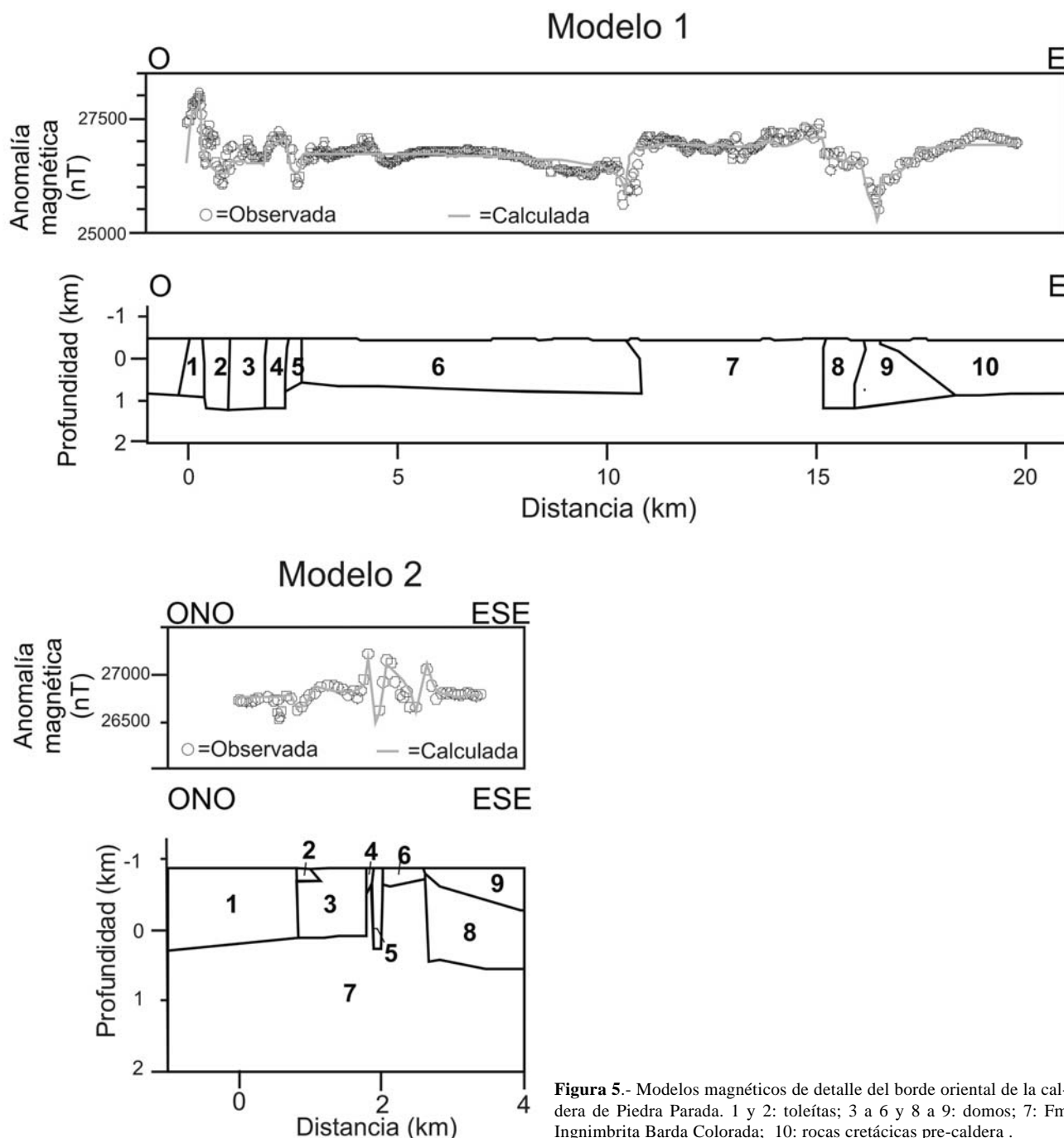
En el modelo 1, de 20 km de longitud, las anomalías de pequeña longitud de onda y alta amplitud probablemente representan zonas con abundantes diques, por lo que se han resuelto introduciendo cuerpos prismáticos con diferentes susceptibilidades (Tabla I). El resto del perfil está caracterizado por cuerpos de gran extensión con susceptibilidades menores que el material infrayacente. Se han interpretado como el relleno de la caldera, formado por tufolitas. Aunque no se han tenido en cuenta en la modelización, la presencia en los datos magnéticos de longitudes de onda muy pequeñas también sugiere la presencia de complejos de diques en esta zona. Los límites entre los diferentes cuerpos corresponden a planos verticales, propios de fallas que fragmentan la caldera. En algunos casos, el movimiento de estas fallas ha sido lo suficientemente importante como para hacer aflorar la base de la caldera, lo que explica la exhumación de materiales de alta susceptibilidad en la parte central del perfil representado por el modelo 1 (Fig. 5). En el extremo oriental aparece un cuerpo de alta susceptibilidad (cuerpo 10) que en el campo está relacionado con las rocas cretácicas pre-volcanismo. La respuesta magnética medida sobre el cuerpo 10 es algo elevada debido a la influencia de la prolongación de la cámara magmática por debajo de dicha unidad.

