



ANÁLISIS DE ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA (ASM) EN LA FORMACIÓN TUNAS, SIERRAS AUSTRALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Guadalupe Arzadún¹, Renata N. Tomezzoli², Nora N. Cesaretti³

¹Universidad Nacional del Sur, Dpto. de Geología, CIC, Bahía Blanca, Argentina

²Universidad de Buenos Aires. FCEyN. Dpto. de Geología, CONICET, Buenos Aires, Argentina

³Universidad Nacional del Sur, Depto. de Geología

Resumen

La Formación Tunas (Pérmico) aflora al este de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Está constituida por areniscas finas a medias y fangolitas, portadoras de hematita como mineral detrítico. En este trabajo se presentan resultados preliminares de un estudio de ASM. El objetivo es poder determinar la dirección y la magnitud de los esfuerzos tectónicos principales, correlacionarlos con resultados paleomagnéticos preexistentes y con su posición en los distintos niveles estratigráficos. En los elipsoides de ASM se observa que la dirección de los ejes $K_{máx}$ están cercanos a la horizontal con dirección NO-SE, mientras que los ejes K_{min} están en una guirnalda de rumbo SO-NE desde posiciones horizontales hasta la vertical. Estos resultados son consistentes con los resultados paleomagnéticos, evidenciando que la dirección del esfuerzo máximo es SO-NE. La movilidad de los ejes K_{min} desde la horizontal en los sitios más occidentales correspondientes a la base, hasta la vertical en los sitios más orientales ubicados hacia el techo, evidencian una progresión de la fábrica magnética desde una impronta tectónica hacia una fábrica de tipo sedimentaria. Esto indica una disminución de la intensidad de la deformación hacia el este, con esfuerzos provenientes desde el SO.

Palabras clave: Anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) - Deformación interna – Formación Tunas – Sierras Australes - Paleozoico.

Abstract

Tunas Formation (Permian) outcrops at the east area of Sierras Australes (Buenos Aires province, Argentina) and it continues on subsurface in the Claromecó Basin. It is integrated by fine to medium sandstones alternating with mudrocks, which contains detritic hematite. A preliminary AMS study is carried out to evaluate the internal deformation, at different stratigraphic levels of Tunas Formation, with the aim of determining direction and magnitude of the main efforts which had acted on this formation. Preliminary results show that the $K_{máx}$ poles trend NW-SE, close to the regional axial fold trend and K_{min} have good consistence with the pole of the bedding plane, placed in a girdle perpendicular to K_{max} . The K_{min} positions changes from the horizontal at the bottom of the sequence to the vertical at the top of the sequence showing a clear sedimentary fabric. These changes in the K_{min} axis positions have proved a decrease of the deformation intensity toward the foreland basin. The NW trend of the K_{max} axes implies a SW-NE compression in concordance with the regional compression pattern along the Gondwanaland margin.

Key-words: Anisotropy of magnetic susceptibility (ASM) – Internal deformation – Tunas Formation – Sierras Australes – Paleozoic



Introducción

Las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires se encuentran ubicadas entre los 37° y 39° de latitud sur y 61° y 63° de longitud oeste (Fig. 1). Presentan un rumbo general noroeste-sudeste. En las mismas afloran rocas cuyas edades van desde el Precámbrico Tardío hasta el Pérmico, disponiéndose las más antiguas hacia el oeste y las más jóvenes hacia el este, siguiendo la geometría regional del orógeno. Estas unidades están cubiertas en discordancia por depósitos cenozoicos.

La vergencia general de la cadena es nororiental, disminuyendo la intensidad de la deformación hacia el este. La estructura de las Sierras Australes fue inicialmente interpretada como un sistema intensamente deformado por plegamiento (Harrington, 1947). Con el correr de los años surgieron nuevos aportes que permitieron analizar las estructuras con diferentes escalas de trabajo y desde distintos puntos de vista e interpretar la evolución de las Sierras, según distintos modelos tectónicos. Rossello y Massabie (1981) proponen el modelo de deformación coaxial para las Sierras Australes, como resultado de una deformación por cizalla pura no rotacional. Otros autores proponen el modelo de deformación no coaxial, que refleja condiciones de deformación gobernadas por un proceso de cizallamiento simple, algunos de ellos por cizallamiento dextral (Cobbold *et al.*, 1987, 1991; Japas, 1995a, 1995b, 1999; Rossello y Massabie, 1992) y otros sinestral (Sellés Martínez, 1986, 1989; von Gosen *et al.*, 1990). Von Gosen *et al.*, (1990, 1991) y Tomezzoli y Cristallini (1998, 2004) consideran a las Sierras Australes como una faja corrida y plegada.

