

## ESTIMACION DE PROFUNDIDADES DEL COMPLEJO PLUTONICO NAVARRETE MEDIANTE PROCESAMIENTO GRAVIMETRICO

*Flavia A. Croce*<sup>1</sup>; *Federico Lince Klingerer*<sup>2</sup>; *Mario E. Giménez*<sup>1</sup>; *M. Patricia Martínez*<sup>1</sup>; *Francisco Ruiz*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CONICET. Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Volponi. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. E-mail: [flacroce@gmail.com](mailto:flacroce@gmail.com)

<sup>2</sup> ANPCYT. Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Volponi. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. E-mail: [flklinger@hotmail.com](mailto:flklinger@hotmail.com)

<sup>3</sup> Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Volponi. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. E-mail: [fruiuz@unsj-cuim.edu.ar](mailto:fruiuz@unsj-cuim.edu.ar)

### RESUMEN

Se presenta el estudio gravimétrico en la región noreste del macizo de Somuncurá provincia de Río Negro con el objetivo de modelar la geometría y estimar las máximas profundidades del Complejo Plutónico Navarrete, emplazado en corteza superior. A la carta de anomalías de Bouguer se la filtró con el objeto de separar dichas anomalías en *anomalía regional* (que responde a características corticales profundas) y *anomalía residual* (la cual contiene efectos de masas locales y cercanas a la superficie). Para ello se optó por el método de prolongación ascendente de campos potenciales, ya que en un estudio cualitativo fue el más apropiado para la resolución de dicho problema en particular. El afloramiento oeste del Complejo Plutónico Navarrete muestra un valor positivo de anomalía de gravedad de +5 mGal. Por el contrario el afloramiento este de dicho granito, presenta valores negativos entre -5 y -10 mGal. A partir del espectro de frecuencia radial aplicado a la carta de anomalías residuales de Bouguer, se estimaron las máximas profundidades de los afloramientos este y oeste del complejo intrusivo Navarrete, con valores de 8 km y de 6,5 km respectivamente.

