

# LAS ESTRUCTURAS DE LA CUENCA DE BERMEJO Y SIERRA DE VALLE FÉRTIL A PARTIR DE LOS MÉTODOS DECONVOLUCIÓN DE EULER Y SEÑAL ANALÍTICA

Federico LINCE KLINGER<sup>1</sup>, Mario E. GIMENEZ<sup>2,3</sup>, M. Patricia MARTINEZ<sup>2,3</sup> y Antonio INTROCASO<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Email: flklinger@hotmail.com

<sup>2</sup> Instituto Geofísico Sismológico Volponi. FCEF.N. Universidad Nacional de San Juan, San Juan.

Emails: mgimenez@unsj-cuim.edu.ar, mpm@unsj-cuim.edu.ar

<sup>3</sup> CONICET

<sup>4</sup> Instituto de Física de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario.

Email: geofisic@fceia.unr.edu.ar

## RESUMEN

Se aplicaron técnicas de señal analítica y deconvolución de Euler a valores de anomalías de Bouguer de la cuenca de Bermejo y de la sierra de Valle Fértil, en el sector occidental de las Sierras Pampeanas. A partir de las soluciones encontradas por estas técnicas, se han interpretado la ubicación y profundidad de las fuentes causantes de anomalías, las que se vinculan con las estructuras geológicas que involucran al basamento. Con el objeto de verificar los resultados obtenidos y de minimizar las ambigüedades de los métodos potenciales, se preparó un modelo gravimétrico directo basado en un modelo estructural del área. A la respuesta gravimétrica de este modelo directo se le aplicó la técnica de señal analítica 2D, encontrándose soluciones que son consistentes con la profundidad y geometría de las fuentes previamente interpretadas, corroborando los resultados obtenidos.

Palabras clave: *Geofísica, Deconvolución de Euler, Señal analítica, Gravimetría, Bermejo.*

**ABSTRACT:** *The structures of the Bermejo Basin and Sierra de la Huerta based on Euler deconvolution and analytic signal techniques.* These geophysical techniques were applied to the Bouguer anomalies in the Bermejo Basin and Valle Fértil range. The location and depth to source of the anomalies were interpreted from the solutions obtained by these techniques. The found sources have been related with the geologic structures affecting the basement. In order to verify the results obtained and minimize the ambiguity of these potential methods, a forward gravimetric model was prepared, based on a geological and structural model of the area. The 2D analytic signal technique was applied to the gravimetric response of the model, and the solutions found are consistent with the depth and geometry of the above recognized sources, confirming the results obtained.

Keywords: *Geophysics, Euler deconvolution, Analytic signal, Gravity, Bermejo.*

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza entre los 30° y 31,25°S y los 67° y 69°O en el centro este de la provincia de San Juan, abarcando parte de las provincias geológicas de Precordillera y Sierras Pampeanas (Fig. 1). Las Sierras Pampeanas es un sistema de bloques limitados por fracturas originadas o reactivadas como consecuencia de la orogenia andina (Bodenbender 1905). Las fracturas que delimitan a los bloques de las Sierras Pampeanas fueron señalados desde un principio por González Bonorino (1950) como de tipo inverso, que concuerda con los denominados empujes pampeanos de Baldi *et al.*

(1979), con los mecanismos de focos reconocidos por Triep y Cardinalli (1984) y con la compresión asumida en toda el área (Jordan y Allmendinger 1986, entre otros).

La sierra de Valle Fértil de rumbo N NW es una unidad morfoestructural que se halla limitada en su borde occidental por la falla Bermejo Desaguadero. Al oeste de la sierra de Valle Fértil se desarrolla la cuenca del Bermejo, una espesa secuencia sedimentaria de edad cenozoica acumulada en una cuenca de antepaís con importante subsidencia, en concomitancia con alzamientos de igual orden de sus bordes (Fig. 2).

Entre los antecedentes geofísicos más

relevantes del área se encuentran las líneas sísmicas realizadas por YPF en la década del 80 en la cuenca del Bermejo. La interpretación de algunas de esas líneas sísmicas ha determinado la existencia de un anticlinal asimétrico no aflorante (Zapata y Almendinger 1996) (Fig. 2) y de reflectores a 6 y 7 segundos representando profundidades de 22 km hacia el este y 19 km al oeste. Debajo del anticlinal del Bermejo un horizonte reflector se ramifica hacia el oeste alcanzando la superficie. Este reflector identificado en las líneas sísmicas correspondería a una falla que involucra a una zona de despegue basal entre la Precordillera Oriental y la sierra de Valle Fértil.