Ramos (1984) considera a la estructura de las Sierras Australes como el producto de una colisión intercontinental entre Patagonia y el continente Gondwánico. Otros autores proponen un sistema de bloques continentales que se mueven como resultado de un evento tectónico que produce fragmentación de la corteza, a lo largo de fallas transformantes (Kostadinoff, 1993; Álvarez, 2004; Kostadinoff, 2007; Gregori *et al.*, 2003; Gregori *et al.*, 2008).

La presencia de magnetizaciones sintectónicas con diferentes porcentajes de despliegue, permitió demostrar que hacia el techo de la secuencia disminuye el grado de acortamiento tectónico (Tomezzoli, 1999; Tomezzoli y Vilas, 1999; Tomezzoli, 2001), acotando la deformación entre el Devónico Tardío y el Pérmico Temprano Tardío – Pérmico Tardío Temprano.

La Formación Tunas (Harrington, 1947) se extiende en el sector oriental de las Sierras Australes, desde el norte de la Sierra de Las Tunas hasta el sur de la Sierra de Pillahuincó y continúa en subsuelo hacia el este en la Cuenca de Claromecú (Lesta y Sylwan, 2005), con algunos afloramientos aislados en la zona de Gonzáles Chávez (Figura 1). Es la formación más joven del Grupo Pillahuincó (Carbónico-Pérmico; Suero, 1972) y a partir de su contenido fosilífero se le asignó una edad Pérmica (Archangelsky y Cúneo, 1984). Está constituida por areniscas medias a gruesas de colores amarillos y grises, areniscas finas a muy finas de colores verdosos y fangolitas de colores rojizos. Es importante destacar la presencia de cantidades importantes de hematita en la composición de estas rocas, que se encuentra en forma de granos detríticos en las areniscas, en forma de nódulos en areniscas finas y como uno de los componentes principales del cemento en las fangolitas rojizas (Andreis *et al.*, 1979). Esta hematita es la portadora de la magnetización remanente estable y característica de la Formación Tunas.

El rumbo regional de los ejes de los pliegues tiene una dirección NO-SE y se observan diaclasas paralelas y perpendiculares a los planos de estratificación, rellenas de cuarzo, algunas de rumbo NW-SE y otras de rumbo SW-NE. Hacia la base de la secuencia los pliegues tienden a ser cilíndricos con longitudes de onda más cortas y flancos más definidos, mientras que hacia el techo de la secuencia tienden a ampliar sus longitudes de onda y a suavizarse.

El objetivo del presente trabajo es determinar las direcciones y la variación en la magnitud de los esfuerzos principales que actuaron en distintos sectores de la Formación Tunas para poder caracterizar la deformación presente en esta formación y poder correlacionar estos resultados con los resultados paleomagnéticos previamente obtenidos (Tomezzoli y Vilas, 1999; Tomezzoli, 2001). Con tal motivo se midió la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en muestras extraídas de ocho localidades de muestreo, provenientes de distintos niveles estratigráficos (Fig. 1).



Metodología

La anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) es una técnica efectiva utilizada para medir la petrofábrica de las rocas, ya sea de origen primario o tectónico (Graham, 1954; Borradaile, 1988). El método está basado en la medición de la intensidad de la magnetización y en la orientación de los minerales diamagnéticos, paramagnéticos, antiferromagnéticos y ferromagnéticos (Gleizes *et al.*, 1993) presentes en las rocas.

Las mediciones de ASM fueron realizadas en el Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio” (INGEODAV) del Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires, con un equipo Kappabridge.

