



EVIDENCIAS DE AVANCES Y RETROCESOS EN LA DEFORMACIÓN A PARTIR DEL ESTUDIO DE LA ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA. GRUPO PILLAHUINCÓ (SIERRAS AUSTRALES, ARGENTINA)

Arzadún Guadalupe^{1,2}, Tomezzoli N. Renata^{2,3}, Cesaretti Nora N.¹

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

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Departamento de Geología, Universidad de Buenos Aires, IGEBA, Buenos Aires, Argentina.

*e-mail: guadalupe.arzadun@gmail.com

ABSTRACT

The Sierras Australes of the Buenos Aires province define a fold and thrust belt that trends NW–SE, with decreasing deformation intensity toward the East. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) studies were carried out on 102 specimens of the Pillahuincó Group (Carbo-Permian; Harrington, 1947), with the aim of analyzing the magnitude of the deformation and direction of efforts. This group crops out at the East of Sierras Australes and was divided into four formations, which are from the base to top: Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete and Tunas. The AMS results show ellipsoids with K_{max} axes in Northwest-Southeast position, parallel to fold axes. The anisotropy degree shows a decrease toward the youngest formations to the East. The K_{min} axes are orientated from horizontal positions, with Northeast-Southwest orientations, to vertical positions toward the top of the sequence. The fabric is dominantly of tectonic origin, with a maximum effort coming from the Southwest and an attenuation of the deformation to the youngest formations, placed at the East of the basin. There is re-activation at the base of Tunas Formation, which would indicate more intense orogenic cycles in the basin during the Permian, keeping the coaxiability of the efforts. This is a new evidence of the orogenic front migration toward the foreland basin and is consistent with the structural, compaction, AMS and paleomagnetic data.

Keywords: Sierras Australes, Pillahuincó Group, Deformation, Permian, Anisotropy of magnetic susceptibility

RESUMEN

Las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires conforman una faja corrida y plegada de rumbo NO-SE, cuya intensidad de deformación disminuye hacia el este. Con el objetivo de analizar la magnitud de la deformación y las direcciones de los esfuerzos, se realizó un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en 102 especímenes pertenecientes al Grupo Pillahuincó (Carbo-Pérmico; Harrington 1947). Este grupo aflora en el sector este de las Sierras Australes y se divide en cuatro formaciones llamadas, de base a techo: Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete y Tunas. Los resultados de la ASM muestran elipsoides cuyos ejes K_{max} se encuentran en posición noroeste-sureste, paralelos a los ejes de los pliegues. El grado de anisotropía presenta una disminución hacia las formaciones más jóvenes, ubicadas hacia el este. Los ejes K_{min} van desde posiciones horizontales, orientados noreste-sudoeste, hasta posiciones verticales hacia el techo de la secuencia. La fábrica es predominantemente de origen tectónico, cuyo esfuerzo máximo proviene del sudoeste y con atenuación de la deformación hacia las formaciones más jóvenes, ubicadas hacia el este. Se observa una reactivación en la base de la Formación Tunas, hecho que estaría indicando ciclos de mayor actividad orogénica en la cuenca durante el Pérmico, manteniendo la coaxialidad de los esfuerzos. Esto es una nueva evidencia de la migración del frente orogénico hacia la cuenca de antepaís y es consistente con datos de estructura, compactación, ASM y paleomagnetismo.



Palabras clave: Sierras Australes, Grupo Pillahuincó, Deformación, Pérmico, Anisotropía de susceptibilidad magnética

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 y presentan un rumbo general noroeste-sudeste (Fig. 1). En las sierras 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. Tomezzoli y Cristallini (1998) consideran a las Sierras Australes como una faja corrida y plegada.

Las Sierras Australes representan la porción aflorante de la Cuenca de Claromecó. Se desarrollaron en el borde sudoccidental de Gondwana durante el Paleozoico y se asume que forman parte de un gran sistema que incluye el cinturón plegado del Cabo, en Sudáfrica (Keidel, 1916; Du Toit, 1927).

