

LINEAMIENTOS REGIONALES DEL BASAMENTO CRISTALINO A PARTIR DE UN ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO

Mario E. GIMÉNEZ¹, Patricia M. MARTÍNEZ¹ y Antonio INTROCASO²

¹ CONICET. Instituto Geofísico Sismológico "Ing. F. Volponi". FCEF, Universidad Nacional de San Juan. Email: mgimenez@unsj-cuim.edu.ar , mpm@unsj-cuim.edu.ar

² CONICET. Instituto de Física Rosario. FCEIA, Universidad Nacional de Rosario. Email: geofisic@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

A partir de una carta de anomalías de Bouguer que cubre una extensa área en el centro oeste de Argentina entre 65° y 70° de longitud oeste y entre 28° a 33° de latitud sur se aplicaron diferentes técnicas de deconvolución de Euler, *tilt* y su gradiente. Para la deconvolución de Euler, se consideró una ventana de 30 km por 30 km, teniendo en cuenta el ancho de las estructuras topográficas visibles de la Precordillera, Sierras Pampeanas y el Sistema de Famatina. Se probaron diferentes índices estructurales, adoptando los índices de 0,5 y 1, debido a que definen más claramente las alineaciones de soluciones de Euler, permitiendo vincularlas a suturas entre terrenos, reconocidas geológicamente y al menos con cinco fallamientos con rumbo E-W. Los resultados obtenidos, fueron confirmados por otras dos técnicas: *tilt* y su gradiente, señalando que existe una muy buena correspondencia entre técnicas independientes entre sí.

Palabras clave: *Gravimetría, Andes Centrales, Suturas, Acrición, Terrenos, Lineamientos.*

ABSTRACT: *Regional lineaments in the crystalline basement based on a gravimetric analysis.* A Bouguer anomaly chart corresponding to a broad area in Argentina between 65° and 70° west longitudes and 28° and 33° south latitudes was dealt with Euler deconvolution, tilt and tilt gradient methods. For the Euler deconvolution method a 30 km by 30 km square window was considered, taking into account the widths of the involved structures of Precordillera, the Sierras Pampeanas and the Famatina System. Different structural indexes were also tested, adopting 0,5 and 1 as optimal values since the results can be related to well known terrane sutures and at least five E-W big faults lineaments. Results are confirmed by other two techniques: tilt and gradient tilt, these tests show good agreement with the overlapping lineaments previously obtained.

Keywords: *Gravimetric, Central Andes, Sutures, Accretion, Terranes, Lineaments.*

INTRODUCCIÓN

La deconvolución de Euler es una potente herramienta de interpretación, tanto para datos gravimétricos como magnetométricos, que ha sido por varios años utilizada para hacer estimaciones de profundidad y formas de las fuentes causantes de las anomalías. La aplicación universal de esta técnica ha consistido en determinar la profundidad hasta el techo de las fuentes causantes de las anomalías gravimétricas o magnéticas (Thompson 1982, Roy *et al.* 2000, Keating 1998).

En el presente trabajo se aplicó exitosamente esta técnica para obtener en la amplia zona ubicada por sobre la zona de subducción plana de la placa de Nazca, grandes lineamientos que relacionamos con zonas de suturas y zonas de fallamientos con direcciones E-W.

La deconvolución de Euler se basa en la ecuación de homogeneidad de Euler y adiciona un índice estructural para producir las estimaciones de profundidad. Usados conjuntamente, el índice estructural y las estimaciones de profundidad, permite identificar y hacer valoraciones de profundidades para una amplia variedad de estructuras geológicas tales como fallas, contactos, diques, intrusivos, etc. (Reid *et al.* 1990, Roy *et al.* 2000).

En el presente trabajo, a partir de una base de datos gravimétricos pertenecientes al Instituto de Física de Rosario (Universidad Nacional de Rosario - CONICET) y al Instituto Geofísico Sismológico Ing. F.S. Volponi (Universidad Nacional de San Juan), que abarca una vasta región del oeste argentino, comprendida entre las coordenadas 70° y 65° de longitud oeste y entre 28° y 33° de latitud sur,

con más de 2.500 puntos gravimétricos, se confeccionó una carta de anomalías de Bouguer, en el sistema IGSN71. Esta carta fue procesada mediante la técnica de deconvolución de Euler, a efectos de obtener las soluciones de las profundidades de las fuentes causantes de las anomalías e interpretar los resultados obtenidos para distintos índices estructurales.

Se evaluaron también los gradientes de la grilla de anomalía de Bouguer, con el propósito de correlacionar los resultados de la deconvolución de Euler.

Marco geológico

El área de estudio se ubica sobre la zona de subducción subhorizontal de la placa de Nazca, entre los 28° y 33° 30' de latitud sur de acuerdo con Jordan *et al.*