**Palabras claves:** Gravimetría, Somuncurá, Granitos, Estructuras, Profundidades.

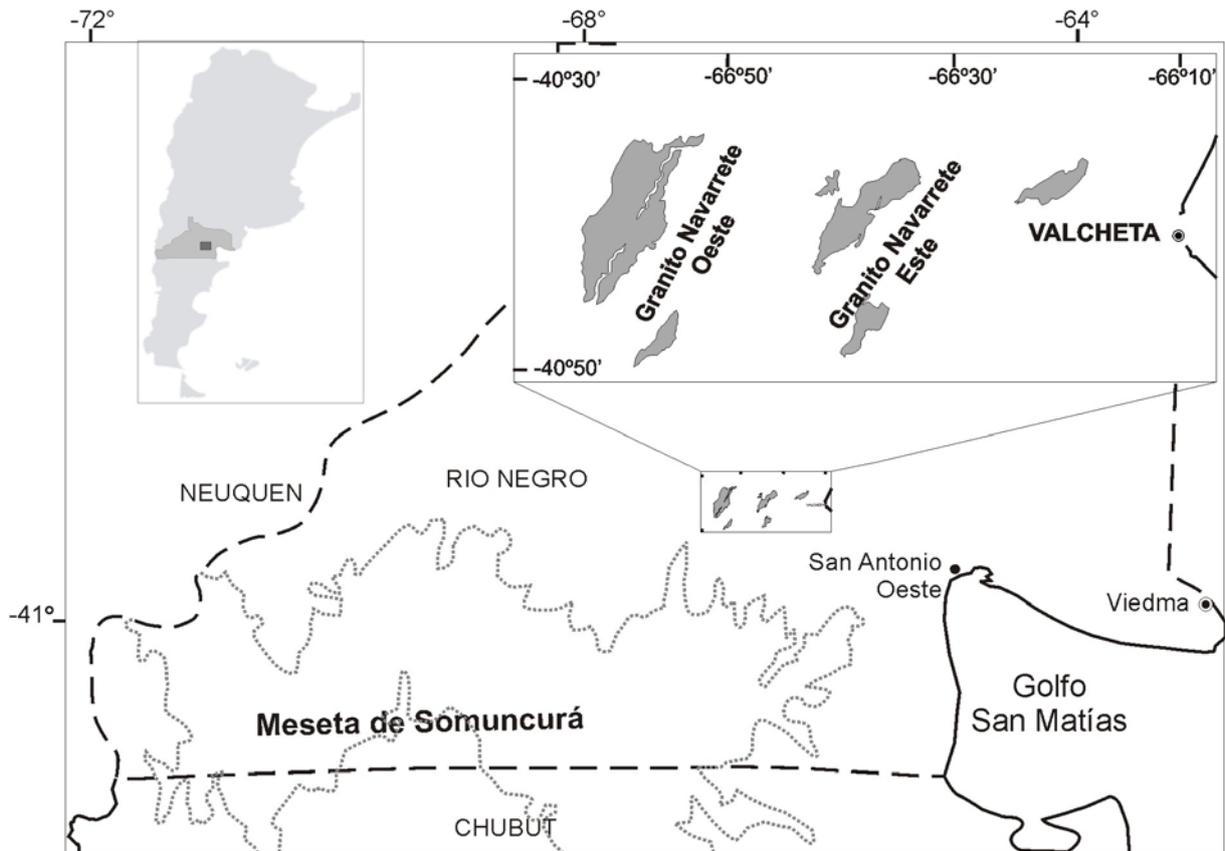
### ABSTRACT

A gravimetric study is presented in the northeast region of the Somuncurá massif, with the objective of analyzing the geometry and maximum depths of the Navarrete Plutonic Complex, located in the upper crust. A Bouguer anomaly map was filtered in order to separating these anomalies in *regional anomaly* (which should contain the effects of deep crustal features) and *residual anomaly* (which should contain the effects of local and near surface masses). The process used was the upward continuation method of the potential field. As a result, the west Navarrete granite formation shows a positive value of +5 mGal for gravity anomalies. On the contrary, the east Navarrete granite formation presents negative values between -5 and -10 mGal. A two dimensional power spectrum was applied to the Bouguer residual anomaly to estimate the igneous bodies' maximum depths, with 8 km depth for east Navarrete granite and 6.5 km for west Navarrete granite.

**Keywords:** Gravimetry, Somuncurá, Granites, Structures, Depths.

### INTRODUCCIÓN

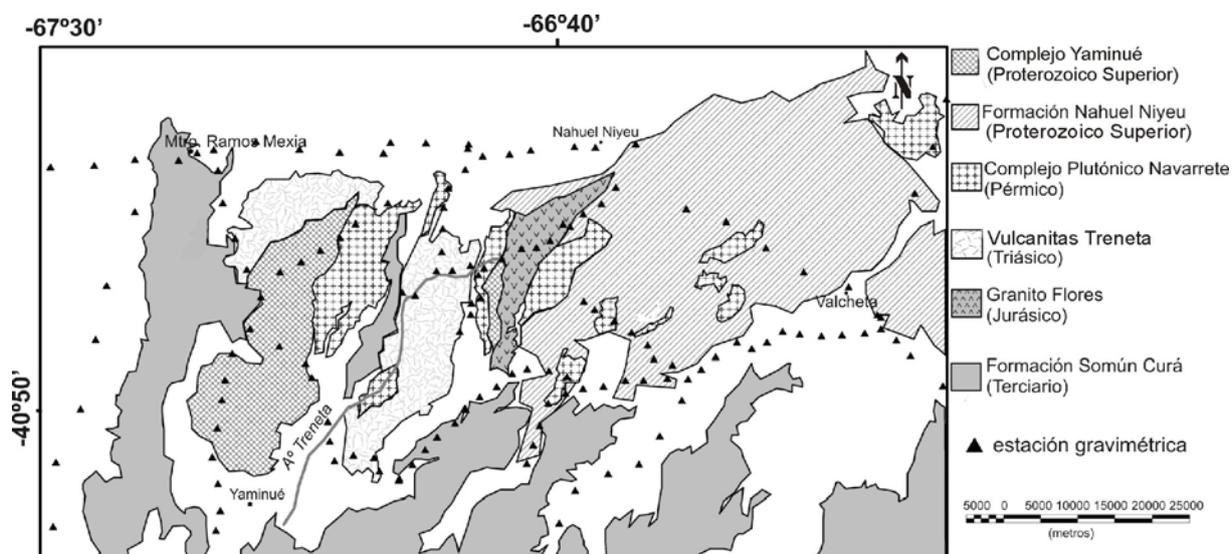
En este trabajo se presenta el estudio gravimétrico del Complejo Plutónico Navarrete, ubicado al noreste del macizo de Somuncurá, en las cercanías de la localidad de Valcheta, provincia de Río Negro (Fig. 1). El objetivo consiste en inferir la continuidad en profundidad de diversos afloramientos de rocas graníticas de edad gondwánicas, asociadas al Complejo Plutónico Navarrete.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio.