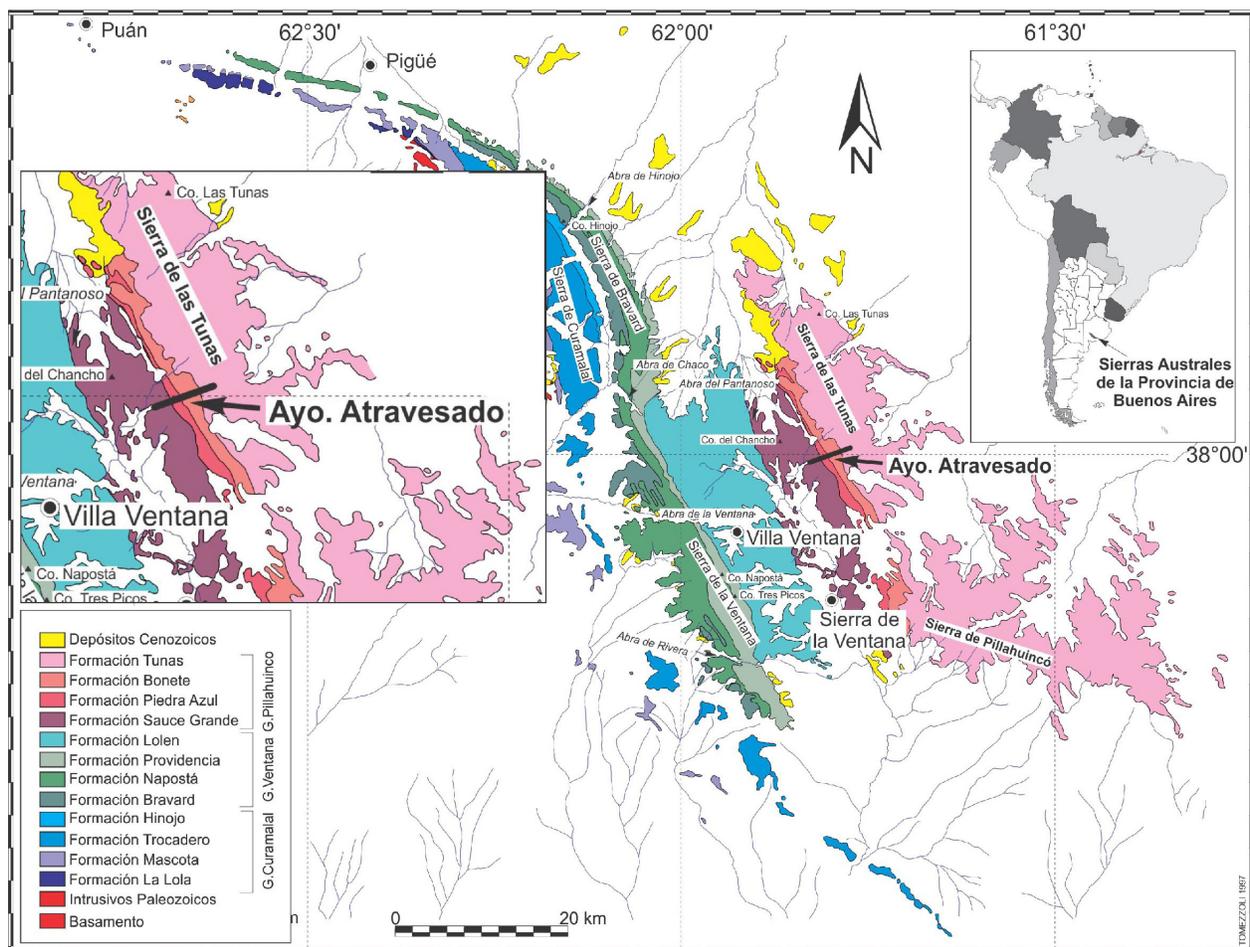


Figura 1. Mapa geológico de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Ubicación del perfil del Arroyo Atravesado de donde se extrajeron los especímenes para los estudios de ASM. Arriba izquierda, ampliación del área de trabajo.



Algunos autores sugieren que la estructuración de las Sierras Australes es producto de una colisión intercontinental entre Patagonia y Gondwana (Pángaro y Ramos, 2012) Otros autores interpretan un sistema de bloques continentales que se mueven a través de fallas transformantes (Gregori *et al.*, 2008). Tomezzoli (2012) sugiere una combinación de ambos procesos. Con base en estudios paleomagnéticos (Tomezzoli y Vilas, 1999), edades de re-cristalización de la illita (Buggisch, 1987) y presencia de estratos de crecimiento (López Gamundi *et al.*, 1995), se puede definir la edad de la deformación de las Sierras Australes como Pérmica temprana-tardía.