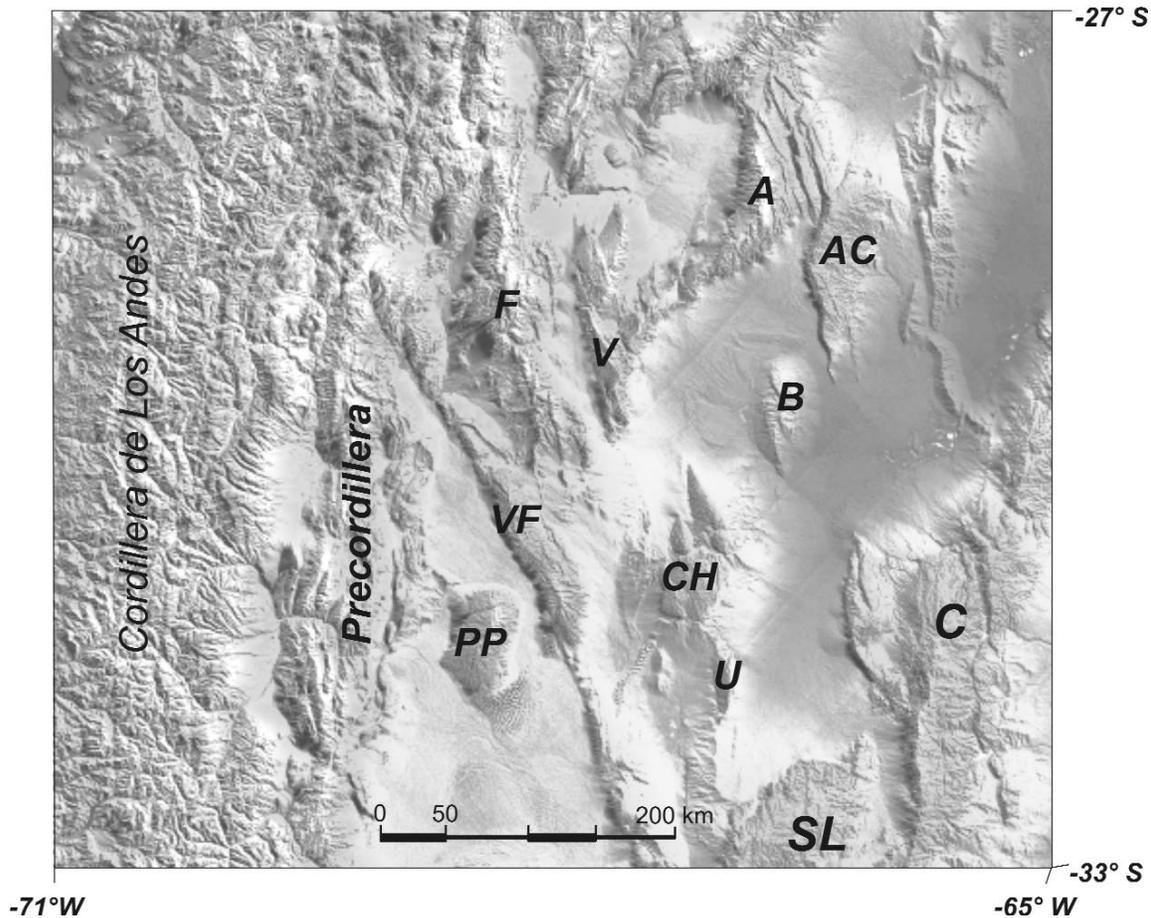


Figura 1: Carta del modelo de elevación digital del terreno, que cubre ampliamente la región de estudio y sobre el cual se indican las principales estructuras orogénicas y sierras tales como: PP: Pie de Palo, CH: Chépes-Los Llanos, U: Ulapes, SL: San Luis, C: Córdoba, VF: Valle Fértil, F: Sistema de Famatina, V: Velasco, A: Ambato, AC: Ancasti, B: Brava, Precordillera y Cordillera de los Andes.

(1983), entre otros (Fig. 1). Este fenómeno, ha provocado un excepcional desarrollo de los Andes en sentido longitudinal, con la formación de la Precordillera de la Rioja - San Juan y Mendoza y las Sierras Pampeanas. De esta manera se han involucrado en la cuña de deformación sectores del antepaís con escaso espesor sedimentario. Las exposiciones del basamento han permitido elaborar una compleja historia de amalgamación de terrenos entre el Proterozoico superior al Paleozoico en el margen gondwánico (Ramos 1988, 2004, Astini y Rapallini 2003). Las correspondientes suturas entre bloques son identificables a partir del hallazgo de cinturones de rocas básicas a ultrabásicas que representan secuencias ofiolíticas, así como de cuerpos ígneos calcoalcalinos que representan las raíces

de antiguos arcos volcánicos y que se hallan hacia el este del frente volcánico cenozoico.

Un complejo de *melange* y ofiolitas en la región entre la Precordillera y las Sierras Pampeanas (Ramos *et al.* 1986), indican que un espacio oceánico, pudo haber existido entre la Precordillera y el margen del Gondwana.

La colisión del basamento de la Cordillera Frontal, que constituye el terreno de Chileña, ocurrió durante el Devónico superior a Carbonífero inferior. La naturaleza del basamento de Chileña no es bien conocida porque las rocas precámbricas son escasas en la Cordillera Frontal. No obstante el afloramiento de las riolitas y granitos del Paleozoico superior, sugieren la presencia de un viejo basamento siálico (Mpodozis y Ramos

1989). La colisión causó el levantamiento de un elemento positivo, la Protoprecordillera de Roller y Baldis (1967). Este bloque levantado dividió las facies del Paleozoico superior.

En síntesis, la parte más austral de Sudamérica es un complejo mosaico de bloques cratónicos que se acrecieron a lo largo del margen suroccidental de Gondwana entre el Precámbrico y el Paleozoico temprano (Ramos 1988). Los modelos actuales que explican el desarrollo de esta región se asumen en términos de interacciones de placas y ciclos orogénicos.

Los métodos potenciales han contribuido en la detección de los bordes de las placas litosféricas, mediante la interpretación del par positivo-negativo (elevado gradiente) causado por la convergencia

de las mismas (Thomas 1983, Ramé *et al.* 1995, Giménez *et al.* 2000, Martínez y Giménez 2003). Estas suturas representan la destrucción de la litósfera oceánica, y la consecuente yuxtaposición de terrenos desplazados controlan la reactivación de las fallas normales e inversas posteriores, redistribuyendo las masas de los materiales que constituyen el basamento (Beumont 1981).

METODOLOGÍA

La anomalía de Bouguer (Fig. 2) fue calculada en el Sistema Internacional de 1971, y los datos referidos a la estación fundamental de Miguelete. Las observaciones gravimétricas fueron reducidas topográficamente.

El cálculo de anomalías de gravedad se efectuó mediante las clásicas expresiones siguiendo lo manifestado por Hinze *et al.* (2005). La reducción topográfica se evaluó dentro de la zona de Hayford, con segmentos circulares de terreno hasta 167 km de diámetro. Para la reducción de Aire Libre se consideró un gradiente normal de 0.3086 mGal/m. En tanto que para la reducción de Bouguer se asume una densidad de $\sigma = 2,67 \text{ g/cm}^3$.

La carta de anomalías de Bouguer (Fig. 2), refleja los rasgos estructurales más importantes de la región en estudio. Es interesante destacar que esta carta sin ningún tipo de filtro se observan rasgos tales como por ejemplo: 1) hacia el oeste el gran negativo coincidente con la Cordillera de los Andes, ratificando anteriores estudios gravimétricos (Introcaso *et al.* 1990, Martínez *et al.* 1995, Introcaso 1997, entre otros), 2) los positivos referentes a las sierras de Valle Fértil y su prolongación hacia el sur, de Pie de Palo y de Chepes, todas ellas con características de alta densidad (Giménez *et al.* 2000, Introcaso *et al.* 2004). Estas han sido interpretadas como una colisión de arcos islándicos (Vujovich 1993, Martínez 1997), 3) los positivos sobre la sierra de Velasco, coincidiendo con observaciones ya realizadas por Martínez *et al.* (1999) y posteriores.