Los primeros trabajos gravimétricos en la región corresponden a una carta de anomalía simple de Bouguer (Robles *et al.* 1995). A partir de ésta se realizaron trabajos más complejos, tanto para determinar las profundidades de la discontinuidad de Mohorovicic (Miranda e Introcaso 1997), como para desarrollar modelos de corteza (Gimenez 1997, Martinez 1997). La característica más destacable de la anomalía de Bouguer es un inusual gradiente gravimétrico horizontal ascendente hacia el este, el que ha sido interpretado como correspondiente a la falla Bermejo - Desaguadero (Giménez *et al.* 2000). En este trabajo se profundizará el estudio de ese inusual gradiente gravimétrico empleando técnicas semiautomáticas: deconvolución de Euler estándar 3D y señal analítica 3D aplicadas a la carta de anomalía de Bouguer, y a tres perfiles que cruzan la falla Bermejo - Desaguadero la señal analítica 2D (Fig. 2). Esta metodología semiautomática requiere la utilización de parámetros que deben ser cuidadosamente escogidos para obtener resultados coherentes. Los objetivos son identificar estructuras geológicas e inferir las profundidades de las fuentes causantes de las anomalías gravimétricas.

**METODOLOGÍA**

**Deconvolución de Euler**

Esta técnica se basa en la ecuación de homogeneidad de Euler (Reid *et al.* 1990) que relaciona el campo gravimétrico y las componentes de su gradiente con la localización de las fuentes. De esta forma, utilizando los parámetros apropiados, se logra estimar la profundidad del techo de las estructuras geológicas causantes de las anomalías gravimétricas.

La ecuación de homogeneidad de Euler relaciona el campo gravimétrico y las componentes de su gradiente con la localización de la fuente. El grado de homogeneidad es expresado por el índice estructural (SI) que es una medida del cambio de atenuación del campo con la distancia a la fuente. Dicho índice permite

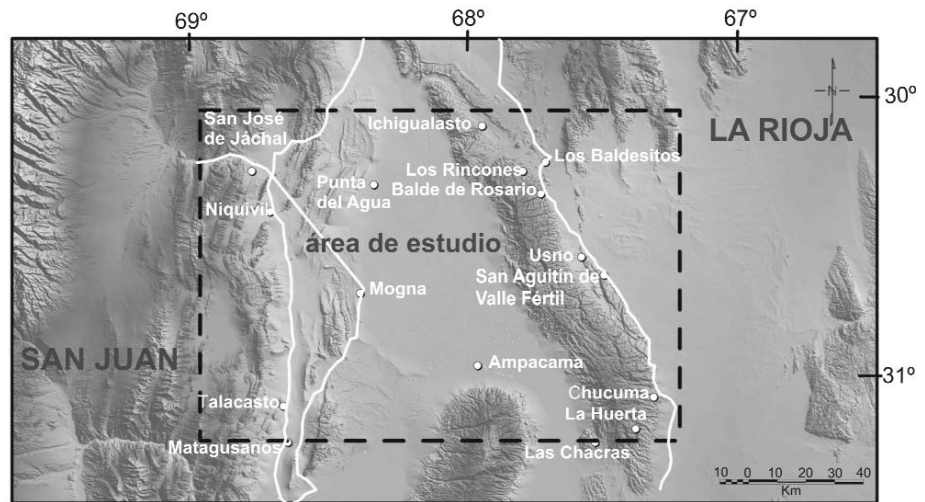
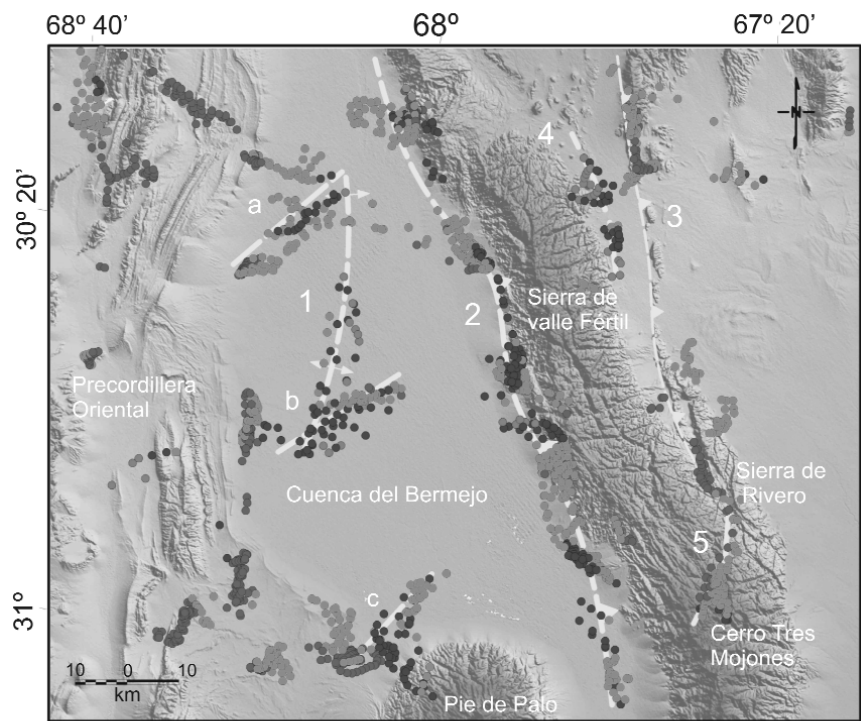


Figura 1: Ubicación del área de estudio.