El Grupo Pillahuincó (Harrington, 1947) aflora en el sector este de las Sierras Australes (Fig. 1). Este grupo se divide en cuatro formaciones llamadas, de base a techo: Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete y Tunas. La Formación Sauce Grande, de edad Carbífero tardía (Di Pasquo *et al.*, 2008; Archangelsky *et al.*, 1987), está integrada por diamictitas y areniscas. La Formación Piedra Azul está conformada mayormente por fangolitas. La Formación Bonete, de edad Pérmica temprana (Archangelsky y Cúneo, 1984) está compuesta por areniscas finas con motas blanquecinas, intercaladas con fangolitas grises. La Formación Tunas, de edad Pérmica temprana (Archangelsky y Cúneo, 1984; López-Gamundi *et al.*, 2013) está integrada por areniscas finas a medias, intercaladas con fangolitas de colores verdosos y morados.

El rumbo regional de los ejes de los pliegues en el Grupo Pillahuincó tiene una dirección noroeste-sudeste. En 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 tienden a ampliar sus longitudes de onda y a suavizarse (Tomezzoli, 1999). Los planos de clivaje son casi verticales, buzando hacia el oeste en la parte inferior de la secuencia y mayormente hacia el este en las formaciones Bonete y Tunas (Fig. 2).

Estudios paleomagnéticos en la Formación Tunas indican que las magnetizaciones son sintectónicas, con un 42% de despliegue en la base de la formación (al oeste) y un 90% en el techo (al este). Esto demuestra que existe una disminución del acortamiento tectónico hacia el techo de la secuencia y es concordante con las observaciones estructurales de campo (Tomezzoli, 1999). Por otro lado, estudios de la ASM y de compactación en la Formación Tunas también muestran una disminución de la deformación hacia el antepaís (Arzadún anisotropía *et al.*, 2013).

Con el objetivo de analizar la magnitud de la deformación y las direcciones de los esfuerzos actuantes en el ámbito de las Sierras Australes, se realizó un análisis de la ASM en el Grupo Pillahuincó.

Metodología

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

La ASM fue medida con equipo Kappabridge MFK-1A, en el Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio” (IGEBA) del Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires. Se midieron 103 especímenes a lo largo del perfil del Arroyo Atravesado (Fig. 1). Se utilizaron especímenes estándar para paleomagnetismo provenientes de 21 sitios distintos de este perfil y se determinaron los ejes principales de anisotropía (K_{max} , K_{int} y K_{min}), los parámetros T de forma (Jelinek, 1981) y P de grado de anisotropía (Nagata, 1961) (Fig. 2).

Resultados

Todas las formaciones pertenecientes al Grupo Pillahuincó muestran elipsoides de anisotropía cuyos ejes máximos (K_{max}) se encuentran en orientaciones noroeste-sureste; esta orientación es paralela a los ejes de los pliegues (Fig. 2 y Tabla 1). La Formación Sauce Grande presenta elipsoides con formas oblatas y ejes mínimos (K_{min}) agrupados en el primer cuadrante, cercanos a la horizontal, sugiriendo un aplastamiento de la fábrica con control tectónico. Las formaciones Piedra Azul y Bonete muestran elipsoides de formas



Tabla 1. Parámetros de la ASM. N: número de especímenes; K_{max} : orientación promedio del eje máximo de ASM; $K_m = (K_{max} + K_{int} + K_{min}) / 3$: volumen de susceptibilidad promedio en unidades SI; $P = (K_{max} / K_{min})$: grado de anisotropía (Nagata, 1961) expresado en porcentaje; P_m : grado de anisotropía promedio; P_{max} : grado de anisotropía máximo; T: parámetro de forma de Jelinek (Jelinek, 1981); $L = K_{max} / K_{int}$: Lineación.