Deconvolución de Euler

Consideremos cualquier función de tres coordenadas cartesianas x, y, z denotada por $f(x,y,z)$. El plano de observación se tomará como el plano $z = 0$ y z positivo hacia abajo. Por convención, el eje x apunta al norte y el eje y al este.

La función $f(x,y,z)$ se dice que es homogénea de grado n si:

$$f(tx, ty, tz) = tn f(x, y, z) \quad (1)$$

Más aún se puede demostrar que si $f(x, y, z)$ es homogénea de grado n , satisface la siguiente ecuación:

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = nf \quad (2)$$

Esta ecuación diferencial parcial se conoce como ecuación de homogeneidad de Euler o simplemente ecuación de Euler.

Índice estructural

Consideremos un punto fuente (masa puntual, dipolo magnético, etc.) localizado en el punto x_0, y_0, z_0 relativo al plano de medida. La gravedad será de la forma:

$$G(x, y) = f[(x - x_0), (y - y_0), z_0] \quad (3)$$

La ecuación de Euler para la forma funcional (2) se puede escribir como:

$$(x - x_0) \frac{\partial G}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial G}{\partial y} - z_0 \frac{\partial G}{\partial z} = NG(x,y) \quad (4)$$

Siendo, N : el índice estructural (comúnmente llamado SI).

Los gradientes en las tres direcciones cartesianas se pueden calcular usando la teoría de campo potencial en el dominio del espacio o número de onda. En algunos casos, el gradiente vertical puede ser medido y usado directamente en la ecuación (4).

La ecuación (4) se puede usar para analizar datos gravimétricos mapeados. Las derivadas o gradientes en la ecuación (4) pueden medirse, o más comúnmente, calcularse a partir de los datos. Las únicas

cantidades que no se conocen en la ecuación son x_0, y_0, z_0 y N . Las coordenadas (x_0, y_0, z_0) , representan la profundidad y ubicación a lo largo del perfil de la fuente puntual y N simboliza el tipo de fuente que mejor representa la anomalía. Es fácil de verificar que modelos simples han preescrito valores de N (comúnmente llamado SI). De Reid *et al.* (1990), se extrajo algunos ejemplo de modelos simples, utilizando un $SI = 0.5$, se resaltan las zonas de contactos; para $SI = 1$, los cuerpos cilíndricos verticales (diques), y para $SI = 2$, fuentes puntuales esféricas (concentración de minerales).

El índice estructural (SI) es también una medida de cuán pronunciada es la anomalía relativa a su profundidad. Muchos rasgos geológicos tienen distintos índices estructurales (Reid *et al.* 1990).

Se aplicó ésta técnica (deconvolución de Euler) a la carta de anomalías de Bouguer (Fig. 2) la que fue regularizada mediante la técnica de la transformada rápida de Fourier manteniendo una equidistancia de 2.5 km. Dos parámetros fueron necesarios tener en cuenta para el cálculo: el tamaño de la ventana móvil y el índice estructural.

Para la elección del tamaño de la ventana móvil, se realizaron numerosas pruebas con diversos anchos de ventana, obteniéndose los mejores resultados para un ancho de 30 km, coincidentes con las estructuras orogénicas visibles en superficie. Valores menores a este enfatizan inhomogeneidades locales y superficiales, y por el contrario con valores de ventanas mayores al elegido provoca una pérdida en la resolución de las soluciones.

El segundo parámetro, el índice estructural, para gravimetría varía gradualmente desde 0.5 a 2 (Reid *et al.* 1990, Keating 1998, Roy *et al.* 2000). Las soluciones calculadas por la deconvolución de Euler, se ubican siempre en los bordes estimados de las inhomogeneidades de las densidades y altos gradientes. El resultado es un conjunto de puntos a diferentes profundidades que pueden ser interpretados geológicamente, sin conocer la distribución de densidades. Esto es debido a que el

