



## EVOLUCIÓN DE LA DEFORMACIÓN PALEOZOICA A LO LARGO DEL MARGEN SUDOCCIDENTAL DEL GONDWANA

Renata N. Tomezzoli<sup>1,2\*</sup>, Guadalupe Arzadún<sup>1,3</sup>, Ernesto O. Cristallini<sup>1,3</sup>, Hugo Tickyj<sup>4</sup>, Leandro C. Gallo<sup>1,2</sup>, Juan Martín Calvagno<sup>1,2</sup>, María Julia Ochoa<sup>4</sup> y Juan Manuel Battler<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Geociencias Básicas y Aplicadas de Buenos Aires (IGEBA). Laboratorio de Paleomagnetismo D.A. Valencio. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

<sup>3</sup> Laboratorio de Termocronología (LaTe Andes), Las Moreras 310, Vaqueros, Salta. <sup>4</sup>Universidad Nacional de La Pampa, FCEyN., Departamento de Geología, Argentina.

\*e-mail: [rtomezzoli@gmail.com](mailto:rtomezzoli@gmail.com)

### ABSTRACT

The Lolén Formation, of Devonian age, outcrops in the Sierras Australes area of the Buenos Aires Province. Paleomagnetic and anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) studies were carry out in rocks from Las Acacias farm (38° 04.2' S, 61° 52.7' W). Its results are integrated with others obtained along the Southwest Gondwana margin from the Sierras Australes to the Agua Escondida (South of Mendoza province) localities. The geological evolution of this region is still a subject of debate. Rocks of different lithologies and ages ranging from Late Devonian to Permian-Triassic were studied. Each locality has its own magnetic signature, with a gradual development in the tectonic expression of AMS. For rocks of Permian age there is a clear regional magnetic signature indicating a NW-SE elongation direction and a NE-SW shortening. However, the AMS patterns obtained in the oldest rocks are complex, probably as the results of stress interference in the magnitudes, space and time with different pulses of the orogenic activity. This deformation has been related with the collision of Chilenia and Patagonia with Gondwana during the Middle Devonian (Chañica orogenic phase) accommodating the postcolisional compressive deformation up to the Permian (San Rafael orogenic phase) with latitudinal and longitudinal movements.

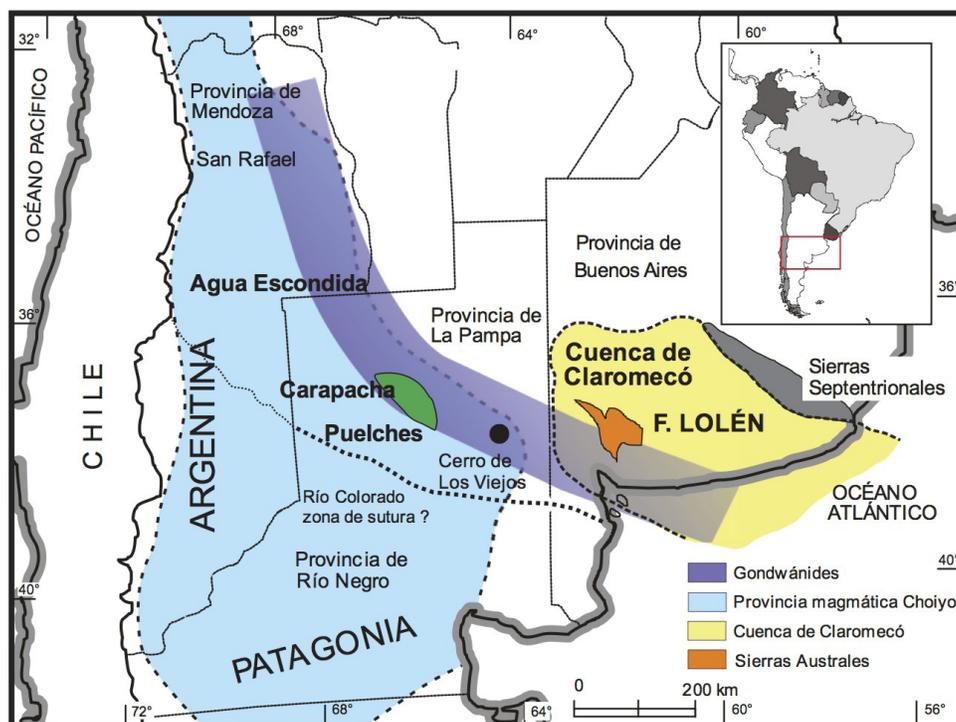
**Keywords:** Deformation, anisotropy of magnetic susceptibility, tectonic evolution, South West Gondwana margin, upper Paleozoic