Las rocas ígneas gondwánicas aflorantes en el área de estudio componen dos asociaciones principales, el Complejo Plutónico Navarrete y el Complejo Plutónico-Volcánico Treneta (Camino, 1983; Rapela y Llambías, 1984; Pankhurst *et al.*, 1999). Se encuentran emplazados en un basamento metamórfico de bajo grado y probablemente de edad cámbrica, la Formación Nahuel Niyeu (Pankhurst *et al.*, 2006) y el Complejo Yaminué (Camino, 1983; Basei *et al.*, 2002), asignado con dudas al Carbonífero Tardío.

La Formación Nahuel Niyeu es una secuencia metasedimentaria compuesta por metagrauvascas, lutitas pizarreñas y filitas. El Complejo Yaminué está formado principalmente por gneises y granitoides foliados. Las Vulcanitas Treneta, de edad Triásica, descansan sobre la Granodiorita Navarrete en un plano de discordancia erosiva. El Granito flores, el más joven de las unidades plutónicas, está integrado por un conjunto de cuerpos intrusivos de dimensiones moderadas a pequeñas. Sus principales componentes son granitos masivos, de color rosado pálido, pobres en minerales máficos. La fase final del proceso plutónico está representada por un conjunto de diques de pórfidos graníticos y riolíticos. Los cuerpos que componen esta unidad intruyen al basamento metamórfico, a la Granodiorita Pietro y a las Vulcanitas Treneta (Pankhurst *et al.*, 1999). La Figura 2 muestra el mapa geológico correspondiente a la zona noreste del macizo de Somuncurá, en el mismo se observa la distribución de los puntos en los que se efectuaron mediciones de gravedad y los afloramientos graníticos correspondientes al Complejo Plutónico Navarrete.



**Figura 2.** Mapa geológico del sector noreste del macizo de Somuncurá. Los triángulos corresponden a las estaciones gravimétricas.

## METODOLOGÍA

Se relevaron 144 puntos gravimétricos en la región noreste del macizo de Somuncurá, partiendo de la localidad de Valcheta y desde allí hacia Pomona, Nahuel Niyeu, Corral Chico, Rincón de Treneta, Camino Alfaro y Chipauquil. Los valores de gravedad se obtuvieron con el gravímetro *LaCoste & Romberg*, con precisión  $\pm 0,01$  mGal. Dichos valores de gravedad fueron vinculados al valor fundamental de Buenos Aires (estación Miguelete: 979690,03 mGal). Las mediciones gravimétricas fueron referidas al IGSN71 (Internacional Gravity Standardization Net 1971) (Morelli *et al.*, 1974).

En cada estación gravimétrica se determinó la altura elipsoidal referida al WGS84 (World Geodetic System 1984), utilizando dos GPS de simple frecuencia y precisión submétrica. En el campo se dispuso de un equipo base y otro móvil con un radio máximo de 20 km de separación. Ambos equipos registraron en modo diferencial.