Carta de deconvolución de Euler IS=0,5

**Interpretación**

- |                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| 1 Anticlinal Bermejo          | Profundidades (km) |
| 2 Falla Bermejo - Desaguadero | ● > -5             |
| 3 Falla Portezuelos           | ● -10 --5          |
| 4 Falla de relajación?        | ● -15 --10         |
| 5 Falla cerro Tres Mojones    | ● -20 --15         |
| a, b y c Lineamientos         | ○ < -20            |

Figura 2: Sobre un modelo de elevación digital se han volcado las soluciones de la deconvolución de Euler con un índice estructural de 0,5

discriminar entre las geometrías de fuentes generadoras de anomalías. De esta forma muchos rasgos geológicos tienen distintos índices estructurales. Por ejem-

plo, un índice estructural  $SI = 0,5$  se puede asociar a contactos, uno de  $SI = 1$  con estructuras cilíndricas bidimensionales,  $SI = 2$  a estructuras volumétricas tipo esferas. La conexión entre este índice y las anomalías geológicas reales constituyen la base del método (Salem y Smith 2005). Teniendo en cuenta que la longitud de onda de las anomalías gravimétricas generadas por las grandes estructuras de la zona es mayor a 30 km, la ventana móvil aplicada fue de 10 puntos con una grilla de  $3 \times 3$  km. Se utilizó un índice estructural, derivado de Reid *et al.* (1990), de  $SI = 0,5$  y para obtener mayor certeza sólo se consideraron las soluciones con una incertidumbre en profundidad menor al 8% (Fig. 2).

*En la carta de la figura 2 se observa:*

1) En el centro de la misma, soluciones de Euler que se alinean en dirección norte - sur coincidiendo con el anticlinal de Bermejo determinado por sismica de reflexión (Zapata y Allmendinger 1996). Las soluciones con profundidades entre 10 y 15 km se asignan al gradiente de gravedad que produce el contacto entre el Carbonífero de la cuenca de Paganzo y una zona de alta velocidad sísmica, como se muestra en los perfiles sísmicos de las líneas 9050, 9051 y 9048 en Zapata (1996).

2) Al pie de la sierra de Valle Fértil sobre el borde occidental, las soluciones se alinean en dirección NO concordando con la falla Bermejo - Desaguadero. En esta metodología las profundidades se fijan de acuerdo a la variación de la gravedad en las direcciones X, Y y Z. Para este alineamiento, se interpreta que las soluciones ubicadas en los primeros 10 km de profundidad, representan el contacto entre el relleno sedimentario cenozoico de la cuenca Bermejo y el basamento cristalino de la sierra de Valle Fértil. Las soluciones más profundas que 10 km se las asigna al contraste de densidad entre los sedimentos del Carbonífero que colmatan la cuenca del Paganzo y el basamento ígneo-metamórfico de la sierra de Valle

Fértil (Zapata 1996).

3) Hacia el este de la sierra de Valle Fértil, existen dos alineamientos de soluciones cuyas profundidades rondan los 10 km. Uno ubicado al pie de la sierra Baja de Portezuelos y otro alineamiento en el borde occidental de la sierra de Rivero. Se interpreta que ambas tendencias responderían a una misma falla, la falla de Portezuelos (Furque *et al.* 1998).

4) Una importante concentración de soluciones se ubican en el borde oriental de la sierra de Valle Fértil. Esta traza es coincidente con el fallamiento inferido en el mapa geológico San José de Jachal (Furque *et al.* 1998). En este caso, las soluciones rondan los 20 km de profundidad.

5) Hacia el SE de Valle Fértil existe una concentración de soluciones (con profundidades entre 5 y 10 km) ubicadas sobre el cerro Tres Mojones que coinciden con las fallas expuestas (Mirré 1976).

6) Existen dos direcciones paralelas señaladas en la (Fig. 2) como a y b que se corresponderían con la megafalla de Ambato propuesta por Baldis *et al.* (1979) o con el lineamiento propuesto por Ortiz y Zambrano (1981). Las fuentes corresponden a profundidades entre 5 y 15 km.

7) Sobre el borde noroeste de la sierra de Pie de Palo se observa una gran acumulación de soluciones (marcada como c) que podría coincidir con la división propuesta por Ramos (1995) dentro del terreno compuesto de Cuyania, referente a la sutura que separa el terreno de Precordillera del de Pie de Palo (Astini *et al.* 1996, Ramos 2004). Aunque en este caso se debe tratar de fallas secundarias a dicha sutura pues las fuentes se encuentran entre los 5 y los 15 km de profundidad.

