

EVIDENCIAS DE LA ZONA DE CONTACTO ENTRE LOS TERRENOS DE PRECORDILLERA Y PIE DE PALO, PROVINCIAS DE SAN JUAN Y MENDOZA

Maximiliano GARCÍA TORREJÓN¹, Orlando ALVAREZ PONTORIERO², Silvina NACIF³, Iván NOVARA³, Marcos SÁNCHEZ³, Silvana SPAGNOTO³, Patricia MARTINEZ^{1,3} y Mario GIMENEZ^{1,3}

¹ Instituto Geofísico y Sismológico Fernando Volponi - Universidad Nacional de San Juan, San Juan.

E-mails: maximiliano.a.garcia@gmail.com, mgimenez@unsj-cuim.edu.ar

² FONCYT-Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

RESUMEN

Se realizó un estudio gravimétrico en la región norte de la cuenca Cuyana, entre las provincias de San Juan y Mendoza. Mediante relaciones de gradientes gravimétricos tales como señal analítica, Tilt y fase del Tilt, se observó un marcado gradiente, que fue interpretado como un cambio lateral de litologías, que coincidiría con el área de una probable paleosutura del margen proto-andino, que separa en el terreno compuesto de Cuyania, al terreno de Precordillera con el terreno de Pie de Palo.

Palabras clave: *Terrenos, Cuyania, paleosutura, margen proto-andino, Precordillera, Pie de Palo.*

ABSTRACT

Evidence of the contact area between Precordillera and Pie de Palo terranes, Provinces of San Juan and Mendoza.

We made the study in the northern Cuyo basin, between the provinces of San Juan and Mendoza. In the present work we show the results of gravimetric processing data from this basin and surrounding region. We applied anomaly-enhancement techniques such as analytic signal, tilt and phase of tilt. This allowed the observation of a marked gradient, which was interpreted as a lateral variation in lithology, which would coincides with the area of paleosuture of the proto-Andean margin, which separates in the Cuyania composite terrane the Precordillera from the Pie de Palo terranes.

Keywords: *Cuyania, terranes, paleosuture, proto-Andean margin, Precordillera, Pie de Palo.*

INTRODUCCIÓN

Los depósitos calcáreos de la Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza constituyen una plataforma carbonática cuyo basamento integra junto con el bloque de San Rafael lo que se denomina actualmente como terreno de Cuyania (Astini *et al.* 1995, Ramos *et al.* 1996, Ramos 1999). Este terreno se habría separado del continente de Laurentia durante el Cámbrico Inferior temprano como lo atestiguan sus datos faunísticos (Borrello 1965, Benedetto y Astini 1993, Vaccari 1994, Benedetto 2004), sus polos paleomagnéticos (Rapalini y Astini 1998) y la naturaleza isotópica y geoquímica de su basamento (Kay *et al.* 1996).

Este terreno Cuyania se habría separado de Laurentia mediante un episodio de rifting preservado en la Precordillera riojana, donde los estratos continentales rojos y depósitos evaporíticos de la Formación Cerro Totorá anteceden los depósitos carbonáticos del Cámbrico Inferior portador de la trilobitofauna de *Olenellus* los cuales han sido interpretados como facies de sinrift (Astini y Vaccari 1996).

El terreno Cuyania colisionó con el terreno de Pampia entre los 460 y 470 millones de años durante la fase guandacólica del ciclo famatiniano y, desarrollándose una sutura entre las sierras de Valle Fértil y Pie de Palo como o han evidenciado Gimenez *et al.* (2000) por sus anomalías magnéticas y gravimétricas. La evolución

sedimentaria de la Precordillera Oriental muestra el desarrollo de los depósitos clásticos del sector oriental que se asocian en el inicio de la colisión a la extensión flexural con desarrollo de fallas normales (Astini 1997).

El terreno de Precordillera es una secuencia de plataforma carbonática cámbrico-ordovícica ampliamente reconocida en gran medida sobre la base de la evidencia de fauna procedente de Laurentia y su estratigráfica, como por la posición actual del margen de Gondwana (Benedetto *et al.* 1999, Keller 1999, Ramos 2004). En el este de Precordillera, tonalitas, granodioritas y volcánicas del arco famatiniano son interpretadas como producidos por la subducción hacia el este

del Paleozoico temprano de la litósfera oceánica por debajo del margen proto-andino (Pankhurst *et al.* 1998, 2000, Quenardelle y Ramos 1999).