### RESUMEN

La Formación Lolén, de edad devoniana, aflora en el área de Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Se realizaron estudios paleomagnéticos y de anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS) en rocas de la finca Las Acacias (38° 04.2' S, 61° 52.7' W). Estos resultados se integran con otros obtenidos a lo largo del margen Suroeste de Gondwana desde las Sierras Australes hasta las localidades de Agua Escondida (Sur de Mendoza). La evolución geológica de esta región es aún objeto de debate. Se estudiaron rocas de diferentes litologías y edades que van desde el Devónico tardío hasta el Pérmico-Triásico. Cada localidad tiene su propia firma magnética, con un desarrollo gradual en la expresión tectónica de la AMS. Para las rocas del Pérmico hay una firma magnética regional clara que indica una dirección de alargamiento NW-SE y una acortamiento NE-SW. Sin embargo, los patrones de la AMS obtenidos en las rocas más antiguas son complejos, probablemente como resultado de la interferencia de esfuerzos en sus magnitudes, espacio y tiempo en los diferentes pulsos de la actividad orogénica. Esta deformación ha sido relacionada con la colisión de Chilenia y Patagonia con Gondwana, durante Devónico Medio (fase orogénica Chañica) acomodando la deformación compresiva pos-colisional hasta el Pérmico (fase orogénica San Rafael) con los movimientos latitudinales y longitudinales



La anisotropía de susceptibilidad magnética es una técnica utilizada para medir la petrofábrica de las rocas, ya sea de origen primario o tectónico. El método se basa en la medición (en dirección e intensidad) de una magnetización inducida en una roca, que depende de la orientación de los minerales magnéticos presentes (Tarling y Hrouda 1993). Aquí se presentan nuevos resultados de un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) y de paleomagnetismo en la Formación Lolén de edad devónica aflorante en el ámbito geológico de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). Estos resultados se integran dentro de un modelo de evolución tectónica a lo largo del margen Sudoccidental del Supercontinente Gondwana, desde las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, hasta la localidad de Agua Escondida ubicada en el límite entre La Pampa y Mendoza (Fig. 1). La evolución geológica de esta región sigue siendo en la actualidad motivo de debate.