De esta manera se observa una buena coincidencia entre el relevamiento geológico de superficie y los resultados obtenidos mediante el empleo de esta técnica semiautomática (deconvolución de Euler) aplicada a datos gravimétricos. Asimismo, las profundidades arrojadas por este procesamiento son compatibles con diferentes estudios sísmicos realizados en esta zona.

## Señal analítica

La técnica de señal analítica empleada está basada en la metodología desarrollada por Nabighian (1972, 1974), quien aplica el concepto de señal analítica a datos de campo potencial en dos dimensiones para fuentes bidimensionales.

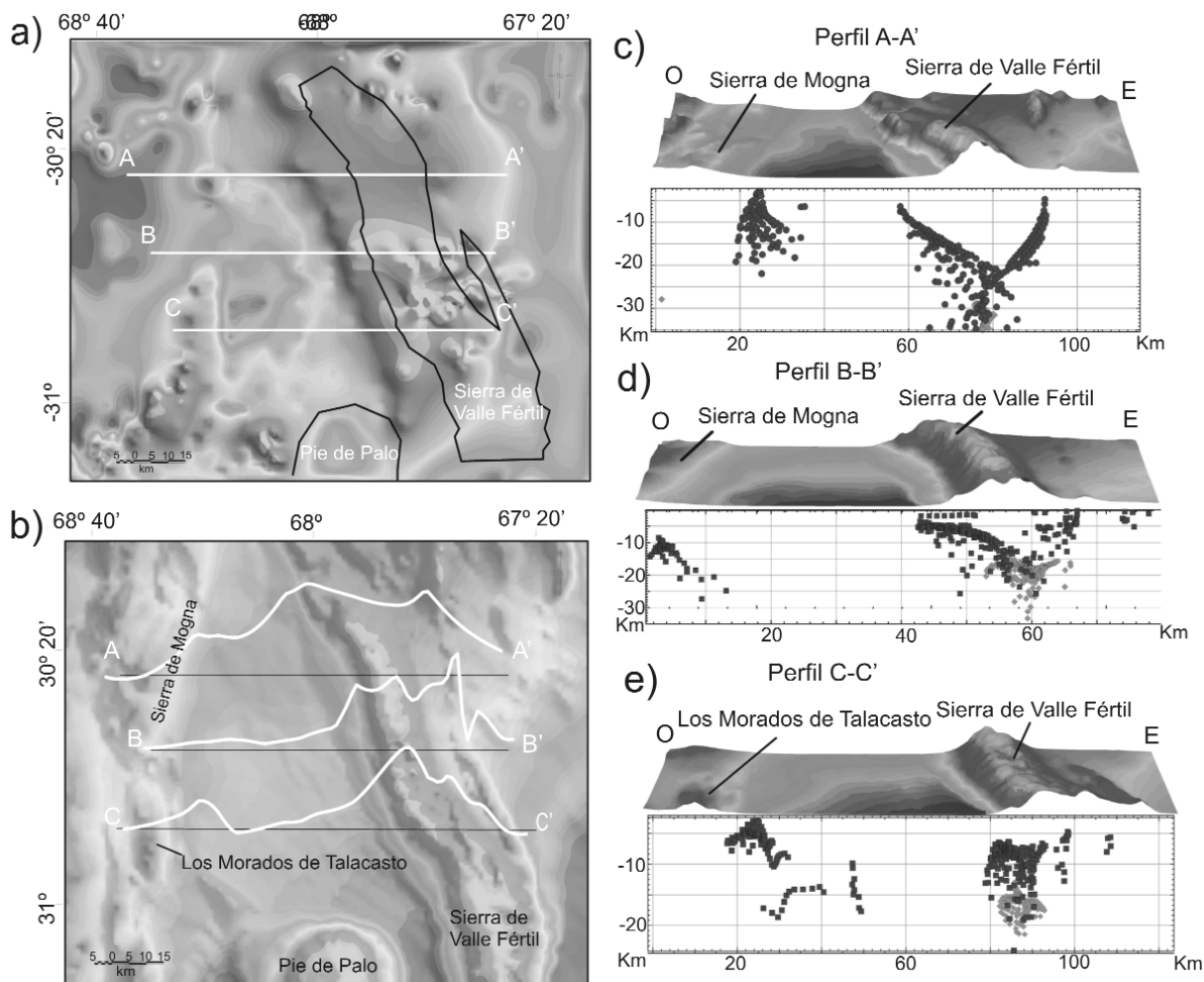
Se aplicó un filtro de señal analítica 3D (Roest *et al.* 1992) a una carta de anomalía simple de Bouguer (Giménez *et al.* 2000) que se presenta en la figura 3a. En la misma se graficaron los contornos de las sierras de Valle Fértil y de Pie de Palo con el objeto de asociar los bordes de ambas estructuras con las variaciones de la amplitud de señal analítica. Se extrajeron tres perfiles que se ubican en la figura 3a. Éstos presentan máximos que pueden ser asociados, en principio, a fuertes contrastes de gravedad (Fig. 3b).