Dentro de las Sierras Pampeanas occidentales, se encuentran afloramientos aislados de esquistos verdes a facies de anfibolita y complejos metamórficos del bloque de Pie de Palo que se presentan al oeste del arco y el este de la Precordillera. El modelo comúnmente aceptado considera el bloque Pie de Palo como el basamento expuesto a la plataforma carbonática cámbrico-ordovícica de Precordillera. El conjunto se denomina terreno Cuyana (Ramos 1988, 1995, Ramos *et al.* 1986). En este escenario la zona de sutura que separa la Precordillera del margen proto-andino coincide con el lineamiento Valle Fértil a lo largo del margen oriental del bloque de Pie de Palo (Vujovich *et al.* 2004). Un modelo alternativo considera el bloque Pie de Palo como parte del margen proto-andino, y la zona de sutura estaría marcada por el corrimiento Las Piriquitas (Galindo *et al.* 2004).

En un trabajo más reciente (Mulcahy *et al.* 2007) concluyen que el bloque de Pie de Palo no formaría parte del basamento del terreno de Precordillera, sino que sería un bloque independiente que se anexo a la Precordillera antes del Ordovícico, sugiriendo que el corrimiento de las Piriquitas no sería la zona de contacto entre ambos bloques.

En este trabajo, a partir de resultados obtenidos de un procesamiento de datos gravimétricos, se obtuvieron evidencias que indicarían la ubicación de la zona de sutura entre los terrenos de Precordillera y Pie de Palo.

UBICACIÓN Y METODOLOGÍA

El estudio se desarrolla en la zona limítrofe entre las provincias de San Juan y Mendoza. Entre los paralelos $31^{\circ}50'$ y 33° de latitud sur, y los meridianos $68^{\circ}50'$ y $67^{\circ}50'$ de longitud oeste. Contiene a la Precordillera por el oeste, a la sierra de Valle Fértil por el este, se extiende al sur