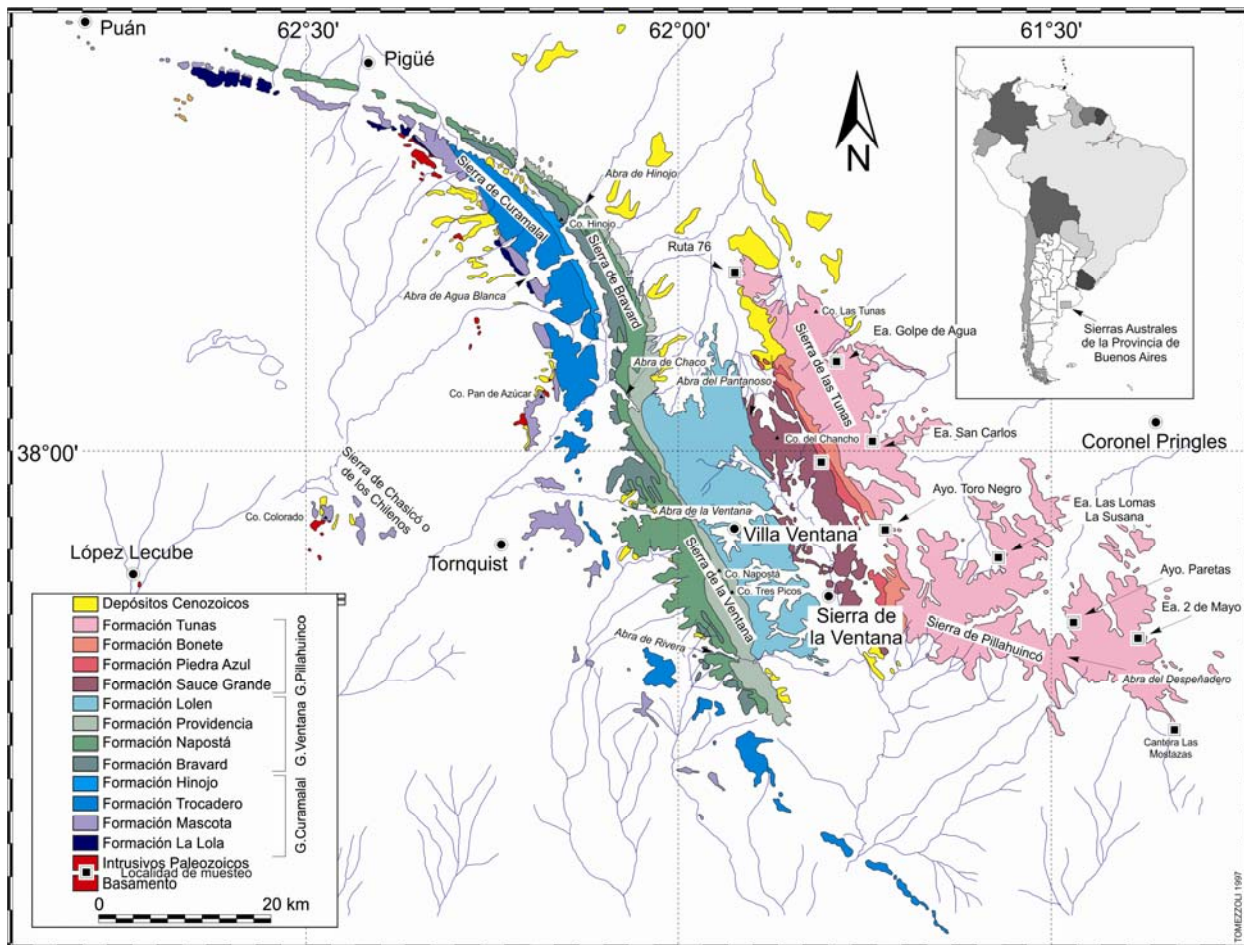


Figura 1. Mapa de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, con las localidades de muestreo, adaptado de Harrington (1947) y Suero (1972).

Se utilizaron especímenes estándar para paleomagnetismo provenientes de distintas localidades de la Formación Tunas, en las cuales se había realizado previamente su estudio paleomagnético (Tomezzoli, 1997). En cada localidad de muestreo se sacaron por lo menos tres sitios con cuatro muestras de mano como mínimo. Se midieron en total 92 especímenes provenientes de ocho localidades, que ocupan posiciones estratigráficas y estructurales diferentes dentro de la cuenca: Estancia San Carlos, Estancia Peñaflor, Ruta 76 y Arroyo Toro Negro, aflorantes en el ámbito de las Sierra de las Tunas y Estancia Las



Lomas-La Susana, Estancia 2 de Mayo, Arroyo Paretas (ruta provincial N°51) y Cantera Las Mostazas, en la Sierra de Pillahuincó (Figura 1).