### Procesamiento de Datos Gravimétricos

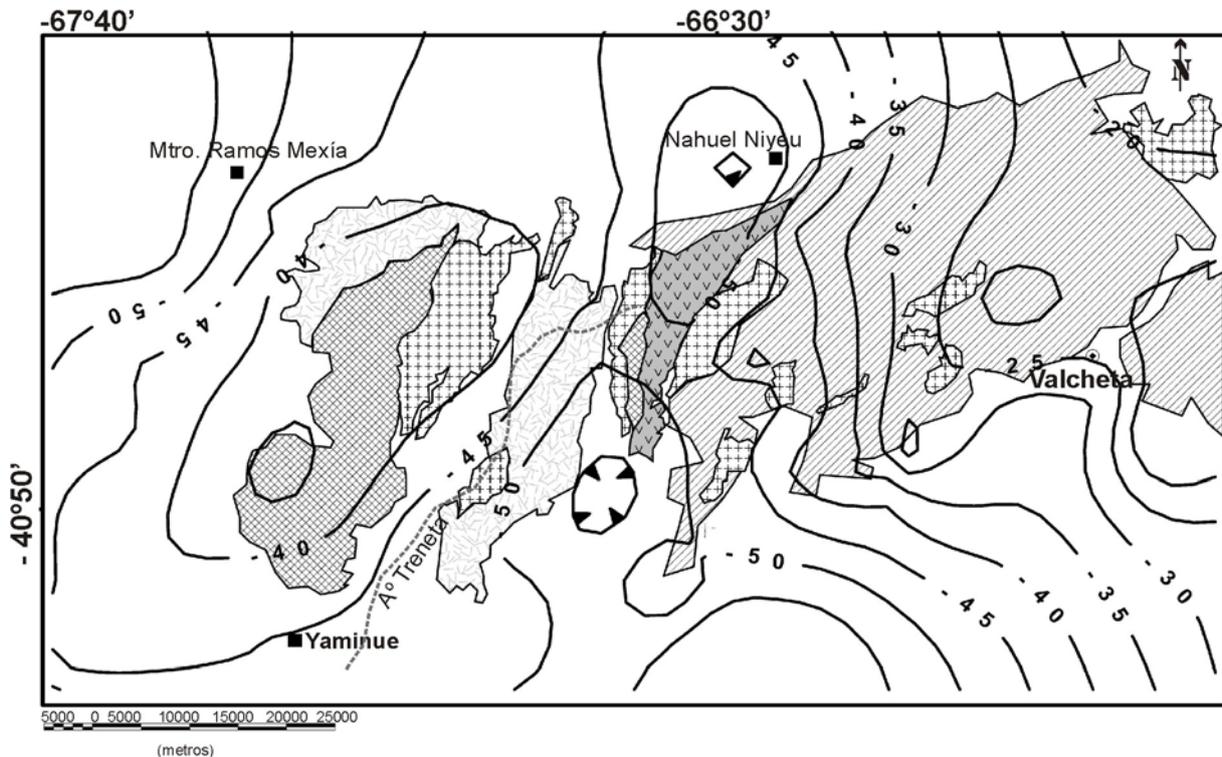
Los datos de gravedad observada contienen el efecto de todas las masas emplazadas en el entorno del gravímetro (interior de la tierra, masas topográficas, etc.). Para obtener información de las estructuras de interés, en este caso en particular los cuerpos graníticos, se compara el valor de gravedad medido ( $g_{obs}$ ) con el valor de gravedad teórico ( $\gamma_0$ ) de una tierra ideal sin discontinuidades laterales de densidad. La comparación de estos valores es la anomalía de gravedad, que responderá a la distribución real de las masas en el interior de la tierra.

Para determinar la anomalía completa de Bouguer en cada estación se calcula la diferencia de gravedad entre el valor teórico y el observado reducido al nivel medio del mar, a través de las correcciones de Aire Libre ( $CAL = 0,3086 h$ ), Bouguer ( $CB = 0,1118 h$ ) y Topografía (hasta un radio de 167 km), siendo  $h$  la altura del punto estación en metros respecto del nivel medio del mar. La densidad media elegida de las rocas, recomendada mundialmente, es de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  (LaFehr, 1991; Hinze, 2003; Hinze *et al.*, 2005). En general, la carta de anomalía de Bouguer contiene distintos efectos gravimétricos producidos por estructuras de carácter regional, más el efecto gravimétrico debido a estructuras geológicas de carácter local comprendidas en corteza superior.

Para la corrección topográfica se aplicaron dos modelos de elevación digital regional y local del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), con resolución de  $90\text{m} \times 90\text{m}$ . El programa utilizado combina los algoritmos desarrollados por Kane (1962) y por Nagy (1966) obteniendo una grilla de corrección topográfica, la cual a través de una operación de muestreo, le asigna el valor de la corrección a cada estación gravimétrica.

Para el cálculo de la anomalía completa de Bouguer se emplearon las clásicas expresiones de gravedad (Hinze *et al.*, 2005). Estos valores de anomalía fueron grillados con un paso de grilla de 3 km. El método de grillado empleado fue el de Mínima Curvatura. Esta metodología regulariza datos geofísicos creando una grilla de valores estimados a partir de datos distribuidos en forma no uniforme

sobre el terreno. Con los valores grillados se preparó el mapa de anomalías de Bouguer correspondiente a la zona de estudio (Fig. 3).