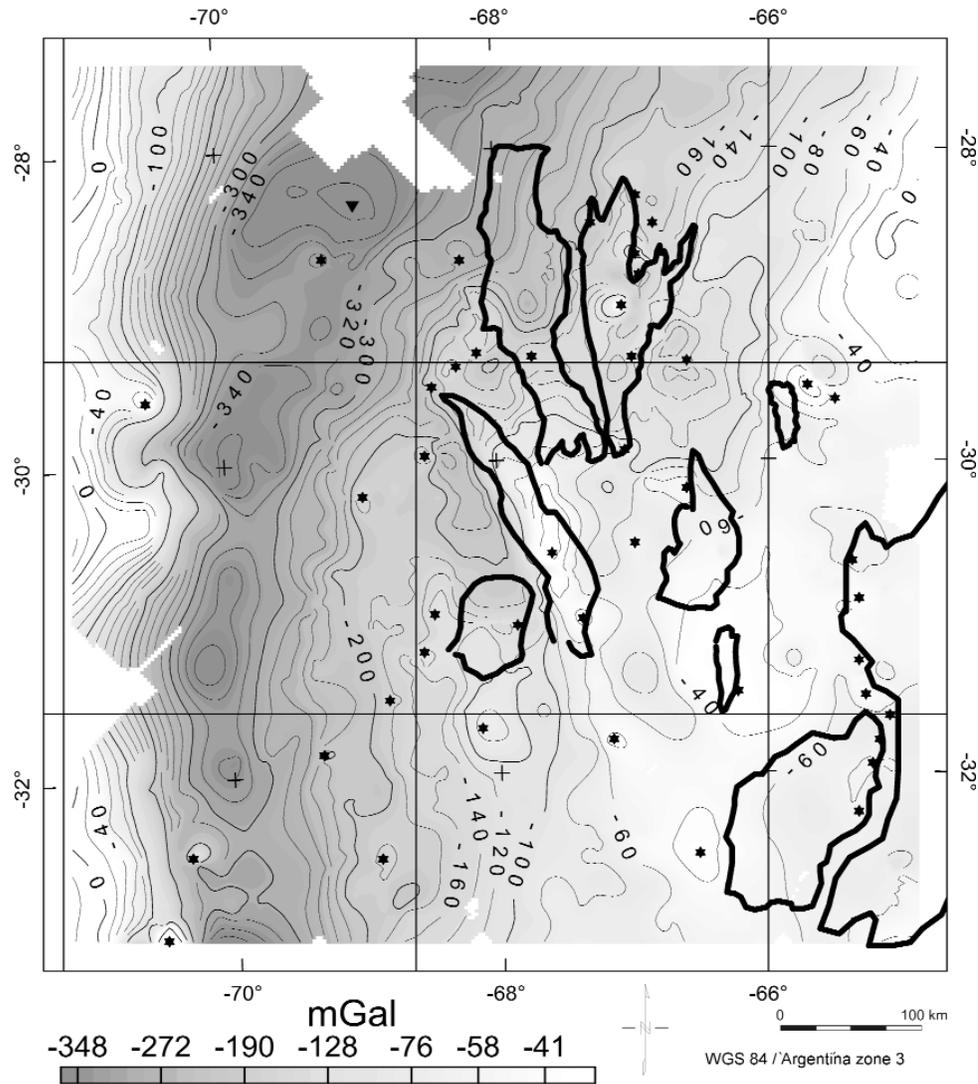


Figura 2: Carta de anomalías de Bouguer. Equidistancia de las isonómalas: 20 mGal. Se han superpuesto los contornos de las principales Sierras Pampeanas para su georeferenciación, estas son: PP: Pie de Palo, U: Ulapes, VF: Valle Fértil, CH: Chepes-Los Llanos, B: Brava, F: Sistema de Famatina, V: Velasco.

método opera matemáticamente con un sistema sobredimensionado de ecuaciones, y la solución encontrada será la que mejor se ajuste a los valores de gravedad observados mediante la técnica de mínimos cuadrados.

Las profundidades de las fuentes encontradas para los índices estructurales (0,5, 1, 1,5 y 2), varían desde 0,75 km a 35 km de profundidad. Las soluciones obtenidas con un SI = 0,5 y SI = 1 permitieron delinear claramente las soluciones e interpretarlas. Finalmente los índices de SI = a 1.5 y 2, fueron descartados, ya que no aportaban mayor información que la

ya analizada con los índices anteriores. En todos los casos se prefijó un error máximo en la ubicación de las soluciones de la deconvolución de Euler (para las tres componentes) en un valor menor o igual a 1 km.

RESULTADOS

Analizando las soluciones de la deconvolución de Euler, se observa alta estabilidad y coherencia en las mismas (Roy *et al.* 2000). En la figura 4a se ha realizado la interpretación sobre las soluciones que arroja el SI = 0.5. De esta manera, es po-

sible hacer la correspondencia entre el alineamiento de estas soluciones y los grandes fallamientos reconocidos o zonas de suturas marcados con líneas continuas de color gris oscuro en la figura 4a. Siguiendo el mismo criterio se han marcado con líneas de color gris claro, los posibles fallamientos transversales (Fig. 4a). Seguidamente se han trasladado estos alineamientos sobre los contornos de las principales Sierras Pampeanas y identificándose numéricamente cada alineación (Fig. 4b) y, sin intentar hacer un análisis exhaustivo, entre las alineaciones que se interpretan se pueden correlacionar