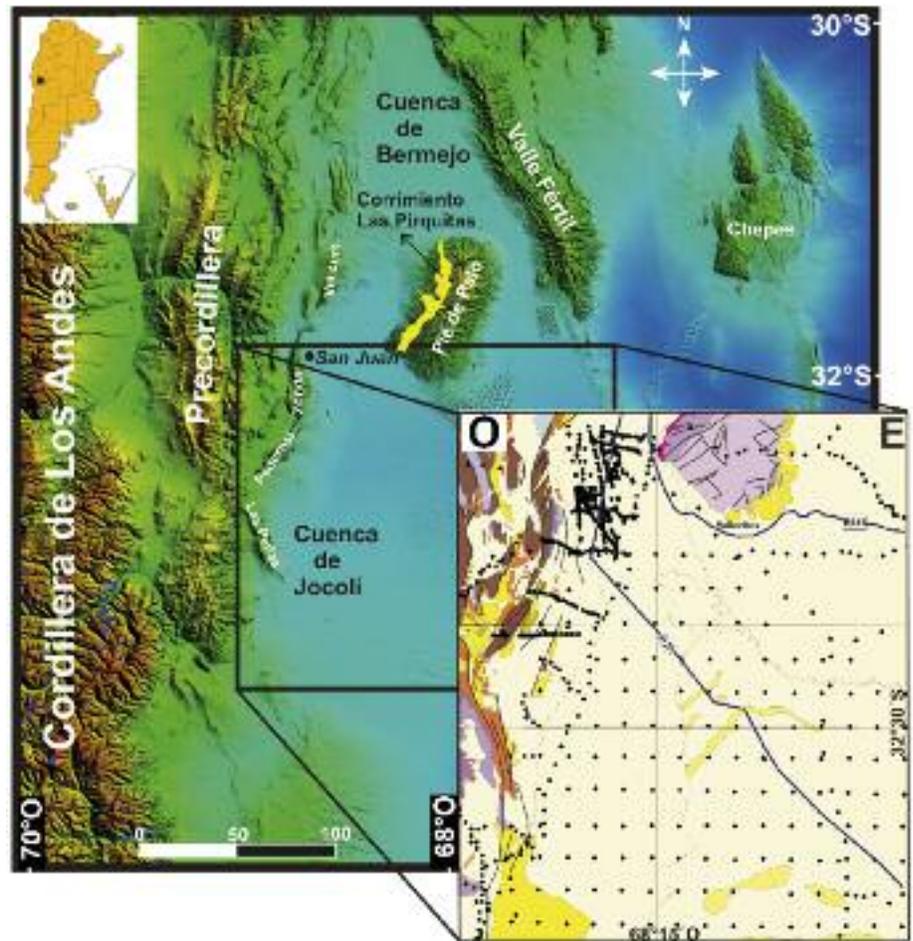


Figura 1: Ubicación general del área de estudio indicada con el recuadro en negro, la cual es ampliada para señalar la distribución de estaciones de gravedad y posicionamiento GPS en la zona analizada.

sobre la cuenca cuyana y se prolonga hacia el norte alcanzando la parte centro-sur de la sierra de Pie de Palo (Fig. 1).

Base de datos

Para el análisis, se contó con una base de datos gravimétricos de más de 20,000 datos de gravedad que cubren ampliamente la zona de análisis, perteneciente al Instituto Geofísico Sismológico Volponi - Universidad Nacional de San Juan, YPF y del Instituto de Física de Rosario. En el área de estudio alcanzan a 1,600 puntos de gravedad (Fig. 1). Todos los datos de gravedad, fueron referidos al sistema de referencia IGSN71, y vinculados con la estación fundamental Miguelete, a través del nodal 145 Ciudad de San Juan. La anomalía de Bouguer se calculó siguiendo

do lo manifestados por Blakely (1995), considerando un gradiente normal de $0,3086 \text{ mGal/m}$, y la densidad de $2,67 \text{ g/cm}^3$ para la corrección por losa plana (Hinze 2003). Las elevaciones topográficas se obtuvieron del modelo de elevación digital del terreno (*Shuttle Radar Topography Mission*) del Servicio Geológico de Estados Unidos y la NASA, y la grilla de corrección topográfica se adicionó a la anomalía de Bouguer.

La precisión submétrica en la determinación de la elevación topográfica, adicionada a la precisión de las mediciones gravimétricas, originaron un error de ± 3 décimas de mgal.