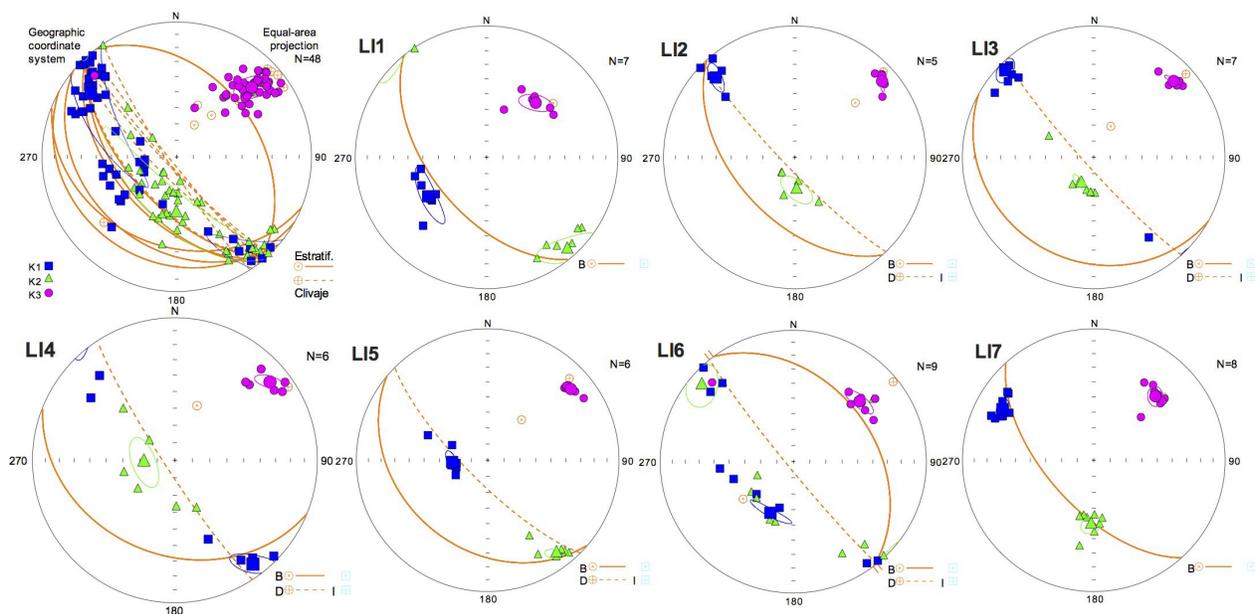
**Figura 1:** Mapa de ubicación de la Formación Lolén (Estancia Las Acacias) en el ámbito geológico de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires dentro de contexto regional en relación con otras cuencas paleozoicas vecinas.

La Formación Lolén se muestreo en la estancia Las Acacias cuya posición geográfica es 38° 04,2' S y 61° 52,76' O. Tiene entre 420 a 600 m de espesor (Harrington 1947, Andreis 1965) y está constituida por areniscas micáceas esquistosas, bancos de filitas que le otorgan a los afloramientos un brillo sedoso típico y pizarras con intercalaciones lenticulares de conglomerados finos intraformacionales, de color castaño, con un alto contenido de micas (Harrington 1947). Los bancos presentan estratificación entrecruzada planar, en estratos de 30 a 40 cm de espesor promedio, internamente con laminación paralela y ondulitas asimétricas, estructuras no direccionales como varves y también de tipo de estructuras deformacionales sinsedimentarias. La estructura está caracterizada por una secuencia continua de pliegues anticlinales y sinclinales, de tipo asimétrico, con planos axiales inclinando al sudoeste y un buzamiento de los ejes de los pliegues menor a 10° hacia el SE. Son comunes los planos de clivaje apretados, que cortan las estructuras anteriores y le confieren fisilidad a la roca, que fue utilizada por los pobladores del lugar para extraer piedras lajas. El rumbo-azimut aproximado de los planos de clivaje es 140°/80° SO. Estudios microestructurales sobre bandas *s/c* plegadas desarrolladas en los esquistos de la Formación Lolén determinaron la presencia de una inversión en el sentido



del cizallamiento no coaxial (zonas de cizalla invertidas) en los limbos frontales de las bandas *c* plegadas, que fueron interpretadas por Japas *et al.* (2001) como producto de una rotación activa de estructuras desarrolladas previamente durante una deformación progresiva. La Formación Lolén es la única portadora de fósiles en el Paleozoico Inferior de las Sierras Australes. Se registraron restos de braquiópodos *Criptonella baini* Sharpe y *Schellwienella*, característicos del Devónico y asignables a la fauna Malvinocáfica (Keidel 1916, Harrington 1947, Andreis *et al.* 1989). Sobre esta base, Newton y Cingolani (1990) correlacionaron a la Formación Lolén con el Grupo Bookkeveld aflorante en la faja plegada y corrida del Cabo en Sudáfrica. Basados en patrones de circones detríticos Ramos *et al.* (2014) propusieron una correlación parcial con la Formación Balcarce aflorante en el sistema de Tandilia; estudios isotópicos sobre circones detríticos permitieron establecer que durante la depositación de la Formación Lolén hubo cambios tectónicos importantes en el depocentro de la cuenca (Uriz *et al.* 2011). El hallazgo de plantas fósiles permitió asignar el techo de la Formación Lolén al Givetiano (Devónico Medio; Cingolani *et al.* 2002).