**Figura 3.** Carta de anomalía de Bouguer calculada en el Sistema Internacional de referencia de 1971.

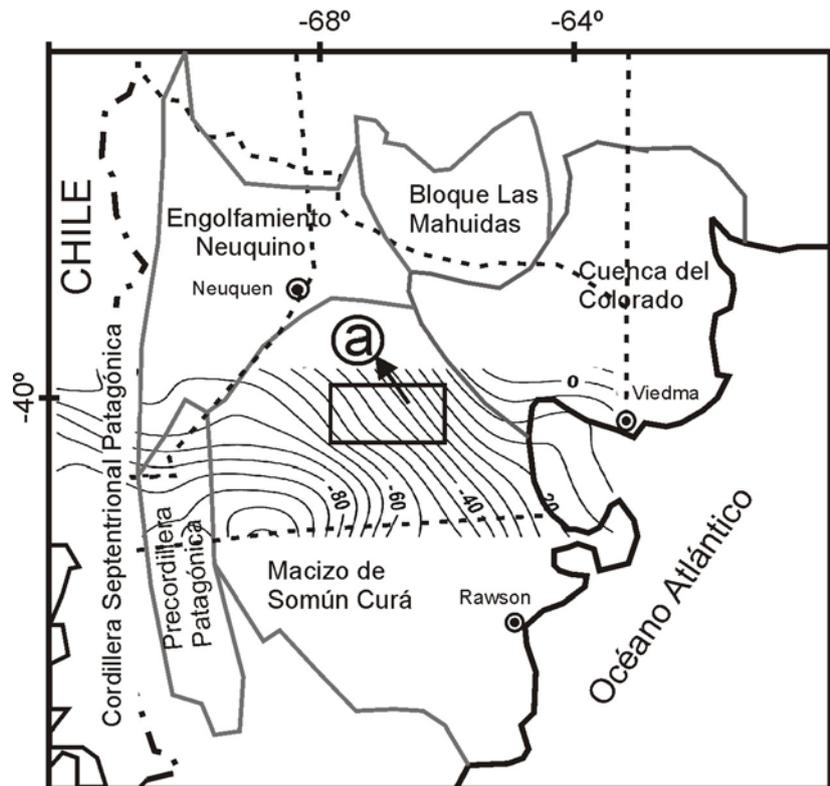
### Filtrado de anomalías

El filtrado de anomalías consiste en separar los efectos correspondientes a diferentes fuentes. Así el término *anomalía regional* denota los campos de gravedad observados que producen fuentes profundas, y *anomalía residual* se refiere a aquellos producidos por fuentes superficiales.

Para poder relacionar las anomalías gravimétricas a los cuerpos graníticos emplazados en corteza superior, es necesario descontarle al mapa de anomalía de Bouguer el efecto gravimétrico producido por las estructuras regionales.

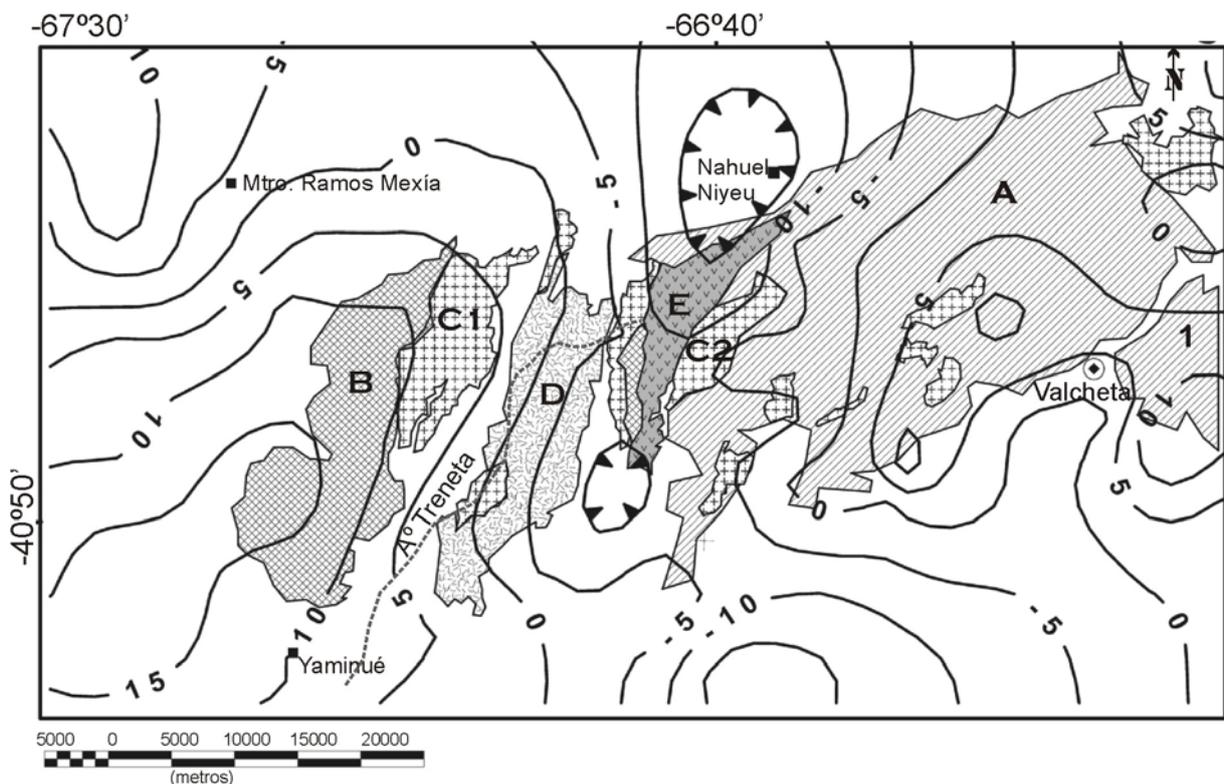
Una forma de obtener el efecto gravimétrico regional es prolongar el campo potencial a una altura determinada sobre la superficie de medición. En el campo potencial prolongado se atenúan las anomalías de corta longitud de onda suavizando el efecto gravimétrico de cuerpos más superficiales, de forma tal, que sólo quede el efecto regional del campo gravitatorio. Siguiendo este método de separación de anomalías gravimétricas se hicieron prolongaciones analíticas del campo potencial a diferentes alturas: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 y 45 km obteniendo mapas de anomalía de Bouguer regionales.