Resalto de anomalías

Se emplearon las técnicas de resalto de

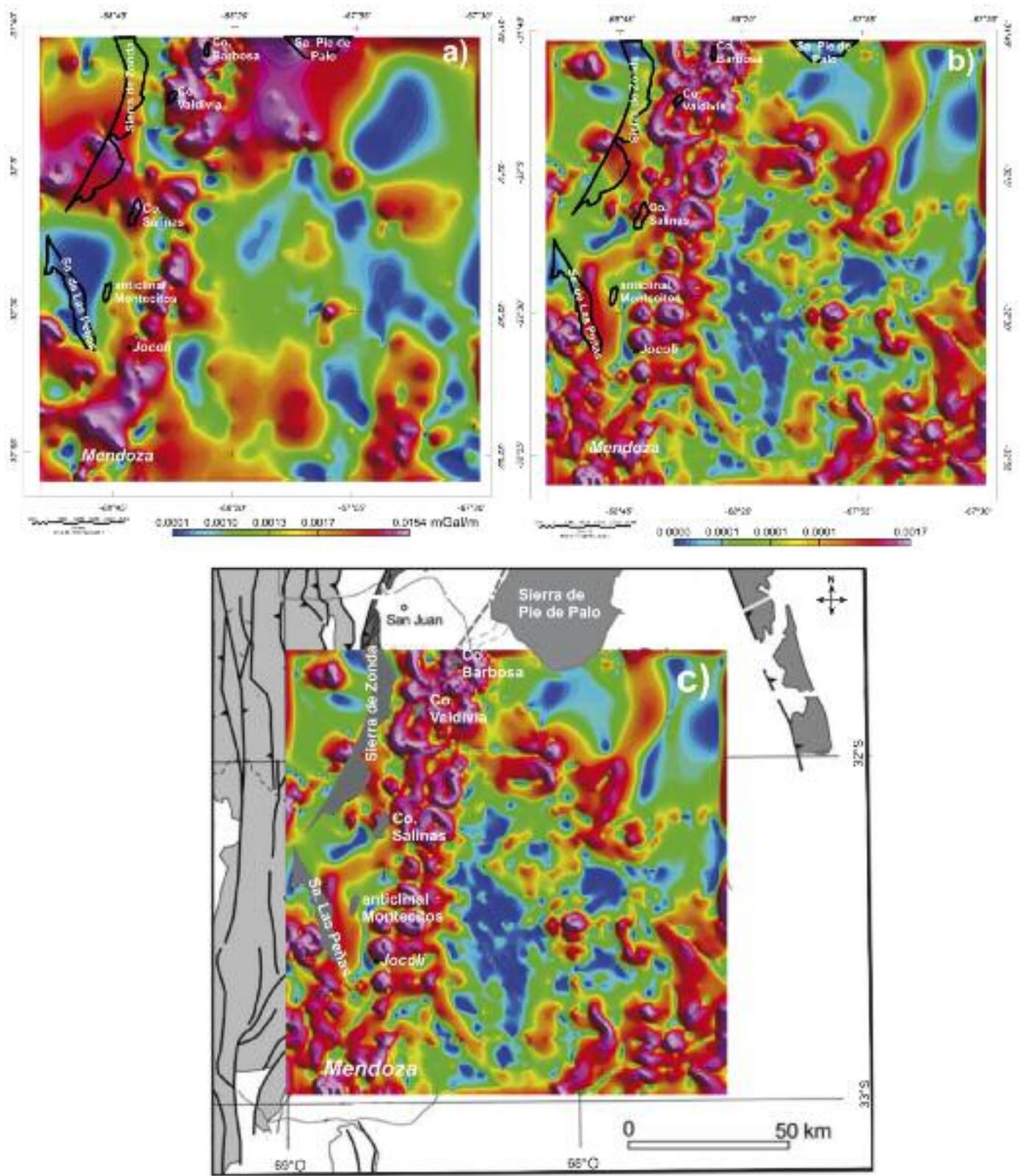


Figura 2: a) señal analítica de la anomalía de Bouguer; b) fase del tilt; c) mapa tectónico de Precordillera y Sierras Pampeanas occidentales entre las latitudes 31°30' sur y 33° sur, extraído y modificado de Verges *et al.* (2007). Sobre ésta imagen se ha superpuesto la fase del tilt de la anomalía de Bouguer, donde se observa un alto grado de coincidencia con la interpretación de la sutura realizada por da por éstos autores.

anomalías tales como la señal analítica, Tilt y fase del Tilt, a los valores grillados de anomalía de Bouguer.

Señal analítica: Ésta técnica basada en la metodología desarrollada por Nabighian (1972, 1974), es útil para resaltar anomalías producidas por discontinuidades geológicas locales. En general la aplicación de la señal analítica refuerza las anomalías de corta longitud de onda (Salem y Smith 2005). Su amplitud es una función simétrica en forma de campana cuyo máximo se ubica encima del contacto entre cuerpos, siendo el ancho de la curva de amplitud proporcional a la profundidad del mismo (Salem y Smith 2005). Se aplicó la señal analítica a la anomalía de Bouguer (Fig. 2a).

Tilt y fase del tilt: El tilt, se define en función de la relación entre las primeras derivadas vertical y horizontal del campo gravimétrico (Verduzco *et al.* 2004). Mientras que su gradiente horizontal, también denominado fase del tilt, es muy empleado en campos potenciales para mapear estructuras producidas por discontinuidades geológicas de corta longitud de onda (Fairhead *et al.* 2008, Salem *et al.* 2008), proporcionando un método eficaz para resaltar discontinuidades laterales en las estructuras geológicas.

Mientras que el tilt puede tomar valores positivos y negativos, la fase del tilt es al igual que la señal analítica solo positiva. Estas técnicas tienen mayor resolución y generan máximos definidos y centrados encima de los bordes de los cuerpos, acentuando el gradiente de las anomalías, debido a que opera con derivadas de orden mayor. El resultado de la aplicación de la fase del tilt, se observa en la figura 2b.