Resultados y Análisis

En todas las localidades analizadas, los datos de ASM muestran buena consistencia interna dentro de cada sitio de muestreo. Esto permite correlacionar los rasgos estructurales presentes en cada localidad de muestreo con los patrones de ASM encontrados, que van cambiando en términos de la expresión tectónica sobreimpresa. Los ejes $K_{máx}$ del elipsoide de anisotropía, que marcan la dirección de máxima elongación, se orientan con rumbo NO-SE, paralelo al rumbo de los ejes de los pliegues y tienden a ser constantes en todas las localidades de muestreo (Figura 2). Este tipo de registro parece estar tectónicamente controlado. Los ejes K_{min} , en cambio, relacionados con ejes de acortamiento, muestran una distribución bimodal aunque se ubican paralelos a los polos de los planos de estratificación. En la base de la columna estratigráfica, en las localidades más occidentales y con mayor deformación, los ejes se encuentran cercanos a la horizontal, con rumbos aproximados SO-NE, indicando un esfuerzo máximo compresivo (σ_1) en la misma dirección (Figura 2). Hacia el techo en cambio, en las localidades más orientales, el K_{min} tiende a ubicarse en la vertical, mostrando una fábrica claramente sedimentaria, con planos de estratificación horizontales.

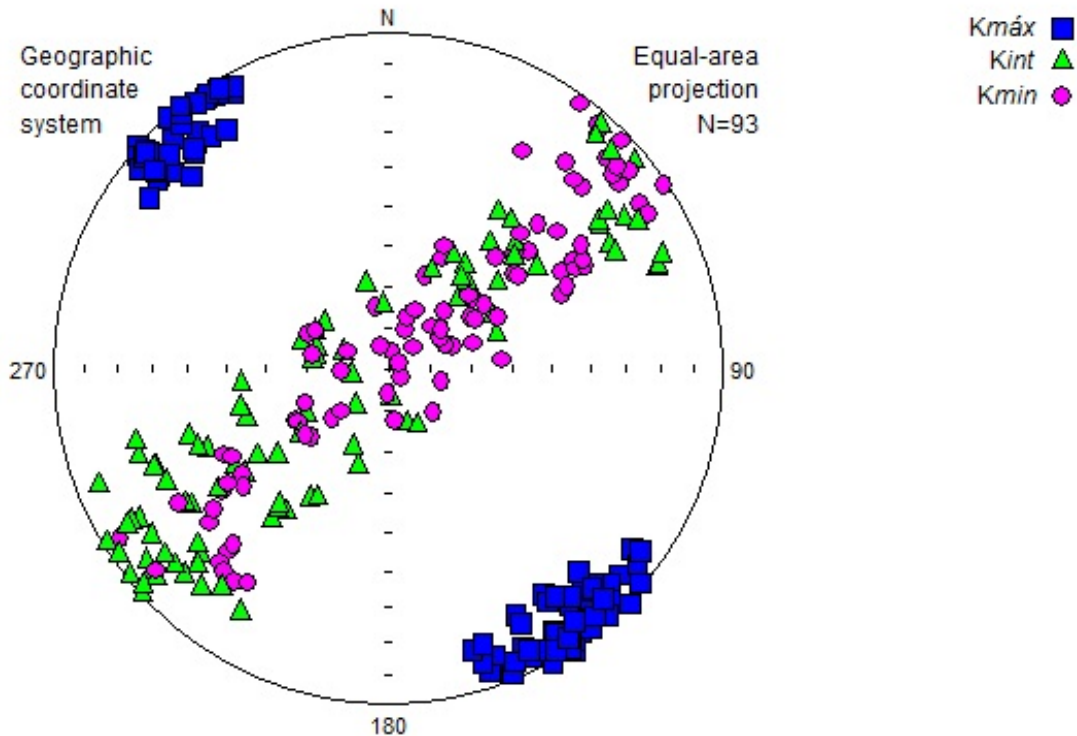


Figura 2. Resultados preliminares de anisotropía de susceptibilidad magnética de los especímenes de las ocho localidades medidas en la Formación Tunas.