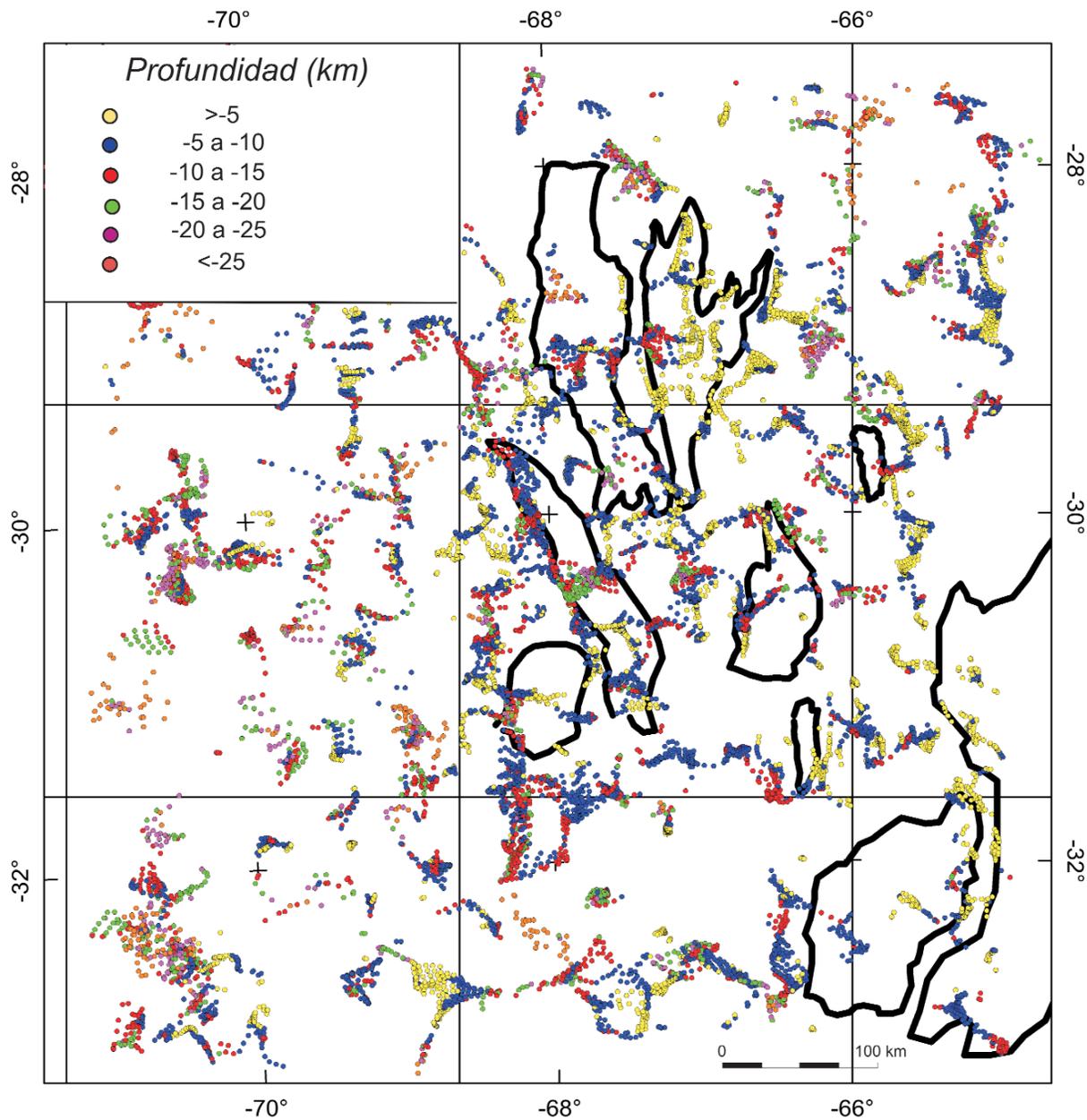


Figura 3: Deconvolución de Euler con índice estructural de 0,5, aplicado a la anomalía de Bouguer.

con claridad:

1) La zona de sutura con ofiolitas entre el terreno Chilena y el de Cuyania (Ramos 1988). En este caso con la porción del terreno Cuyania correspondiente a la Precordillera, propuesta por Mpodozis y Ramos (1989), Ramos (2004), entre otros.

2) La zona de sutura coincidente con la alineación de la megafalla Desaguadero Bermejo, que pone en contacto el terreno Cuyania y el de Famatina. Esta ha sido

ampliamente reconocida geológica y geofísicamente por Martínez (1997), Vujo-
vich *et al.* (2004), Zapata (1998), Ramos *et al.* (2002), Martínez y Giménez (2003), Introcaso *et al.* (2004), etc.

3) La zona de sutura entre los terrenos de Famatina y Pampia. Identificada entre otros por Astini *et al.* (1996), Ramos *et al.* (2002) y Martínez y Giménez (2003).

4) La sutura en el borde W de la Sierra de Córdoba ubicada entre Pampia y el terreno de Córdoba de acuerdo con Leal *et al.*

(2003), o entre Pampia y el craton del Río de la Plata según Ramos *et al.* (2002). Esta separa las Sierras de Chepes -Ulapes y las sierras de San Luis, de las sierras de Córdoba.

5) La sutura que separa dentro del terreno Cuyania, el sector de Precordillera con el sector de Pie de Palo, propuesto por Benedetto y Astini (1993), Ramos (1995), Astini *et al.* (1996) y Keller (1999). Este lineamiento ha sido reconocido desde los trabajos de Ortiz y Zambrano (1981).

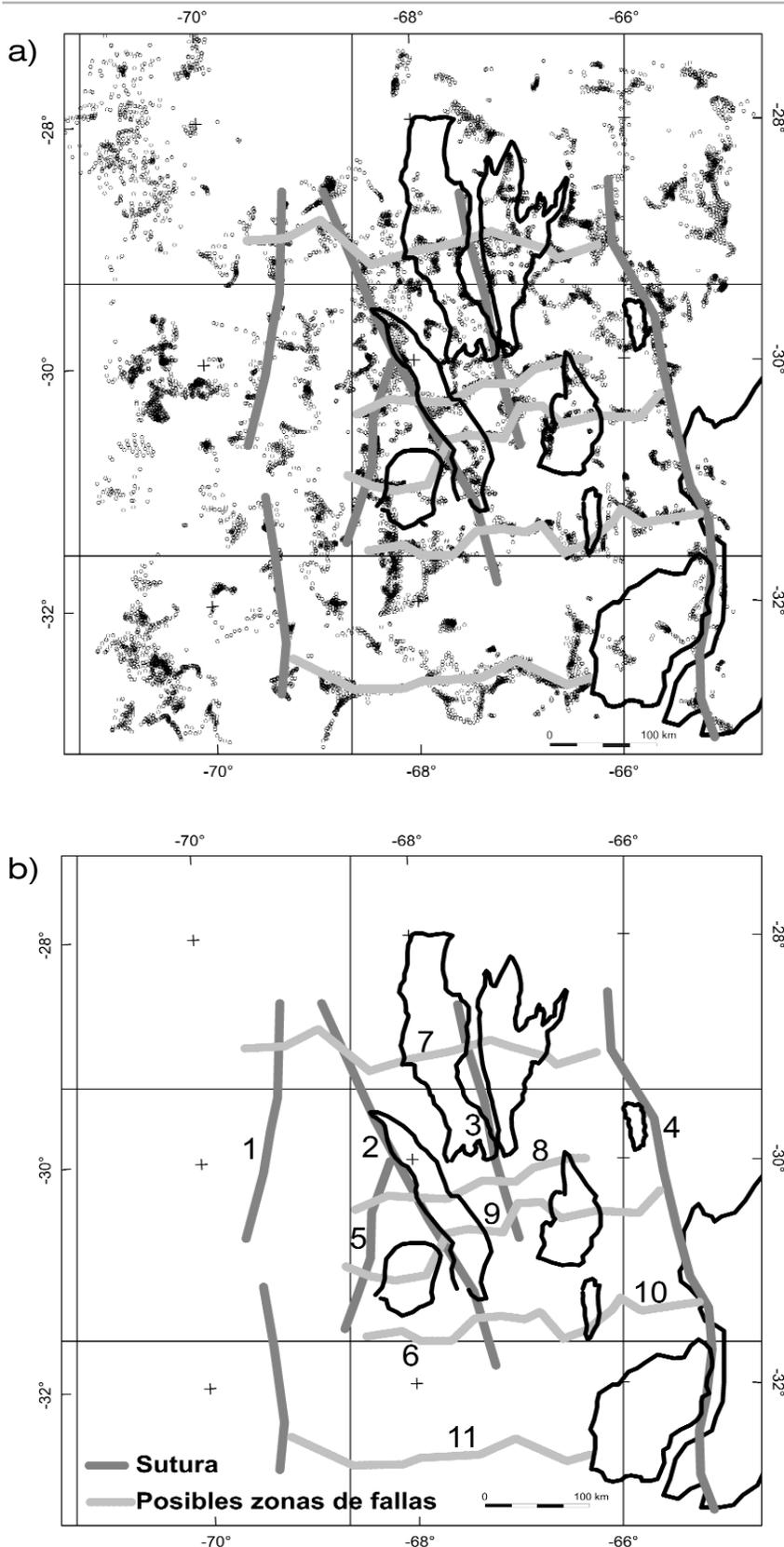


Figura 4: a) Interpretación de la deconvolución de Euler. b) Interpretación de la deconvolución de Euler, sobre los contornos de las principales Sierras Pampeanas para su georeferenciación.