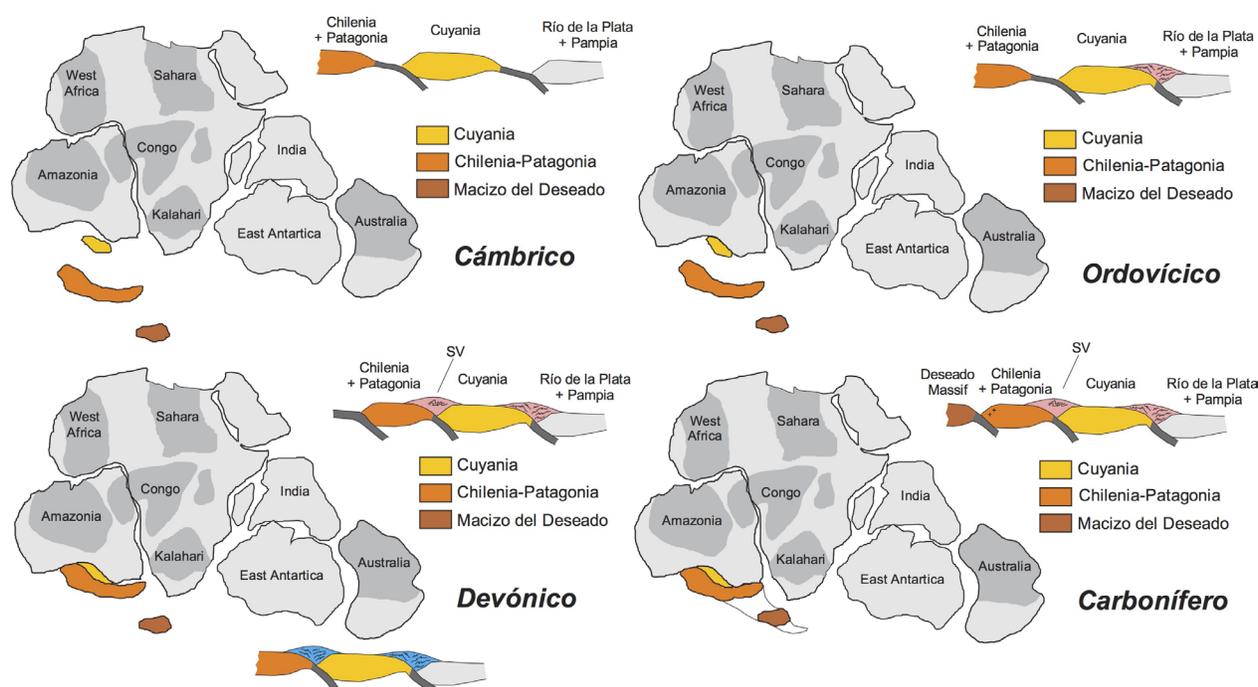
En un estudio paleomagnético preliminar sobre la Formación Lolén fue posible aislar una magnetización postectónica de edad pérmica. Esto pone en evidencia la apertura del sistema magnético con posterioridad a su plegamiento. La fábrica magnética es de tipo oblada, con los ejes  $K_{máx}$  (dirección de máxima elongación) contenidos en los planos de clivaje y los ejes  $K_{min}$  agrupados, cercanos a la horizontal en el I cuadrante y perpendiculares a dichos planos, lo que estaría indicando un control tectónico sobre ellos (Fig. 2). La relación directa de los ejes  $K_{min}$  con los planos de clivaje indica que la fábrica magnética de aplastamiento de estas rocas, que le confieren al elipsoide de ASM una forma general oblada, está respondiendo a los mismos procesos de deformación tectónicos compresivos que generaron dichos planos de foliación secundaria (clivaje), con una dirección de compresión aproximada de azimut  $045^{\circ}$ - $225^{\circ}$ . A nivel macroscópico, tanto el clivaje, como los ejes de los pliegues y la estratificación comparten el mismo rumbo, indicando la superposición de esfuerzos compresivos coaxiales de dirección SO-NE, en distintos tiempos geológicos (Tomezzoli *et al.* 2017).