Patrones similares de ASM se encontraron en la Cuenca de Carapacha, situada al oeste de las Sierras Australes, en la Provincia de La Pampa, de la misma edad que la Formación Tunas, indicando que los esfuerzos desde el Sudoeste responden a un proceso de compresión regional (Tomezzoli, *et al.*, 2006).



Esta deformación en el margen sudoccidental del Gondwana, que comienza a evidenciarse a fines del Devónico y que fue vinculada a la colisión de Patagonia, habría continuado hasta el Paleozoico Tardío. La misma está relacionada con la fase orogénica San Rafael, que se manifiesta en gran parte del territorio de Gondwana Sudoccidental, particularmente en el límite con Patagonia y que sería la consecuencia del movimiento y reorganización de las placas que se estaban acomodando para llegar a la configuración final de la Pangea Triásica (Tomezzoli, 1999; 2001).

Conclusiones

Las diferencias encontradas en los patrones de las fábricas magnéticas entre la base y el techo de la Formación Tunas son consistentes con las diferencias estratigráficas, estructurales y paleomagnéticas, presentes en la cuenca de depositación. En las localidades ubicadas hacia el este de la cuenca donde los estratos son más jóvenes, y las magnetizaciones son sintectónicas con un 85% de despliegue, los ejes *Kmin* están casi en la vertical, evidenciando fábricas predominantemente sedimentarias. Mientras que en las localidades ubicadas hacia el oeste, con registro de la base de la columna estratigráfica y por lo tanto más antiguas, con mayor deformación y magnetizaciones sintectónicas al 35% de despliegue, los ejes *Kmin* tienden a ubicarse en la horizontal y perpendicular a los ejes de los plegamientos, evidenciando claramente la influencia de los esfuerzos tectónicos actuantes al momento de la depositación de los sedimentos. Todas estas evidencias geológicas estarían indicando que la deformación en la región actuó desde el SO y se fue atenuando durante el Pérmico Temprano al Pérmico Tardío, evidenciando también la migración del frente orogénico a la cuenca de antepaís ubicada hacia el NE. Esto confirma los conceptos y propuesta previamente planteados por Tomezzoli (1999, 2001).

Referencias

- Álvarez, G. T., 2004. Cuencas Paleozoicas asociadas a la prolongación norte del sistema de Sierras de Ventania, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
- Andreis, R.R., Lluch, J.J. y Iñiguez Rodríguez, A.M., 1979. Paleocorrientes y paleoambientes de las Formaciones Bonete y Tunas, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas 6° Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires. 2: 207-224.
- Archangelsky, S. y Cúneo, R., 1984. Zonación del Pérmico continental de Argentina sobre la base de sus plantas fósiles, 3° Congreso latinoamericano Paleontológico, México. Memoria, pp. 143-153.
- Borradaile, G.J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. Tectonophysics. 156, 1-20.
- Cobbold, P., Gapais, D. y Rossello, E., 1991. Partitioning of transpressive motions within a sigmoidal foldbelt: the Variscan Sierras Australes, Argentina. Journal of Structural Geology. 13, 743-758.
- Cobbold, P.R., Massabie, A.C. y Rossello, E.A., 1987. Hercynian wrenching and thrusting in the Sierras Australes Foldbelt, Argentina. Hercynica, 2(2): 135-148.
- Gleizes, G., Nédélec, A., Bouchez, J.L., Autran, A. y Rochette, P., 1993. Magnetic susceptibility of the Mount Louis-Andorra ilmenite type granite (Pyrenees): a new tool for the petrographic characterization and regional mapping of zoning granite plutons. Journal of Geophysical Research. 98, 4317-4331.
- Graham, J.W., 1954. Magnetic susceptibility, an unexploited element of petrofabric. Geological Society of American Bulletin 65, 1257-1258.
- Gregori, D.A., Grecco, L.E. y Llambías, E.J., 2003. El intrusivo López Lecube: Evidencias de magmatismo alcalino Gondwánico en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58, 167-175.
- Gregori, D.A., Kostadinoff, J., Strazzere, L., Raniolo, A., 2008. Tectonic significance and consequences of the Gondwanide orogeny in northern Patagonia, Argentina. Gondwana Research, 14:429-450. Elsevier.
- Harrington, H.J., 1947. Explicación de las Hojas Geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. Servicio Nacional de Minería y Geología, Boletín 61.