6) Es de destacar el conjunto de soluciones concéntricas en la parte austral de la sierra de Pie de Palo. Estas coinciden con el alto estructural propuesto por Ortiz y Zambrano (1981).

En cuanto a los alineamientos transversales paralelos y regionales de dirección E-W, podemos decir que podrían coincidir con:

7) La continuación de la megafractura de Aconquija, propuesta por Baldis *et al.* (1982).

8) Con el lineamiento propuesto por Ortiz y Zambrano (1981) o la megafractura de Ambato propuesta por Baldis *et al.* (1979).

9) Con la megafalla Salinas Grandes (Baldis *et al.* 1979, entre otros).

10) Este lineamiento, con algún desplazamiento, se correspondería con la megafractura de Quilmes (Baldis *et al.* 1979).

11) Este lineamiento aún no relacionado con rasgos geológicos conocidos.

Método del *tilt*

Otra técnica similar al gradiente horizontal, es el cálculo de la derivada de las pendientes de la carta de anomalías (*tilt*) y del gradiente de ésta última (Thurston y Smith 1997, Verduzco *et al.* 2004). Esta técnica es de suma utilidad para mapear estructuras de basamento, y consiste en:

$$Tilt = \arctan \left(\frac{\partial g / \partial z}{\sqrt{(\frac{\partial g}{\partial x})^2 + (\frac{\partial g}{\partial y})^2}} \right) \quad (5)$$

Donde:

$\partial g / \partial z$: es el gradiente vertical de gravedad

$\sqrt{(\frac{\partial g}{\partial x})^2 + (\frac{\partial g}{\partial y})^2}$ es el gradiente horizontal total del campo gravimétrico

El gradiente del tilt se define como:

$$GradTilt = \sqrt{\left(\frac{dTilt}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dTilt}{dy}\right)^2} \quad (6)$$

Las cartas de *tilt* y su gradiente se observan en las figuras 5 y 6 respectivamente. Estas técnicas de procesamiento, *tilt* (Fig. 5) y su gradiente (Fig. 6), permiten aus-

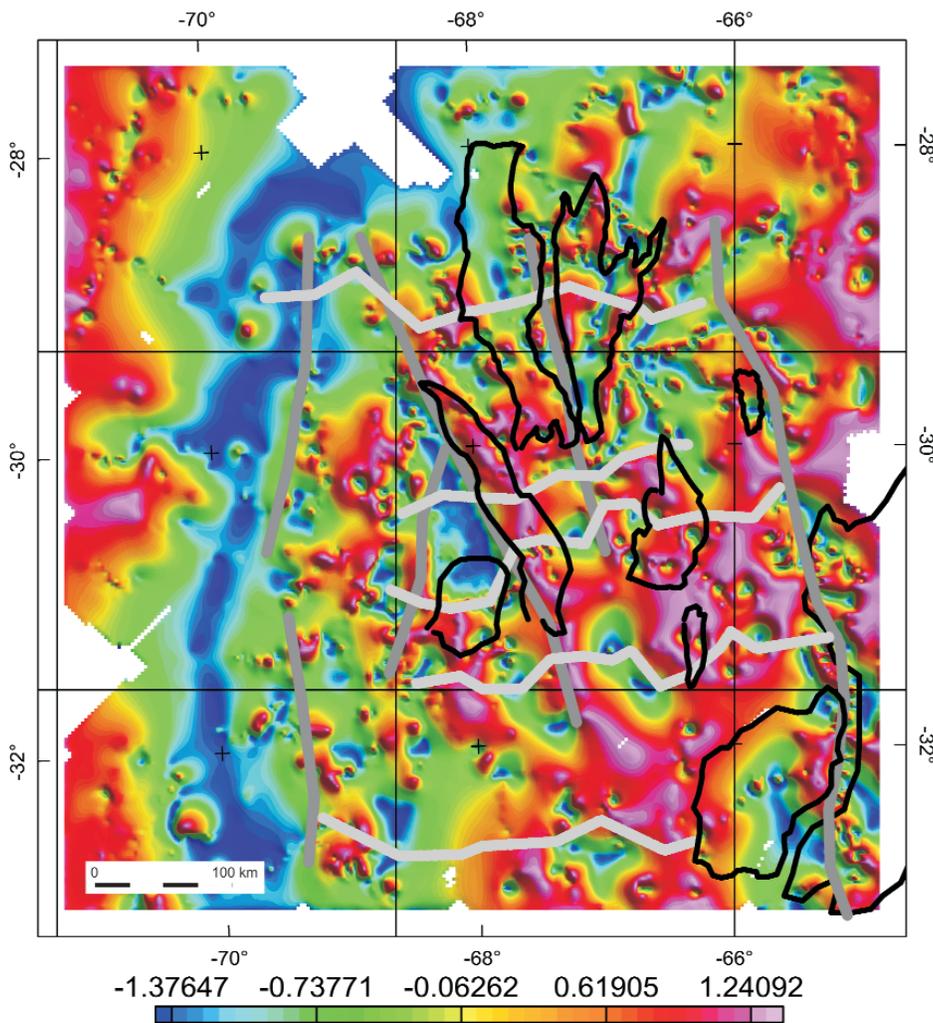


Figura 5: Carta de *tilt* aplicada a la anomalía de Bouguer. Se ha superpuesto la interpretación realizada de los alineamientos de la deconvolución de Euler.

cultar las heterogeneidades del basamento, tales como por ejemplo fallas, resaltos o discontinuidades. Sobre ambas (Figs. 5 y 6) se ha superpuesto la interpretación efectuada en figuras 4a y b, referente a las alineaciones de la deconvolución de Euler. En ambos casos, se puede apreciar la coherencia que existe entre ambas técnicas totalmente independientes y sin embargo las alineaciones de las suturas en mayor medida, y de los posibles fallamientos en menor medida, son consistentes. Esto fortalece la interpretación aquí realizada y estaría confirmando las interpretaciones geológicas que sugirieron la amalgamación de terrenos entre el Proterozoico superior al Paleozoico en el margen gondwánico (Ramos 1988, 2004, Astini y Rapallini 2003, entre otros).