Del análisis cualitativo de estos mapas se optó por el mapa que resultó de prolongar el campo potencial a 40 km de altura (Fig. 4). En este se observa que las isoanómalas crecen negativamente hacia el macizo de Somuncurá, la precordillera patagónica y la cordillera septentrional patagónica. Los máximos negativos reflejan el efecto gravimétrico de la raíz andina. Hacia el este las isoanómalas decrecen negativamente alcanzando el valor de cero en la cuenca del Colorado. Este decrecimiento es coherente con el efecto positivo que produce una corteza más densa como la oceánica.



**Figura 4:** Carta de anomalía regional de Bouguer obtenida por prolongación ascendente del campo potencial a 40 km. Las isoanómalas se extienden mas allá del límite del área de estudio (a), para eliminar el efecto de borde.

El efecto regional se descontó del mapa de anomalía de Bouguer, obteniendo la anomalía residual de Bouguer correspondiente a los efectos de corta a mediana longitud de onda ya que los cuerpos intrusivos a analizar se sitúan en la corteza superior (Fig. 5).



**Figura 5:** Carta de anomalía residual de Bouguer sobre los afloramientos de las formaciones más importantes de la región. (A) Fm. Nahuel Niyeu, (B) Complejo Yaminué, (C) Complejo Plutónico Navarrete, (D) Vulcanitas Treneta, y (E) Granito Flores.

Sobre el mapa de anomalías residuales de Bouguer (Fig. 5), se observa hacia el oeste valores máximos positivos de 10 y 15 mGal coincidentes con el afloramiento de rocas basamentales de edad proterozoica de la Formación Yaminué (B). Al este de la carta se registra un positivo gravimétrico de 5 mGal encerrando máximos de 10 mGal, que correspondería al basamento conformado por el complejo Plutónico Nahuel Niyeu (A). Por otro lado dos máximos negativos cerrados de -10 y -15 mGal, se concentran en el centro del mapa en las inmediaciones del río Treneta. Al oeste del río la isonómalas de 5 mGal atraviesa el afloramiento del granito Navarrete (C1). Mientras que al este del río Treneta, el afloramiento correspondiente al granito Navarrete (C2), se encuentra en una zona de mínimos gravimétricos, presentando valores entre -5 mGal y -10 mGal.

Se encuentran en etapa de procesamiento valores de densidades extraídos de muestras en campaña. Sin embargo se podría adelantar que resultados preliminares obtenidos, indicarían una densidad para el afloramiento occidental del granito Navarrete mayor a  $2,67 \text{ g/cm}^3$ , valor estándar utilizado en la corrección de Bouguer. Por otro lado, ocurre lo contrario con el afloramiento oriental del granito Navarrete, cuyo valor de densidad sería menor al valor de referencia utilizado. De confirmarse estas densidades, se corresponderían con diferentes estadios de diferenciación magmática y diferentes profundidades en cuanto a su génesis. De esta manera se podrían realizar modelos de inversión gravimétrica que contemplen distintas densidades para el mismo granito Navarrete.