Para localizar y estimar las fuentes generadoras de estas anomalías gravimétricas se aplicó el método de señal analítica 2D, el cual entrega dos tipos de soluciones de profundidad: una que responde al gradiente de la anomalía de Bouguer y otra que responde directamente a dicha anomalía. Los parámetros escogidos en este caso fueron: ancho de ventana de 30 km (respetando la longitud de onda de las anomalías más importantes del área), y profundidad de investigación de 35 km (para obtener información de las partes más profundas de la corteza) (Figs. 3c, d y e).

*En los distintos perfiles se observa:*

1) Una excelente correlación entre el alineamiento de las soluciones y la falla de Bermejo - Desaguadero. Este ordenamiento muestra la geometría con buzamiento hacia el este y la profundidad de despegue de 22 km de la falla Bermejo - Desaguadero (Figs. 3c y d) está en coincidencia con la interpretación de sismica profunda efectuada en esta área por Snyder *et al.* (1990). Este resultado es corroborado por los análisis de Zapata y Allmendinger (1996).

A partir de este método son estimadas



**Figura 3:** a) Señal analítica 3d; b) Perfiles de amplitud de señal analítica; c), d) y e) Perfil A-A', Perfil B-B' y Perfil C-C': arriba topografía, abajo soluciones.

fuentes de mayor profundidad, comprendidas entre 15 y 35 km, (Figs. 3c, d y e) que se corresponden con la sutura de Valle Fértil que separa los terrenos de Cuyania y Pampia (Ramos *et al.* 1986). Hacia el borde oriental de la sierra de Valle Fértil las soluciones muestran nuevamente un ordenamiento lineal. Este gradiente gravimétrico es asociado con una falla normal que se extiende paralela a la falla Bermejo - Desaguadero (Furque *et al.* 1998), pero con buzamiento opuesto a la anterior (Fig. 3c). Hacia el pie de la Precordillera oriental se observan un conjunto de soluciones que se asignan al fallamiento precordillerano. El buzamiento de estas fallas es hacia el este (Figs. 3c, d y e). El perfil C-C' no es tan categórico como los anteriores. Esta falta de resolución

posiblemente se deba a que las soluciones se dispersan debido a la influencia de la sierra de Pie de Palo. Sin embargo se puede identificar la falla Bermejo - Desaguadero en forma objetiva. En el borde oriental de los Morados de Talacasto (Fig. 3e) existen alineamientos de soluciones que estarían relacionados con fallas de tipo inverso.