RESULTADOS

Las respuestas de la aplicación de la señal analítica (Fig. 2a), muestra que la alineación de los máximos se disponen en dirección norte-sur, entre la Precordillera y la sierra de Pie de Palo. Este fuerte gradiente coincidiría con una antigua zona de sutura que separaba dentro del terre-

no Cuyania, el sector de Precordillera con el sector de Pie de Palo. Esta zona de sutura fue propuesta por Benedetto y Astini (1993), y reconocida por Ramos (1995), Astini *et al.* (1995), Keller (1999), Verges *et al.* (2007) y Mulcahy *et al.* (2007). Por otro lado, en la respuesta obtenida a través de la fase del tilt (Fig. 2b), se observa la existencia de una estructura geológica no visible en superficie al sur de la sierra de Pie de Palo, en coincidencia a lo manifestado por Martínez *et al.* (2008). Se confirma además, el alto gradiente entre Precordillera y sierra de Pie de Palo.

En ambas cartas de resaltos de anomalías (Fig. 2a y b), se observa una alineación de alto gradiente gravimétrico, desde el borde oeste de la sierra de Pie de Palo, el que se extiende hasta el sur de la antefosa de Jocolí, que corresponde al frente orogénico de Precordillera y que coincidiría con una paleosutura correspondiente a la acreción de dos terrenos. En la figura 2c se ha superpuesto la carta de fase de tilt sobre la interpretación de Verges *et al.* (2007), existiendo coincidencia entre la zona de alto gradiente y la sutura propuesta.

CONCLUSIONES

A partir de un estudio gravimétrico, donde se aplicaron técnicas de resaltos de anomalías basadas en relaciones de gradientes de gravedad, se identificó un marcado gradiente, el cual se extiende desde el borde oeste de la sierra de Pie de Palo, continuando por el frente orogénico de Precordillera, extendiéndose hasta el sur de la ciudad de Mendoza. Este fuerte gradiente, estaría señalando la zona de contacto entre los terrenos de Precordillera y Pie de Palo, que habría sido postulada por otros autores a través de estudios geológicos y geoquímicos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Astini, R.A. 1997. Stratigraphic evidence of two-stage rifting and collision in the Laurentian derived Precordillera terrane, south-central Andes. Geological Society of America, Abs-

tract with programs 296: A-116, Utah.

Astini, R.A. y Vaccari, N.E. 1996. Sucesión evaporítica del Cámbrico inferior de la Precordillera, significado geológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina 51: 97-106.

Astini, R.A., Benedetto, J.L. y Vaccari, N.E. 1995. The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted and collided terrane; a geodynamic model. Geological Society of America Bulletin 107: 253-273.

Benedetto, J.L. 2004. The allochthony of the Argentine Precordillera ten years later (1993-2003): A new paleobiogeographic test of the microcontinental model. Gondwana Research 7: 1027-1039.

Benedetto, J.L. y Astini, R.A. 1993. A Collisional model for the stratigraphic evolution of the Argentine Precordillera during the Early Paleozoic. 2nd. International Symposium on Andean Geodynamics: 501-504, Oxford.

Benedetto, J.L., Sánchez, T.M., Carrera, M.G., Brussa, E.D. y Salas, M.J. 1999. Paleontological constraints on successive paleogeographic positions of Precordillera terrane during the early Paleozoic. En Ramos, V.A. y Keppie, J.D. (eds) Laurentia-Gondwana connections before Pangea, Geological Society of America, Special Paper 336: 21-42.

Blakely, R.J. 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press, 441 p., Cambridge.

Borrello, A.V. 1965. Sobre la presencia del Cámbrico inferior olenellidiano en la sierra de Zonda, Precordillera de San Juan. Ameghiniana 3: 313-318.

Fairhead, J.D., Salem, A., Williams, W. y Samson, E. 2008. Magnetic interpretation made easy: The Tilt-Depth-Dip- ΔK method. Society of Exploration Geophysics Annual Meeting: 779-783, Las Vegas.

Galindo, C., Casquet, C., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Baldo, E. y Saavedra, J. 2004. Sr, C, and O isotope geochemistry and stratigraphy of Precambrian and lower Paleozoic carbonate sequences from the western Sierras Pampeanas of Argentina: Tectonic implications. Precambrian Research 131: 55-71.

Gimenez, M.E., Martínez, M.P. e Introcaso, A. 2000. A Crustal model based mainly on Gravity data in the area between the Bermejo basin and the sierra de Valle Fértil Argentina.