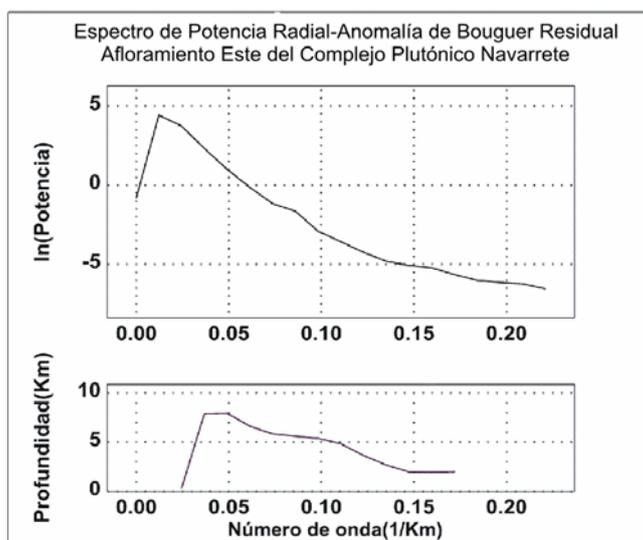
### **Espectro de frecuencia radial**

En general el espectro de potencia de gravedad se puede dividir en tres segmentos. La parte de baja frecuencia (largas longitudes de onda) de fuerte pendiente, corresponde al término regional. A frecuencias mayores (cortas longitudes de onda) la parte residual tiene una pendiente suave. Y el último segmento correspondiente a muy altas frecuencias, el espectro es dominado por efectos debido a errores de medición, de digitalización, etc. (Gupta and Ramani, 1980).

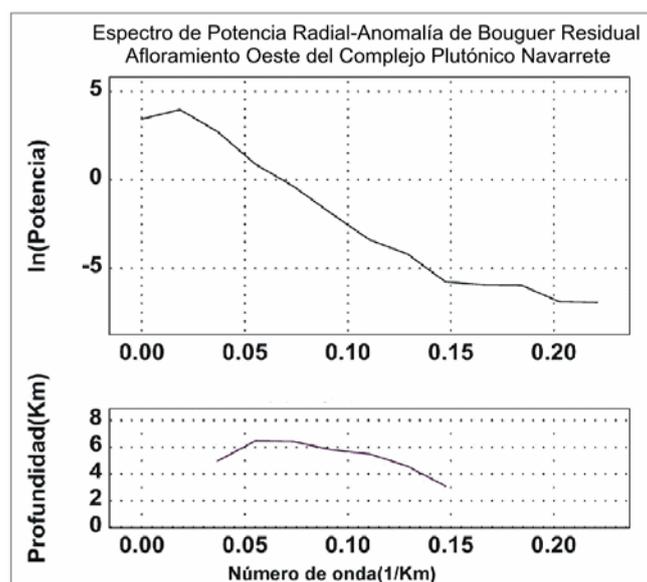
El espectro de potencia radial se lo define como el cuadrado del módulo de la transformada de Fourier de la anomalía gravimétrica. En las aplicaciones resulta más conveniente utilizar el logaritmo natural del espectro de potencia ( $P$ ) en función del número de onda. El logaritmo del espectro de potencia de una distribución irregular de masas a profundidad constante tiene una gráfica aproximadamente recta. Por lo tanto, ajustando la curva (obtenida por mínimos cuadrados) mediante una recta, se puede lograr una estimación de la profundidad y magnitud de la masa causante. Cuanto más empinada es la recta, más profundas son las masas que originan el campo de gravedad (Spector and Grant, 1970).

Para definir las máximas profundidades de los afloramientos graníticos Navarrete, se aplicó el espectro de frecuencia en dos dimensiones a los datos de anomalía residual de Bouguer. Utilizando el software específico Oasis Montaj, se seleccionó un área sobre cada granito en particular, obteniendo como resultado final el logaritmo natural del espectro de potencia radial y las correspondientes profundidades en función del número de onda.

En las Figuras 6 y 7, se observan los espectros de potencia radial correspondientes a los afloramientos este y oeste del Complejo Plutónico Navarrete. El afloramiento este del granito Navarrete alcanza la máxima profundidad media a los 8 km. Por otro lado la máxima profundidad del afloramiento oeste de dicho granito se encontraría a 6,5 km. Desde acá podríamos pensar que el granito Navarrete en su porción occidental ha sufrido mayor erosión que en su porción oriental. Esto se correspondería con las primeras conclusiones obtenidas respecto de los valores de densidad del Complejo Plutónico Navarrete, en relación a las isonómalas de la carta residual de Bouguer.