Formación	N	K_{max}	K_m	P_m (%)	P_{max} (%)	T	L
Sauce Grande	19	324/15	2.13×10^{-4}	5	9.8	0.26	1.017
Piedra Azul	29	316/4	3.19×10^{-4}	7.6	11.8	-0.099	1.040
Bonete	41	317/4	1.73×10^{-4}	4.9	6.6	-0.069	1.026
Tunas	14	316/3	8.76×10^{-5}	2.6	4.4	0.173	1.011

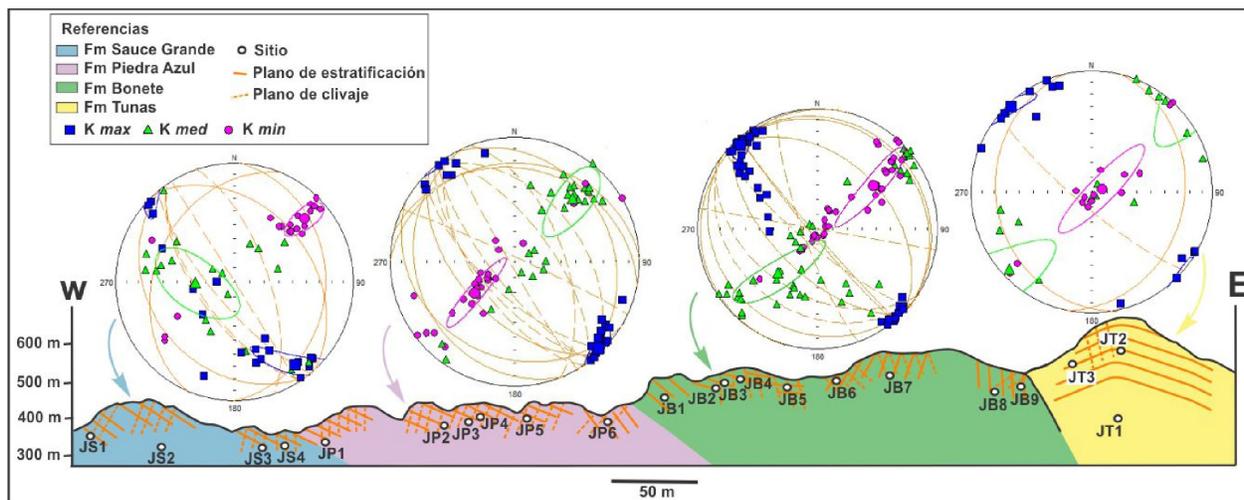


Figura 2. Perfil del Arroyo Atravesado. Base: Sitios muestreados en cada formación, planos de estratificación y de clivaje. Arriba: elipsoides de ASM de cada formación, con K_{max} en posición noroeste-sudeste y K_{min} tendiendo a la vertical hacia las formaciones más jóvenes.

proladas, con ejes K_{min} en el primer y tercer cuadrante, agrupándose hacia el centro de la red estereográfica. La Formación Tunas, que se ubica hacia el techo del perfil muestraelipsoides de formas oblatas con ejes K_{min} tendiendo hacia la horizontal, sugiriendo una fábrica que muestra la transición a sedimentaria (Fig. 2). Sin embargo, en otras localidades de la base de la Formación Tunas los ejes K_{min} se encuentran orientados en el primer y tercer cuadrante y los elipsoides muestran formas proladas, sugiriendo nuevamente una fábrica con control tectónico. En las localidades ubicadas hacia el techo de esta formación, hacia el este, los ejes K_{min} tienden a disponerse gradualmente hacia la vertical, con elipsoides mayormente de formas oblatas, sugiriendo fábricas de tipo transicional a sedimentaria hacia el techo de la secuencia. La tendencia hacia una fábrica con un control predominantemente sedimentario se ve claramente en localidades ubicadas en la Cuenca de Claromecó (Arzadún *et al.*, 2013).

El grado de anisotropía (P) muestra en general una disminución hacia las formaciones más jóvenes y hacia el este, con valores máximos que van desde 10.5% en la Formación Sauce Grande hasta 4.4% en la Formación Tunas. La Formación Piedra Azul tiene un grado de anisotropía mayor al mostrado por la Formación Sauce Grande, con valores máximos de 11.8%, a pesar de encontrarse por encima de ésta en la secuencia; esto puede deberse a su granulometría más fina, la cual sería más susceptible a absorber la deformación (Tabla 1). En otras localidades de la base de la Formación Tunas, el grado de anisotropía es mayor, con valores máximos de 9.2%; luego vuelve a disminuir hacia el este, hacia el techo de la secuencia, hasta llegar a



valores máximos de 2.4% en localidades de la Cuenca de Claromecó (Arzadún *et al.*, 2013).