#### Modo inverso

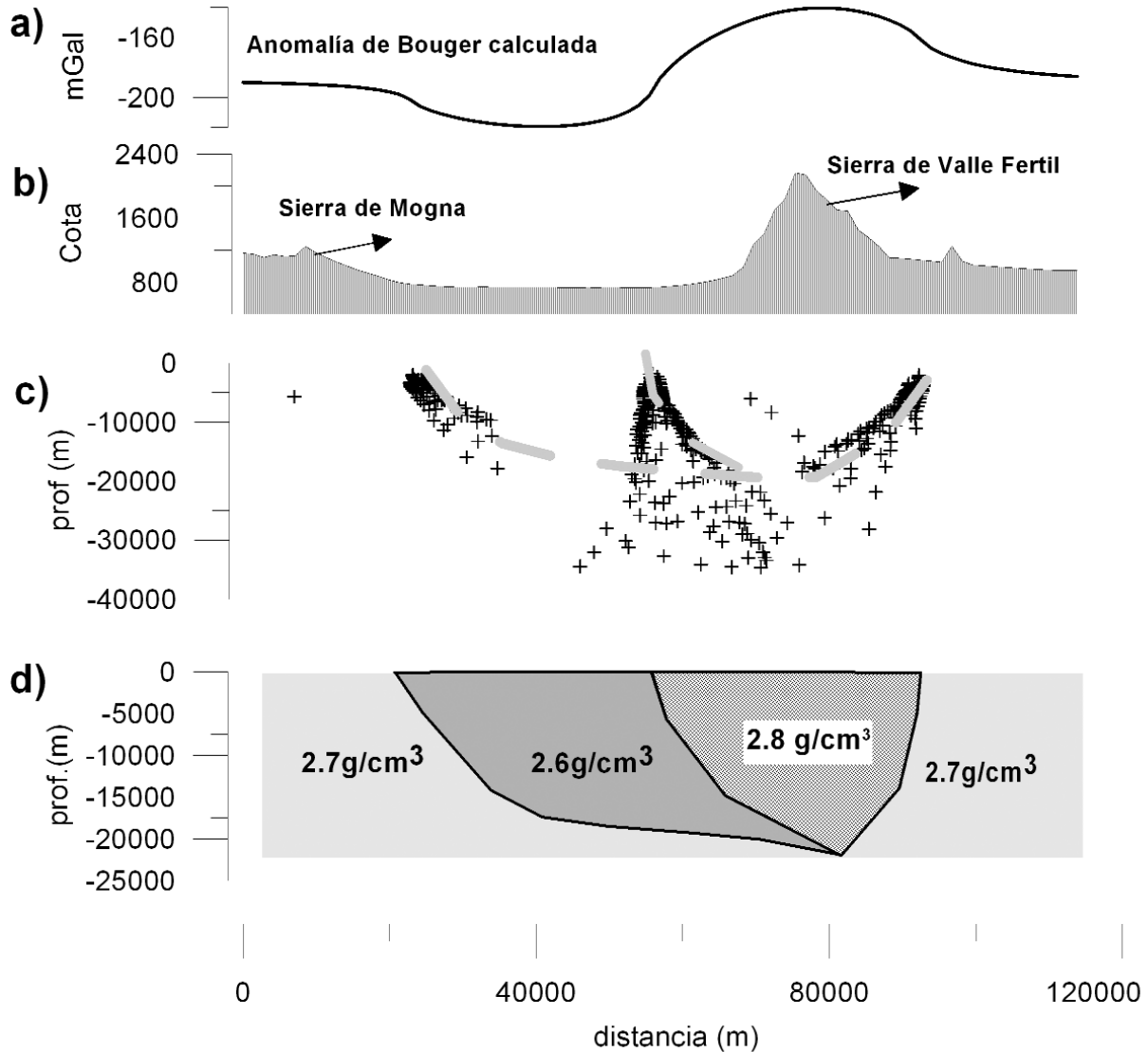
Para reducir la ambigüedad de la interpretación de los métodos potenciales, se realizaron los siguientes pasos, como método de comprobación:

a) Se modeló en forma directa el perfil A-A' (Fig. 4), fijando el tamaño, la profundidad y la densidad según un perfil geológico estructural desarrollado por Za-

pata (1996). Este se localiza al norte de la cuenca de Bermejo, a la misma latitud que el perfil A-A' y fue interpretado a partir de una línea sísmica. Las densidades fueron calculadas a partir del modelo de velocidades mediante la aplicación de la relación empírica entre la velocidad de las ondas P ( $v_p$ ) y la densidad propuesta por Gardner *et al.* (1974).

b) Con posterioridad, la respuesta gravimétrica del modelo directo se utilizó como señal de entrada para obtener las soluciones de la señal analítica respetándose el ancho de ventana y profundidad de investigación anteriormente utilizadas (Fig. 4c).

c) Se compararon ambos conjuntos de soluciones para el mismo perfil A-A'; es decir, las soluciones obtenidas para la señal gravimétrica real y las obtenidas para



**Figura 4:** Modelo directo a partir de un modelo estructural propuesto por Zapata (1996): a) respuesta gravimétrica del modelo planteado; b) perfil topográfico; c) soluciones de señal analítica calculadas a partir de la curva de anomalía de Bouguer calculada y d) modelo directo con densidades promedios.

la señal gravimétrica del modelo directo ajustado por sísmica. Se observa una buena correspondencia entre ambos conjuntos de soluciones. Las diferencias existentes entre ambos puede deberse a estructuras de menor y mayor longitud de onda que no fueron incluidas dentro del modelo directo del perfil A-A' (Fig. 5c).