En el modelo 2, de 3,5 km de longitud, las longitudes de onda son más cortas aunque también se superponen anomalías de distinta longitud de onda. La geometría es muy similar a la del modelo anterior. Sobre un cuerpo inferior caracterizado por una alta susceptibilidad se han introducido una serie de cuerpos de susceptibilidades más bajas que corresponden respectivamente a la base y relleno de la caldera. Los límites entre los cuerpos representan planos de alto buzamiento a subverticales y están relacionados con las fracturas que estructuran la caldera.

En ambos modelos, los domos (cuerpos 3 a 6 y 8 a 9) cortan al cuerpo 7 mediante un sistema de diques alimentadores en su base que, debido a que no producen una respuesta magnética apreciable, no se han representado en los modelos para no complicarlos en exceso.

### Discusión y conclusiones

Las anomalías magnéticas de la región estudiada están claramente relacionadas con la caldera de Piedra Parada y reflejan su geometría y estructura. Las anomalías correspondientes a los campos total y reducido al polo muestran una anomalía positiva circular con dimensiones comparables a las de la caldera, rodeada de anomalías negativas que marcan



el borde de la caldera. Esta anomalía positiva está interrumpida por alineaciones NNE-SSO y NE-SO asociadas a fracturas intracaldera. Además se pueden diferenciar estructuras anulares en el interior de la caldera (Fig. 4). La estructura interna y distribución de unidades inferidas a partir del modelo es similar a las obtenidas en los modelos experimentales realizados por Kennedy *et al.* (2004) y Acocella *et al.* (2007). La modelización de dos perfiles ha puesto en evidencia la existencia de un piso de caldera formado por materiales de alta susceptibilidad. Se trata de ignimbritas bien expuestas en el interior de la caldera. Sobre ellas se disponen materiales de menor susceptibilidad, constituidos por las tufolitas del relleno de la caldera. Además, en estas rocas se

encuentran complejos de diques, en general subverticales.

La existencia de fracturas es patente en los mapas de anomalías magnéticas y en los modelos, lo que indica una disrupción con colapso tipo *piecemeal* y una sucesión de eventos de calderas anidadas. Este tipo de colapso caracteriza a las calderas formadas por muchos bloques en el piso y/o por múltiples centros de colapso (Lipman, 1997, 2000). Los resultados obtenidos en los modelos son similares a los descritos por Palacio *et al.* (2005) para calderas asociadas al vulcanismo mioceno del Distrito Minero Farallón Negro, Catamarca, Argentina. Este mecanismo de subsidencia puede tener diferentes orígenes, como por ejemplo calderas anidadas o la superposición de varias calderas (Tucker *et al.*, 2007).

Esta interpretación preliminar de los datos magnéticos ha de ser ampliada con la realización de modelos magnéticos que se extiendan por toda la caldera.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto CONICET (PIP 5211-PIP 5080) 'Petrogénesis y metalogénesis del ciclo volcánico Terciario en el río Chubut medio (Piedra Parada y Gualjaina) provincia de Chubut'. Los autores desean agradecer al revisor Reinaldo Sáez y a un revisor anónimo las valiosas sugerencias para mejorar este trabajo.