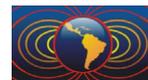
El parámetro de forma (T) muestra un valor promedio mayor a cero en la Formación Sauce Grande; esto indica una relación escalar entre los ejes con forma oblada (Tarling y Hrouda 1993). Las formaciones Piedra Azul y Bonete muestran valores promedios de T menores a cero, indicando formas proladas; por su parte, la Formación Tunas, muestra valores promedios de T mayores a cero, lo que indica formas obladas.

Conclusiones

En toda la secuencia analizada del Grupo Pillahuincó, los ejes K_{max} se mantienen en posición noroeste-sudeste y paralelos a los ejes de los pliegues, lo cual indica que la fábrica tiene un control tectónico, con un esfuerzo máximo proveniente del sudoeste. Por su parte, los K_{min} tienden a disponerse desde posiciones horizontales en la base de la secuencia, hasta verticales hacia el techo. Cabe destacar una reactivación en la base de la Formación Tunas, la cual estaría indicando un ciclo de mayor actividad orogénica en la cuenca durante el Pérmico, pero siempre manteniendo la coaxialidad de los esfuerzos. La tendencia a disponerse en posición vertical por parte de los ejes K_{min} , junto con la disminución del grado de anisotropía, indican una atenuación de la deformación hacia las formaciones más jóvenes, ubicadas hacia el este de la cuenca. Los resultados aportados representan una nueva evidencia de la migración del frente orogénico hacia la cuenca de antepaís, con ciclos durante el Pérmico, momento en el cual la actividad tectónica habría sido más intensa. Esto es consistente con datos estructurales, de compactación, de ASM y de paleomagnetismo publicados anteriormente (Tomezzoli, 1999; Arzadún *et al.*, 2013).

Referencias

- Archangelsky, S., Azcuy, C.L., González, C. R., Sabbatini, N., 1987. Correlación general de biozonas. En: S. Archangelsky (Ed.), El Sistema Carbonífero en la República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*, 281-292.
- Archangelsky, S., Cúneo, R., 1984. Zonación del Pérmico continental de Argentina sobre la base de sus plantas fósiles, 3° *Congreso Latinoamericano Paleontológico, México. Memoria*, 143-153.
- Borradaile G. J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. *Tectonophysics*, 156, 1-20.
- Buggisch W. E., 1987. Stratigraphy and Very Low Grade Metamorphism of the Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) and Implications in Gondwana Correlation. *Zbl. Geol.. Paläont. Teil I (7/8)*, 819-837.
- Di Pasquo, M., Martínez, M. A., Freije, H., 2008. Primer registro palinológico de la Formación Sauce Grande (Pennsylvaniano-Cisuraliano) en las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana*, 45 (1).
- Du Toit, A. L., 1927. A Geological Comparison of South America with South Africa. *Carnegie Inst. Publ. n. 381*, 157 p.
- Gleizes, G., Nédélec, A., Bouchez, J. L., Autran, A., 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., 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.
- Jelinek, K., 1981. Characterization of themagnetic Rocks. *Tectonophysics*, 79, 63-67.
- Keidel, J., 1916. La geología de las Sierras de la provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas del Cabo y los Andes. Min. Agric. Nac., An. Dir. Nac. Geol. Min., IX, 3. Buenos Aires.



- López Gamundi, O. R., Fildani, A., Weislogel, A., Rossello, E., 2013. The age of the Tunas Formation in the Sauce Grande basin-Ventana fold belt (Argentina): implications for the Permian evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 250-258.
- López Gamundi, O. R., Conaghan, P. J., Rossello, E. A., Cobbold, P. R., 1995. The Tunas Formation (Permian) in the Sierras Australes Fold belt, east central Argentina: evidence for syntectonic sedimentation in a foreland basin. *Journal of South American Earth Science*, 8 (2), 129-142.
- Pángaro, F., Ramos, V. A., 2012. Paleozoic crustal blocks of onshore and offshore central Argentina: Newpieces of the southwestern Gondwana collage and their role in the accretion of Patagonia and the evolution of Mesozoic South Atlantic sedimentary basins. *Marine and Petroleum Geology*. Ed. Elsevier. 1-22.
- Tarling, D. H. y Hrouda, F., 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. Ed. Chapman & Hall, 217 pp.
- Tomezzoli, R. N., 2012. Chilenia y Patagonia: ¿un mismo continente a la deriva? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69 (2), 222-239.
- 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., 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., Vilas, J., 1999. Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina. *Geophysical Journal International*, 138, 857-870.