**CONCLUSIONES**

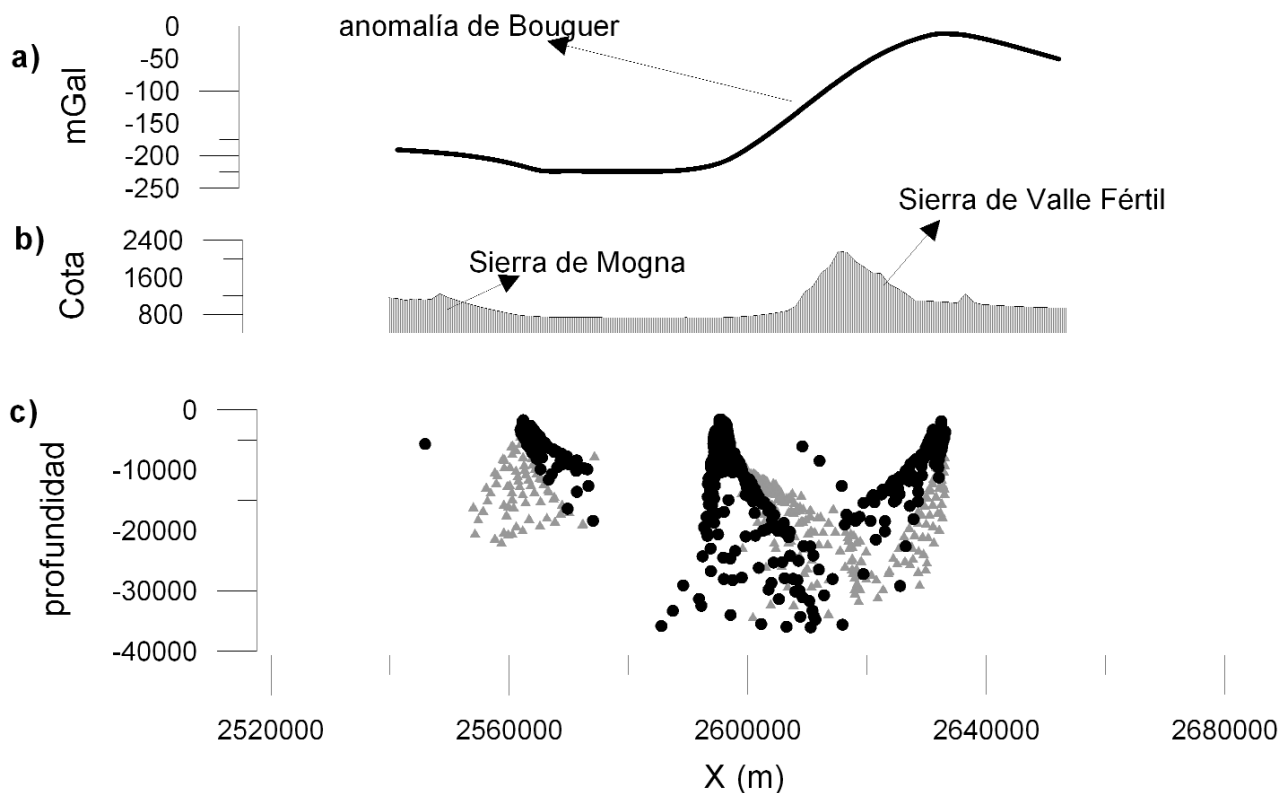
En la región que comprende la sierra de Valle Fértil y la cuenca del Bermejo, se

validaron los métodos de deconvolución de Euler y señal analítica 3D y 2D, aplicándolos a la carta de anomalía de Bouguer y a perfiles. A partir del método de deconvolución de Euler, se han obtenido concentraciones de soluciones coincidentes con las principales estructuras geológicas reconocidas, tales como:

- El anticlinal del Bermejo, también determinado por sísmica de reflexión.
- Las soluciones con profundidades entre 10 y 15 km son asignadas al gradiente de gravedad que produce el contacto entre el Carbonífero de la cuenca del Paganzo

y una zona de alta velocidad.

- La falla Bermejo - Desaguadero, con fuentes anómalas hasta 10 km de profundidad que responden al contraste entre los depósitos cenozoicos y el basamento cristalino. Las fuentes con profundidades mayores a 10 km responden al contraste entre el Carbonífero y el basamento cristalino.
- La falla de Portezuelos, con profundidades que rondan los 10 km.
- Falla de relajación en el borde este de la sierra de Valle Fértil, cuyas fuentes se ubican hasta los 22 km, de profundidad.



**Figura 5:** a) Curva de anomalía de Bouguer simple para el perfil A-A'; b) perfil topográfico; c) soluciones de señal analítica. Triángulos: soluciones para la curva de anomalía simple de Bouguer real. Círculos: soluciones para la curva de anomalía de Bouguer calculada a partir de un modelo estructural.

- Las fallas expuestas del cerro Tres Mojoneros, coinciden con soluciones entre 5 y 10 km de profundidad
- La megafactura de Ambato, con soluciones que responden a profundidades entre 5 y 15 km.
- Un fallamiento asociado a la sutura que separa el sector de Precordillera del sector de Pie de Palo, cuyas soluciones rondan entre los 5 y los 15 km de profundidad.
- A partir de la aplicación de los métodos de señal analítica 3D y 2D se reconoce que existe una correlación entre los máximos de la señal analítica. La alineación de estos máximos indicaría la dirección, aproximadamente NO de las estructuras geológicas de la zona.
- Las soluciones de la señal analítica en los tres perfiles analizados muestran una excelente correlación con las dos fallas de la sierra de Valle Fértil. Este ordenamiento muestra la geometría y la profundidad de despegue (22 km) de la falla Bermejo