### Referencias

- Acocella, V. (2007): Understanding caldera structure and development: an overview of analogue models compared to natural calderas. *Earth Science Reviews*, 85 (3-4): 25-160.
- Aragón, E. y Romero, E.J. (1984): Geología paleoambientes y paleobotánica de yacimientos terciarios del occidente de Río Negro, Neuquén y Chubut. *IX Congreso Geológico Argentino*, S.C. de Bariloche, Actas IV: 475-507.
- Aragón, E. y Mazzoni, M.M. (1997): Geología y Estratigrafía del Complejo volcánico-piroclástico del Río Chubut medio (Eoceno). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52 (3): 243-256.
- Aragón, E., Aguilera, Y.E., González, P., Gómez Peral, L. y Cavarozzi, C.E. (2001): El Intrusivo Florentina del Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut medio: un ejemplo de Etmolito o Embudo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (2): 161-172.
- Aragón, E., Gonzalez, P., Aguilera, Y., Cavarozzi, C., Llambías, E., y Rivalenti, G., (2003). Thermal Divide Andesites-trachytes, petrologic evidences and implications from North Patagonian Massif alkaline Jurassic volcanism. *Journal for South American Earth Sciences*, 16 (3): 91-103.
- Aragón, E., González, P., Aguilera, Y.E., Marquetti, C., Cavarozzi, C.E. y Ribot, A. (2004a): El domo vitrofírico Escuela Piedra Parada del Complejo volcánico piroclástico del río Chubut Medio. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (4): 634-642.
- Aragón, E., Aguilera, Y.E., Consoli, V., Cavarozzi, C.E. y Ribot, A. (2004b): Las Andesitas Estrechura del Complejo Volcánico Piroclástico del Río Chubut medio (Paleoceno-Eoceno medio). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (4): 619-633.
- Aragón, E., Cavarozzi, C.E., Aguilera, Y.E. y Ribot, A. (2005): Basaltos alcalinos en el Complejo Volcánico piroclástico del río Chubut medio. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 485-486.
- Chernicoff, C.J. (2001): Interpretación geofísico-geológica del levantamiento aeromagnético de la región noroccidental de la Provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56(3): 268-280.
- Kennedy, B., Stix, J., Vallance, J., Lavallée, Y., Longpré, M., (2004): Control on caldera structure: Results from analogue sandbox modeling. *Geological Society of America Bulletin*, 116 (5-6): 515-524.
- Lipman, P.W. (1997): Subsidence of ash-flow calderas: relation to caldera size and magma chamber geometry. *Bulletin of Volcanology*, 59(3): 198-218.
- Lipman, P.W. (2000): Calderas. En: *Encyclopedia of Volcanoes* (H. Sigurdsson *et al.* eds.). Academic Press, San Francisco, 643-662.
- Palacio, M. B., Chernicoff, C. J. y Godeas, M. C. (2005): La estructura caldérica Vis Vis asociada al vulcanismo mioceno del distrito minero Farallón Negro, provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(3): 609-612.
- Roest, W.E., Verhoef, J. y Pilkington, M., (1992): Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57: 116-125.
- Smith, R.L. y Bailey, R.A. (1968): Resurgent Cauldrons. *Geological Society of America Memories*, 116: 613-622.
- Spalletti, L.A., (1996): Estuarine and shallow-marine sedimentation in the Upper Cretaceous-Lower Tertiary west central Patagonian Basin (Argentina). En de Batist M. Jacobs P (eds) *Geology of siliciclastic shelf seas*. Geol. Soc. Spec. Publ. London 117: 81-93.
- Tucker, D. S., Hildreth, W., Ullrich, T., Friedman, R., (2007), Geology and complex collapse mechanisms of the 3.72 Ma Hannegan Caldera, North Cascades, Washington, USA. *Geological Society of America Bulletin*, 119 (3-4): 329-342.
- Willams, H. y Mc Birney, A.R. (1979): *Volcanology*. Freeman, Cooper and Co. San Francisco, California, 397 p.

Manuscrito recibido el 8 de abril de 2009

Aceptado el manuscrito revisado el 9 de noviembre de 2009