**Figura 2:** Resultados de ASM de la Formación Lolén para cada sitio de muestreo. B: plano de estratificación (ciclográfica continua); D: plano de clivaje (ciclográfica entrecortada). La posición del eje  $K_{min}$  se mantiene constante en el I cuadrante, cercano a la horizontal y en la mayoría de los casos subparalelo al polo del plano de clivaje.  $K_{máx}$  tiende a distribuirse en una guirnalda de rumbo SE-NO paralela al rumbo de las estructuras

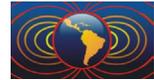


A lo largo del margen sudoccidental del Gondwana, se estudiaron rocas con distintas litologías y edades que abarcan desde el Devónico superior al Permo-Triásico (Tomezzoli, 2012). Cada localidad de muestreo presenta una signatura magnética propia. En casi todas ellas hay un desarrollo gradual en la expresión tectónica de la ASM dentro y entre las localidades estudiadas. Para las rocas de edades pérmicas, hay una impronta magnética regional clara que indica direcciones de elongación NO-SE y de acortamiento SO-NE: Formación Tunas aflorante en las Sierras Australes (Fig. 1) del SO de la provincia de Buenos Aires (Arzadún *et al.* 2016) y en las Cuenca de Carapacha (Tomezzoli *et al.* 2006) y Sierra Chica (Tomezzoli *et al.* 2013) aflorantes en La Pampa (Fig. 1). Sin embargo, cuando se analizan los patrones obtenidos en las rocas más antiguas, la signatura deja de ser constante y los patrones de ASM se tornan complejos cómo en el caso de Cerro de los viejos (Tomezzoli *et al.* 2003) (Fig. 1). Esto pone en evidencia interferencias de esfuerzos principales, cambiantes en las magnitudes, en el espacio y en el tiempo, producto de la superposición de diferentes eventos en la actividad orogénica que se desarrolló desde el Devónico Medio (fase orogénica Chañica) hasta el Pérmico (fase orogénica San Rafael; Fig. 3).



**Figura 3:** Acreción de terrenos a lo largo del margen Sudoccidental del Gondwana desde el Cámbrico al Carbonífero

A partir de la integración regional de información paleomagnética, de anisotropía de susceptibilidad magnética y observaciones de campo, Tomezzoli (2012) propuso que la deformación a lo largo del margen sur-suroccidental del Gondwana, desde las Sierras Australes hasta el Bloque de San Rafael, habría comenzado por lo menos a partir del Devónico medio (fase orogénica Chañica) y estaría relacionada con la colisión de Chilenia - Patagonia desde el oeste-suroeste contra Gondwana (Fig. 3). La deformación postcolisional habría continuado hasta el Pérmico (Fase anorogénica San Rafael) y sería la consecuencia de las últimas etapas de ensamble de las distintas placas continentales acrecionadas a lo largo de todo el margen del Gondwana, no sólo desde el sur-suroeste de este supercontinente sino también desde el norte con Laurentia y Laurasia, produciendo movimientos latitudinales de traslación, para lograr configurar durante el Triásico la Pangea A de Wegener (Gallo *et al.* 2017). De esta manera es posible visualizar al supercontinente de Gondwana como un núcleo cratónico principal de acreción sobre el cual se fueron amalgamando distintas placas menores que



luego se siguieron acomodando progresivamente unas contra otras a lo largo del tiempo geológico.

### Agradecimientos

Todas las tareas experimentales fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Paleomagnetismo “D. A. Valencio”, FCEyN, Universidad de Buenos Aires (UBA) - IGEBA-CONICET, con el financiamiento de los proyectos de Vinculación Tecnológica “Ingeniero Enrique Mosconi” y “J. A. Sábato”.