CONCLUSIONES

El presente abarca el segmento de subducción subhorizontal de la placa de Nazca, entre los 28° y 33° de latitud sur y entre los 70° y 65° de longitud oeste. Mediante una sensible técnica de procesamiento de datos gravimétricos, se ha realizado una interpretación de las soluciones de la deconvolución de Euler. Posteriormente se ha aplicado el método del *tilt* y su gradiente. Estas técnicas, independientes entre sí, nos proponen cinco grandes alineaciones que se pueden correlacionar con las interpretaciones geológicas denominadas suturas que sugieren que la región bajo estudio es un complejo mosaico de bloques cratónicos que se dispusieron juntos a lo largo del margen suroccidental de Gondwana entre el

Precámbrico y el Paleozoico temprano. Asimismo, se pueden inferir también cinco posibles fallamientos transversales y paralelos entre sí, con dirección E-W. Esta interpretación, asumida como preliminar, será motivo de futuros trabajos que densifiquen las áreas de menor cobertura de datos como así también de la adquisición y procesamiento de la información magnetométrica, que por el momento es escasa para su comparación con la gravimétrica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Graciela Vujovich y al Dr. José Kostadinoff por sus valiosos comentarios y sugerencias que permitieron mejorar el presente trabajo. A CONICET por el subsidio del

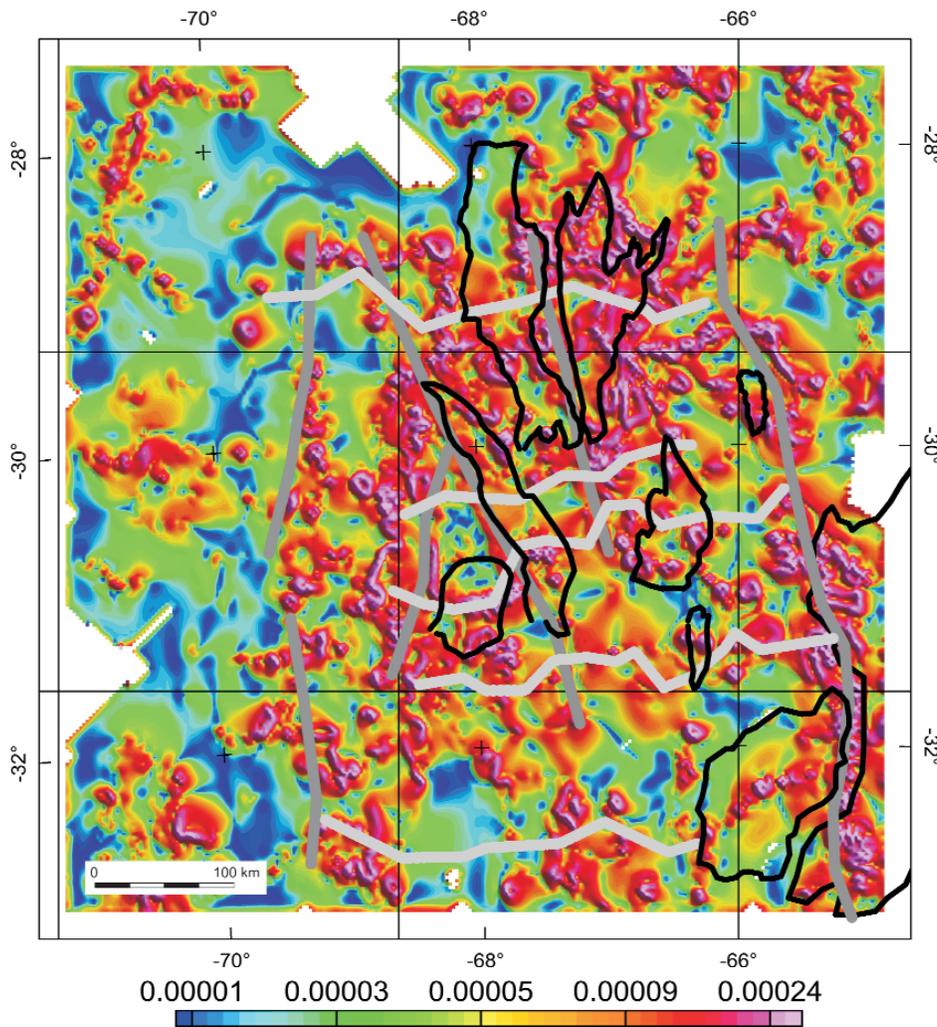


Figura 6: Carta de gradiente de tilt, en la que se ha superpuesto la interpretación de los alineamientos de la deconvolución de Euler.

PIP 6044 que financió las campañas de relevamiento de datos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Astini, R.A. y Rapalini, A.E. 2003. Proterozoic-Early Paleozoic evolution in western South America. *Tectonophysics* 366:143-148.
- 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 de la Asociación Geológica Argentina* 4: 294-311.
- Baldis, B., Beresi, M., Bordonaro, O. y Vaca, A. 1982. Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 4: 399-445.
- Beumont, C. 1981. Foreland Basins. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 65: 291-329.
- Benedetto, J.L. y Astini, A. 1993. A collisional model for the stratigraphic evolution of the Argentine Precordillera during the Early Paleozoic. 2° Symposium International Géodynamique Andine, Proceedings 93: 501-504, París.
- Giménez, M., Martínez, M.P., 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.
- Hinze, W., Aiken, C., Brozena, J., Coakley, B., Dater, D., Flanagan, G., Forsberg, R., Hildenbrand, T., Keller, R., Kellogg, J., Kucks, R., Li, X., Mainville, A., Morin, R., Pilkinton, M., Plouff, D., Ravat, D., Roman, D., Urrita-Fucugauchi, J., Véronneau, M., Webring, M. and Winchester, D. 2005. New Standards for Reducing Gravity Data: The North American Gravity Database. *Geophysics* 70 (4): J25-J32.
- Introcaso, A. 1997. Isostatic systems and tectonic mechanisms present in Argentina. *Geoacta* 22: 1-19.
- Introcaso, A., Pacino, M.C. y Fraga, H.R. 1990. Gravedad, Isostasia y acortamiento cortical andino entre las latitudes 30° S y 35° S. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 247-250, San Juan.
- Introcaso, A., Martínez, M.P., Giménez, M.E. y Ruiz, F. 2004. Gravi-magnetometric study of the Desaguadero Bermejo lineament separating Cuyania and Pampia terrains between 28° 45' and 31° 30' South latitude. *Gondwana Re-*