**Figura 6.** Logaritmo natural del espectro de potencia radial y profundidades promedio del afloramiento este del Complejo Plutónico Navarrete.



**Figura 7.** Logaritmo natural del espectro de potencia radial y profundidades promedio del afloramiento oeste del Complejo Plutónico Navarrete.

## CONCLUSIONES

Obtenida la carta de anomalías Residuales de Bouguer a través del método de prolongación ascendente en la región que comprende al Complejo Plutónico Navarrete y alrededores, en general se distingue: - un máximo positivo de 15 mGal que se atribuye al basamento de edad proterozoica de la Formación Yaminué; -hacia el este de la carta se registra un positivo gravimétrico de 5 mGal (encerrando localmente máximos de hasta 10 mGal), que corresponderían al basamento conformado por el complejo Plutónico Nahuel Niyeu; - por otro lado dos máximos negativos cerrados de -10 y -15 mGal, se concentran en el centro del mapa en las inmediaciones del río Treneta.

Particularmente en esta carta de anomalías residuales existe un elevado gradiente oeste-este atravesando el río Treneta. La isoanómala de 5 mGal atraviesa el afloramiento oeste del granito Navarrete; en contraste, el afloramiento este del granito Navarrete presenta mínimos gravimétricos de -5 mGal y -10 mGal.

De los espectros de potencia en dos dimensiones, se estimaron las profundidades de los cuerpos intrusivos de interés. Como resultado el afloramiento este del granito Navarrete se encontraría ligeramente más profundo que el afloramiento oeste de dicho complejo plutónico, cuyos valores corresponderían a 8 km y 6,5 km respectivamente.

En conjunto, tanto las isoanómalas de la carta residual de Bouguer, las densidades preliminares encontradas in situ, como las profundidades obtenidas por los métodos frecuenciales insinúan para el granito Navarrete, diferentes comportamientos a ambos lados del río Treneta.

**Agradecimientos.** Los autores agradecemos a CONICET por haber subsidiado el presente trabajo a través del PIP N° 6044. Al FONCYT por su aporte con el proyecto PICT REDES 2003 N° 283-2, como asimismo al CICITCA por el proyecto N° 21E624.

## **REFERENCIAS**

- Basei, M. et al., 2002. 15° Cong. Geol. Arg., Actas, 3: 117-122.
- Caminos, R., 1983. Descripción Geológica de las Hojas 39g, Cerro Tapiluke y 39h, Chipauquil, Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional, 41p (inédito).
- Gupta, V.K. and N. Ramani, 1980. Some aspects regional-residual separation of gravity anomalies in a Precambrian terrain. *Geophysics*, v. 45, nro. 9, 1412-1426.
- Hinze, W.J., 2003. Bouguer reduction density, why 2.67. *Geophysics*, v. 68, 5, 1559-1560.
- Hinze, W.J. et al., 2005. New standards for reducing gravity data: The North American Gravity database. *Geophysics*, v. 70, 4 J25-J32.
- Kane, M.F., 1962. A Comprehensive System of Terrain Corrections Using a Digital Computer. *Geophysics*, v. 27, 4 455-462.
- LaFehr, T.R., 1991. Standardization in gravity reduction. *Geophysics*, 56 1170-1178.
- Morelli, C. et al., 1974. The International Gravity Standardization Net 1971. International Association of Geodesy, Special Publication 4.
- Nagy, D., 1966. The Gravitational Attraction of a Right Rectangular Prism. *Geophysics*, v. 31, nro. 2 362-371.
- Pankhurst, R.J, C.W. Rapela, C.M. Fanning, M. Márquez, 2006. Gonwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Reviews*, v.76, issues 3-4, 235-257.
- Pankhurst, R.J, R. Caminos y C.W. Rapela, 1999. Problemas Geocronológicos de los Granitoides Gondwánicos de Nahuel Niyeu, Macizo Norpatagónico. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas IV 99-104.
- Rapela, C.W. y E.J. Llambías, 1984. Evolución magmática y relaciones regionales de los Complejos Eruptivos de La Esperanza. Provincia de Río Negro. Asociación Geológica Argentina, Revista 40 (1): 4-25. Buenos Aires
- Spector, A. and Grant, F.S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35:293-302.