### Referencias

- Andreis, R.R., 1965. Petrología de las sedimentitas psefíticas paleozoicas de las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Comisión de Investigaciones Científicas, Anales 6*, 9-63, La Plata.
- Andreis, R.R., Iñiguez Rodriguez, A.M., Lluch, J.J., y Rodriguez, S., 1989. Cuenca paleozoica de Ventania. Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. En Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.): “Cuencas Sedimentarias Argentinas”, Serie Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán 265-298.
- Arzadún, G., Tomezzoli, R.N. y Cesaretti, N.N., 2016. Tectonic insight based on anisotropy of magnetic susceptibility and compaction studies in the Sierras Australes thrust and fold belt (Southwest Gondwana boundary, Argentina). *Tectonics 35*, 1015–1031, doi: 10.1002/2015TC003976.
- Cingolani, C.A., Berry, C.M., Morel E., y Tomezzoli, R.N., 2002. Middle Devonian lycopsids from high southern palaeolatitudes of Gondwana (Argentina). *Geological Magazine 139*, 641-649.
- Gallo, L. C., Tomezzoli, R. N., Cristallini, E. O., 2017. A Pure dipole analysis of the Late Paleozoic Gondwana apparent polar wander path: paleogeographic implications in the evolution of Pangea. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. Article DOI: 10.1002/2016GC006692.
- 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., Quenardelle, S.M., y Sellés Martínez, J., 2001. Inversión del sentido de cizallamiento no-coaxial debido a deformación progresiva. Formación Lolén, Sierras Australes de Buenos Aires. *Asociación Geológica Argentina. Serie D: Publicación especial N° 5*, 97-102.
- Keidel, J., 1916. La geología de las sierras de la provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud África y los Andes. *Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería II (3)*, 1-78.
- Newton, A.A. y Cingolani, C.A., 1990. Aspectos estratigráficos y estructurales comparativos entre las secuencias siluro-devónicas de la Sierra de la Ventana (Argentina) y el Cinturón Plegado del Cabo (Sudáfrica). *Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolivia 11*, 59-63.
- Ramos, V.A., Chemale, F., Naipauer, M. y Pazos, P.J., 2014. A provenance study of the Paleozoic Ventania System (Argentina): transient complex sources from Western and Eastern Gondwana. *Gondwana Research 26*, 719-740.
- Tarling, D.H. y Hrouda, F., 1993. En Chapman y Hall London, (eds.): “The magnetic anisotropy of rocks”, 217 p.
- Tomezzoli, R.N., 2012. Chilenia y Patagonia: el mismo continente alóctono a la deriva?. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 69 (2)*, 220 – 237.
- Tomezzoli, R.N., Arzadún, G., Cristallini, E.O., 2017. Anisotropía de susceptibilidad magnética y paleomagnetismo en la Formación Lolén de edad Devónica. Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 74 (3)*.



- Tomezzoli, R.N., Vizán, H., Tickyj, H., Woroszylo, M.E., 2013. Revisión de la posición del polo paleomagnético de Sierra Chica en la curva de desplazamiento polar aparente del Gondwana. *Proceedings of Third Biennial Meeting of Latinmag, 3, Special Issue* Montevideo. “<http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/LL13-03-SP/LLv3>.”
- Tomezzoli, R.N., Melchor, R. y MacDonald, W.D., 2006. Tectonic implications of post-folding Permian magnetizations, Carapacha basin, Argentina. *Earth and Planets Space* 5, 1235-1246.
- Tomezzoli, R.N., MacDonald, W.D., Tickyj H., 2003. Composite magnetic fabrics from S-C granitic gneiss of Cerro de los Viejos, La Pampa province, Argentina. *Journal of Structural Geology* 25/2, 159-169.
- Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Chemale Jr., F., Macambira, M.B., Armstrong, R., 2011. Isotopic studies on detrital zircons of Silurian–Devonian siliciclastic sequences from Argentinean North Patagonia and Sierra de la Ventana regions: comparative provenance. *International Journal of Earth Sciences* 100, 571–589.