- search, Special Issue: Cuyania, an exotic block to Gondwana 7(4):117-1132.
- 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.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brewer, J.A., Ramos, V.A. y Ando, C.J. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America, Bulletin* 94: 341-361.
- Jordan, T., Schlunegger, F. y Cardozo, N. 2001. Unsteady and Spatially Variable Evolution of the Neogene Andean Bermejo Foreland Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 775-798.
- Keating, P.B. 1998. Weighted Euler deconvolution of gravity data. *Geophysics* 63: 1595-1603.
- Keating, P. y Pilkington, M. 2004. Euler deconvolution of the analytic signal and its application to magnetic interpretation. *Geophysical Prospecting* 52: 165-182.
- Keller, M. 1999. Argentine Precordillera, sedimentary and plate tectonic history of a Laurentian crustal fragment in South America. *Geological Society of America, Special Paper* 342: 1-131.
- Leal, P.R., Hartmann, L.A., Santos, J.O.S., Miró, R.C. y Ramos, V.A. 2003. Volcanismo postorogénico en el extremo norte de las Sierras Pampeanas Orientales: Nuevos datos geocronológicos y sus implicaciones tectónicas. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología de las Sierras Pampeanas*, Revista de la Asociación Geológica Argentina 58: 593-607.
- Mansen, R.O. y Simmonds, M. 1993. Multiple-source Werner deconvolution. *Geophysics* 58: 1792-1800.
- Martínez, M.P. 1997. Estudio del levantamiento de la Sierra de Valle Fértil. (Provincia de San Juan). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, (inédita), 153 p., San Juan.
- Martínez, M.P. y Giménez, M.E. 2003. Fuerte Anomalía Gravimétrica Residual Positiva en el Sistema de Famatina y su Relación con Paleosuturas. Explicaciones Alternativas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(2): 176-186.
- Martínez, M.P., Giménez, M., Introcaso, A. 1999. Estudio Gravimétrico preliminar de la Sierra de Velasco. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 302-305, Salta.
- Martínez, M.P., Giménez, M.E. y Robles, J.A. 1995. Combinación de Acortamiento Cortical y Adición Magmática para la génesis del edificio andino a través de datos gravimétricos. *Revista Brasileira de Geofísica* 13(3): 221-228.
- Mpodozis, C. y Ramos, V.A. 1989. The Andes of Chile and Argentina. En Ericksen, G.E., Cañas, M.T. y Reinemund, J. (eds.) *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences Series 11: 59-90.
- Ortiz, A. y Zambrano, J.J. 1981. La Provincia Geológica Precordillera Oriental. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 59-74, San Luis.
- Ramé, G.A., Kraemer, P.E. e Introcaso, A. 1995. Evidencia geofísica de un Orógeno Colisional para el basamento Proterozoico de las Sierras de Córdoba. Argentina. 4° Congreso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1° Conferência da União Latino-Americana de Geofísica, 2: 1041-1044, Rio de Janeiro.
- Ramos, V.A. 1982. Descripción Geológica de la Hoja 20 f, Chepes. Provincia de La Rioja. Servicio Geológico Nacional, Boletín 188, 52 p., Buenos Aires
- Ramos, V.A. 1988. The tectonics of the central Andes, 30° to 33° S latitude. En Clark, S. Burchfiel, D. y Suppe, J. (eds.) *Processes in Continental Lithospheric Deformation*, Geological Society America, Special Paper 218, 31-54.
- Ramos, V.A. 2004. Cuyania, an Exotic Block to Gondwana: Review of Historical Success and the Present Problems. *Gondwana Research* 7(4):1009-1026.
- Ramos, V.A., Jordan, T., Allmendinger, R., Mpodozis, C., Kay, S., Cortez, J. y Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine Chilean Andes. *Tectonics* 5: 855-880.
- Ramos, V.A., Escayola, M., Mutti, D. y Vujovich, G.I. 2001. Proterozoic-early Paleozoic ophiolites in the Andean basement of southern South America. En Dilek, Y. y Moores, E. (eds.) *Ophiolites and Oceanic Crust: New insights from Field Studies and Ocean Drilling Program*. Geological Society of America, Special Paper 349: 331-349.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. y Pérez, D.J. 2002. The Pampean Flat-Slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, M., Millett, A.J., Somerton, I.W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics* 55: 80-91.
- Rolleri, E. y Baldi, B. 1967. Paleogeography and distribution of Carboniferous deposits in the Argentina Precordillera. *Coloquio UICG: La estratigrafía del Gondwana*, Ciencias de la Tierra, (2): 1005-10024, Paris.
- Roy, L., Agarwal, B.N.P. y Shaw, R.K. 2000. A new concept in Euler deconvolution of isolated gravity anomalies. *Geophysical Prospecting* 48: 559-575.
- Thomas, M.D. 1983. Tectonic significance of paired gravity anomalies in southern and Central Appalachians. En Hatcher, R. y Williams, B. (eds.) *Contributions to Tectonics and Geophysics of Mountain Chains*. Geological Society of America, Memoir 158:113-124.
- Thompson, D.T. 1982. EULDPH: A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics* 47: 31-37.
- Thurston, J.B. y Smith, R.S. 1997. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip and susceptibility contrast using the SPITM method. *Geophysics* 62: 807-813.
- Verduzco, B. 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge* 23:116-119.
- Vujovich, G.I. 1993. Arcos Magmáticos islándicos en el Sector Occidental del Terreno Pampeano. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4:16-22, Mendoza.
- Vujovich, G.I., Fernandez, L.A. y Ramos, V.A. 2004. Cuyania: An exotic block to Gondwana. *Gondwana Research* 7(4): 1005 - 1007.
- Zapata, T.R. 1998. Crustal structure of the Andean thrust front at 30°S latitude from shallow and deep seismic reflection profiles, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 11:131-151.

Recibido: 19 de noviembre, 2007

Aceptado: 25 de abril, 2008