- Japas, M.S., 1995a. Evolución estructural de la porción austral del arco de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(3/4): 368-372.
- Japas, M.S., 1995b. El Arco Noroccidental de las Sierras Australes de Buenos Aires: Producto de megakinks extensionales durante el proceso de la deformación? *Actas 4° Jornadas Geológicas Bonaerenses*, 1: 257-263. Junín.
- Japas, M.S., 1999. Revisión de las teorías acerca del origen del arco de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54 (1): 9-22.
- Kostadinoff, J., 1993. Geophysical evidence of a Paleozoic Basin in the interhilly area of Buenos Aires Province, Argentina. *Comptes Rendus XII ICCP. Volumen 1: 397-404*. Buenos Aires.
- Kostadinoff, J., 2007. Evidencia geofísica del umbral de Trenque Lauquen en la extensión norte de la Cuenca de Claromecó, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 62 (1): 69-75.
- Lesta P. y Sylwan, C., 2005. Cuenca de Claromecó. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Frontera Exploratoria de la Argentina, pp. 217-231. Eds: Chebli, G.A., Cortiñas, J.S., Spalletti, L.A., Legarreta, L., Vallejo, E.L.
- Ramos, V.A., 1984. Patagonia: un nuevo continente paleozoico a la deriva?. 9° Congreso Geológico Argentino (S. C. Bariloche). *Actas 2: 311-325*. Buenos Aires.
- Rossello, E.A. y Massabie, A.C., 1981. Micro y mesoestructuras en las formaciones Lolen y Sauce Grande y sus implicancias tectónicas. Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36 (3): 272-285.
- Rossello, E.A. y Massabie, A.C., 1992. Caracterización tectónica del kinking mesoscópico de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47 (2): 179-187.
- Sellés Martínez, J., 1986. Las Sierras Australes de Buenos Aires: Su vinculación a un cizallamiento regional. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 41(1-2): 187-190.
- Sellés Martínez, J., 1989. Th estructura of Sierras Australes (Buenos Aires-Argentina). An example of folding in a transpressive environment. *Journal of South American Earth Sciences* 2(4): 317-329.
- Suero, T., 1972. Compilación geológica de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas, LEMIT, División Geología. *Anales 3: 135-147*. La Plata.
- Tomezzoli, R.N., 1997. Geología y Paleomagnetismo en el ámbito de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, 306 p. (inédito).
- Tomezzoli, R.N., 1999. La Formación Tunas en las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Relaciones entre sedimentación y deformación a través de su estudio paleomagnético. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54 (3): 220-228.
- Tomezzoli, R.N., 2001. Further Palaeomagnetic results from the Sierras Australes fold and thrust belt, Argentina. *Geophysical Journal International*, 147: 356-366.
- Tomezzoli, R.N. y Cristallini, E.O., 1998. Nuevas evidencias sobre la importancia del fallamiento en la estructura de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53(1): 117-129.
- Tomezzoli, R.N. y Cristallini, E.O., 2004. Secciones estructurales de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: Repetición de la secuencia estratigráfica a partir de fallas inversas? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(2): 330-340.
- Tomezzoli, R.N., Melchor, R. y MacDonald, W.D. 2006. Tectonic implications of post-folding Permian magnetizations, Carapacha basin, Argentina. *Paleomagnetism in Latinamerica, Special Volume. Earth and Planets Space*, 58: 1235-1246.
- Tomezzoli, R.N. y Vilas, J. F., 1999. Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina. *Geophysical Journal International*, 138: 857-870.
- Von Gosen, W., Buggisch, W. y Dimieri, L.V., 1990. Structural and metamorphic evolution of the Sierras Australes (Buenos Aires province/Argentina). *Geologisches Rundschau*, 79(3): 797-821.
- Von Gosen, W., Buggisch, W. y Krumm, S., 1991. Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires Province, Argentina). *Tectonophysics*, 185: 335-356.