- Journal of South American Earth Sciences 13(3): 275-286.
- Hinze, W. 2003. Bouguer reduction density, why 2.67? *Geophysics* 68(5): 1559-1560.
- Kay, S.M., Orrell, S. y Abruuzzi, J.M. 1996. Zircon and whole rock Nd-Pb isotopic evidence for a Grenville age and Laurentian origin for the basement of the Precordillera in Argentina. *Journal of Geology* 104: 637-648.
- Keller, M. 1999. Argentine Precordillera: Sedimentary and plate tectonic history of a Laurentian crustal fragment in South America. *Geological Society of America, Special Paper* 341: 134 p.
- Martinez, M.P., Perucca L.P., Gimenez, M.E. y Ruíz, F. 2008. Manifestaciones geomorfológicas y geofísicas de una estructura geológica profunda al sur de la Sierra de Pie de Palo, Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 104-111.
- Mulcahy, S., Roeske, S., McClelland, W., Nomade, S. y Renne, P. 2007. Cambrian initiation of the Las Pirquitas thrust of the western Sierras Pampeanas, Argentina: Implications for the tectonic evolution of the proto-Andean margin of South America. *Geology* 35: 443-446.
- Nabighian, M. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics* 37: 507-517.
- Nabighian, M. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics* 39: 85-92.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Baldo, E., Dahlquist, J., Pascua, I. y Fanning, C.M. 1998. The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas: an Early to Mid-Ordovician continental arc on the Gondwana margin. En Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. (eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society, Special Publication 142: 343-367, London.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. y Fanning, C.M. 2000. Age and origin of coeval TTG, I- and S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 91: 151-168.
- Quenardelle, S.M. y Ramos, V.A. 1999. Ordovician western Sierras Pampeanas magmatic belt: record of Precordillera accretion in Argentina. En Ramos, V.A. y Keppie, J.D. (eds.) *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*. Geological Society of America, Special Paper 336: 63-86.
- Ramos, V.A. 1988. The tectonics of the Central Andes; 30° to 33° S latitude. *Geological Society of American, Special Paper* 218: 31- 54.
- Ramos, V.A. 1995. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy* 6: 24-29.
- Ramos, V.A. 1999. Plate Tectonic Setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22: 183-190.
- Ramos, V.A. 2004. Cuyania, an exotic block to Gondwana: Review of a historical success and the present problems. *Gondwana Research* 7: 1009-1026.
- Ramos, V.A., Jordan, T.E., Allmendinger, R., Mpodozis, C., Kay, S.M., Cortes, J.M. y Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics* 5: 855-880.
- Ramos, V.A., Cegarra, M. y Cristallini, E. 1996. Cenozoic tectonics of the high Andes of west-central Argentina (30-36° latitude). *Tectonophysics* 259: 185-200.
- Rapalini, A.E. y Astini, R.A. 1998. Paleomagnetic confirmation of the Laurentian origin of the Argentine Precordillera. *Earth & Planetary Science Letters* 155: 1-14.
- Salem, A. y Smith, R. 2005. Depth and structural index from normalized local wave number of 2D magnetic anomalies. *Geophysical Prospecting* 53: 83-89.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, D., Smith, R. y Ravat, D. 2008. Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics* 73(1): L1-L10.
- Vaccari, N.E. 1994. Las faunas de trilobites de las sucesiones carbonáticas del Cámbrico y Ordovícico temprano de la Precordillera Septentrional. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 271 p., Córdoba.
- Verduzco B., Fairhead J., Green C., y Mackenzie, C. 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*: 116-119.
- Verges, J., Ramos, V.A., Meigs, A., Cristallini, E., Bettini, F.H. y Cortes, J.M. 2007. Crustal wedging triggering recent deformation in the Andean thrust front between 31°S and 33°S: Sierras Pampeanas-Precordillera interaction. *Journal of Geophysical Research* 112: B03S15.
- Vujovich, G., Van Staal, C.R. y Davis, W. 2004. Age Constraints on the Tectonic Evolution and Provenance of the Pie de Palo Complex, Cuyania Composite Terrane, and the Famatinian Orogeny in the Sierra de Pie de Palo, San Juan, Argentina. *Gondwana Research* 7: 1041-1056.

Recibido: 20 de julio, 2010.

Aceptado: 23 de junio, 2011.