- Desaguadero y de la falla normal ubicada en el flanco oriental de la sierra. Las fuentes de mayor profundidad (entre 15 y 35 km), se corresponden con la sutura de Valle Fértil que separa los terrenos de Cuyania y Pampia.
- En la Precordillera se observan fallas buzando al este en el norte de la zona estudiada, y hacia el oeste en el sector sur.
- El método de señal analítica 2D ha sido convalidado, en muy buena medida, a través de un modelo gravimétrico directo construido a partir de un perfil estructural ajustado con la sismica de reflexión disponible para el área estudiada.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a CONICET por haber financiado el presente trabajo a través del PIP N° 6044. Al FONCYT por su aporte con el proyecto PICT REDES 2003 N° 283.A CICITCA por el proyecto N° 21E624.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Astini, R. A., Ramos, V.A., Benedetto, J. L., Vaccari N. E. y Cañas, F. L. 1996. La Precordillera: Un terreno Exótico a Gondwana. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 293-324, Buenos Aires.
- Baldis, B., Uliarte, E. y Vaca, A. 1979. Análisis estructural de la comarca sísmica de San Juan. Revista Asociación Geológica Argentina 34 (4): 294-311, Buenos Aires.
- Bodenbender, G. 1905. La Sierra de Córdoba, constitución geológica y productos minerales de aplicación. Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología 2, 146 p., Buenos Aires.
- Furque, G., González, P. y Caballé, M. 1998. Descripción de la hoja geológica 3169-II, San José de Jáchal (Provincias de San Juan y La Rioja). Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 259, 80 p.
- Gardner, G.H.F., Gardner L.W. y Gregory, A.R. 1974. Formation velocity and density, The

- diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophysics* 39(6): 770-780.
- Giménez, M., Martínez, M.P. e Introcaso, A. 2000. A crustal model based mainly on gravity data in the area between the Bermejo Basin and the Sierras de Valle Fértil, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 13(3): 275-286.
- Giménez, M.E. 1997. Estudio genético y evolutivo de la cuenca del Bermejo (Provincia de San Juan) a partir de datos de gravedad. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Rosario, (inérita), 270 p., Rosario.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista Asociación Geológica Argentina* 5 (3): 8-110.
- Jordan, T.E. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Martínez, M.P. 1997. Estudio del levantamiento de la Sierra de Valle Fértil. (Provincia de San Juan). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Rosario, (inérita), 153 p., Rosario.
- Miranda, S. e Introcaso, A. 1997. Modelo preliminar de corteza para la Precordillera Argentina (30°30'Sur) a partir de datos de gravedad. 5° Congreso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2: 1024-1026.
- Mirre, J.C. 1976. Descripción geológica de la hoja 19e, Valle Fértil (Provincia de San Juan y La Rioja). Servicio Geológico Nacional, Boletín 147, 70p., Buenos Aires.
- Nabighian, M.N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics* 37(3): 507-517.
- Nabighian, M. N. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: *Geophysics* 39(1): 85-92.
- Ortiz, A. y Zambrano, J.J. 1981. La Provincia Geológica Precordillera Oriental. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 59-74, San Luis.
- Ramos, V.A. 1995. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy* 6(32): 24-29, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 2004. Cuyania, an exotic block to Gondwana: Review of a historical success and the present problems. *Gondwana Research* 7(4): 1009-1026.
- Ramos, V.A., Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Mpodozis, C., Kay, S.M., Cortés, J.M. y Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics* 5: 855-880.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J., Somerton, I.W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics* 55: 80-91.
- Robles, J. A., Introcaso, A., Miranda, S., Giménez, M., Martínez, M.P., Ruiz, F., Guspi F., Sisterna J. y Richarte, D. 1995. Carta Gravimétrica de la Provincia de San Juan, 1994. 1° Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas y 9° Congreso Nacional de Cartografía, Actas 1: 186-188.
- Roest, W. R., Verhoef, J. y Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics* 57(1): 116-125.
- Salem, A. y Smith, R. 2005. Depth and structural index from normalized local wavenumber of 2D magnetic anomalies. *Geophysical Prospecting* 53: 83-89.
- Snyder, D.B., Ramos, V.A. y Allmendinger, R.W. 1990. Thick-skinned deformation observed on deep seismic reflection profiles in Western Argentina. *Tectonics* 9(4): 773-788.
- Triep, E. y Cardinali, C.B. 1984. Mecanismos de sismos en las Sierras Pampeanas Occidentales. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 61-80, Bariloche.
- Zapata, T.R. 1996. Crustal evolution of the Precordillera thrust belt-Bermejo basin, Argentina. Ph.D. dissertation, Cornell University, (inérita), 294 p., Ithaca.
- Zapata, T.R. y Allmendinger, R.W. 1996. Growth stratal records of instantaneous and progressive limb rotation in the Precordillera thrust belt and Bermejo basin, Argentina. *Tectonics* 15(5): 1065-1083.

Recibido: 23 de noviembre, 2007

Aceptado: 25 de abril, 2008