



FOLLOWING THE STEPS OF CHI-PA

R. N. Tomezzoli^{1,2*}, H. Tickyj³, B. Febbo⁴, J. Calvagno^{1,2}, L. C. Gallo^{1,2}, G. Arzadún^{2,5},
F. Copertini¹, J. Ochoa^{2,3}, J. M. Battler³

¹ Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio”. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires. IGEBBA-FCEyN-UBA. CABA, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Departamento de Geología. FCEyN, Universidad Nacional de La Pampa. Avenida Uruguay 151, L6300CLB, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

⁴ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

⁵ Laboratorio de Termocronología (La. Te Andes). Las Moreras 310, A4401XBA, Vaqueros, Salta, Argentina.

*e-mail: renata@gl.fcen.uba.ar; rtomezzoli@gmail.com

ABSTRACT

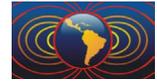
The geological evolution of the southwest Gondwana margin is still a subject of debate. Here anisotropy of magnetic susceptibility and paleomagnetism results from different localities along this margin are presented. Samples from Buenos Aires, La Pampa and Mendoza provinces in Argentina were analysed. In the 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 with Middle Devonian to the Permian ages are complex, as the result of stress interference and overlap of orogenic activities with pulses of different magnitudes that deferred in the space and time. The deformation that began in medium to upper Devonian (Chañica orogenic phase in Argentina) is related with the collision of Chilenia from the west and Patagonia from the south-southwest with Gondwana, respectively. This deformation continued until the Permian (San Rafael orogenic phase in Argentina) as postcollisional compressive deformation, consequence of the paleogeographic re-organization of Gondwana (Laurentia) that moves to the Equator from the south (north) to form the Pangea continent during the Triassic. Since Chilenia and Patagonia collided against Gondwana at the same time, have been proposed the possibility that were the same alloctonous plate: CHIPA.

Keywords: CHIPA, Chilenia, Patagonia, Gondwana, Paleomagnetism, Anisotropy of magnetic susceptibility

RESUMEN

La evolución geológica del margen suroeste de Gondwana sigue siendo un tema de debate. Aquí se presentan resultados de anisotropía de susceptibilidad magnética y paleomagnetismo de diferentes localidades a lo largo de este margen. Se analizaron muestras de las provincias de Buenos Aires, La Pampa y Mendoza en Argentina. En las rocas de edad Pérmica, hay una fábrica magnética regional clara que indica una dirección de alargamiento NW-SE y un acortamiento NE-SW. Sin embargo, los patrones de AMS obtenidos en las rocas más antiguas del Devónico Medio hasta el Pérmico son complejos, como resultado de la interferencia de estrés y la superposición de actividades orogénicas con pulsos de diferentes magnitudes que difieren en el espacio y el tiempo. La deformación que comenzó en el Devónico medio a alto (fase orogénica Chañica en Argentina) está relacionada con la colisión de Chilenia desde el oeste y Patagonia desde el sur-suroeste con Gondwana, respectivamente. Esta deformación continuó hasta el Pérmico (fase orogénica de San Rafael en Argentina) como deformación compresiva poscolisional, consecuencia de la reorganización paleogeográfica de Gondwana (Laurentia) que se mueve hacia el ecuador desde el sur (norte) para formar el continente Pangea durante el Triásico. Dado que Chilenia y Patagonia chocaron contra Gondwana al mismo tiempo, se ha propuesto la posibilidad de que fueran la misma placa alóctona: CHIPA.

Palabras claves: CHIPA, Chilenia, Patagonia, Gondwana, Paleomagnetismo, Anisotropía de susceptibilidad magnética.



1. Introducción

A partir de la propuesta planteada por Ramos (2004) de considerar Patagonia como un continente alóctono a la deriva que colisiona durante el Paleozoico Tardío contra el borde sudoccidental del Gondwana, surgieron modelos alternativos que se pueden agrupar en colisionales y de deformación intracontinental. Sin embargo, aún quedan controversias acerca del origen de la Patagonia y sobre todo del momento en que se habría producido la deformación asociada a esta colisión. Para algunos investigadores la deformación ocurrió en una sola fase durante el Triásico, para otros en cambio comenzó en el Devónico Tardío - Carbonífero Temprano y se extendió hasta el Pérmico (Tomezzoli 2012). Los terrenos acrecionados sobre el núcleo cratónico gondwánico occidental con anterioridad al Devónico Tardío - Carbonífero Temprano son: Arequipa-Antofalla, Puna Oriental-Famatina, Cuyania-Precordillera y Chilena. La colisión del Macizo del Deseado contra el Macizo Nordpatagónico se habría producido en el Paleozoico Temprano (Ramos 2004) o durante el Carbonífero Medio para Pankhurst *et al.* (2006). Martínez *et al.* (2011), en base a evidencias de metamorfismo de alta presión, concluyen que Chilena se habría subducido durante el Devónico Medio por debajo del Macizo Nordpatagónico lo cual les permite extender el margen Sur de Chilena hasta los 42° de Latitud Sur actuales.

La región estudiada en este trabajo se extiende desde el ámbito geológico de las Sierras Australes, Bloque de Chadileuvú, hasta el Bloque de San Rafael (Fig. 1) en una faja conocida como “Cordón de los Gondwánides” (Keidel 1916). Con el objetivo de analizar regionalmente la magnitud de la deformación, las direcciones de los esfuerzos actuantes en distintos momentos geológicos y las relaciones temporo-espaciales entre las distintas localidades del cordón, se han realizado estudios de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM). Aquí se presentan algunos de los resultados obtenidos en localidades con rocas de distintas litologías y edades pre-carboníferas a permo-triásicas.

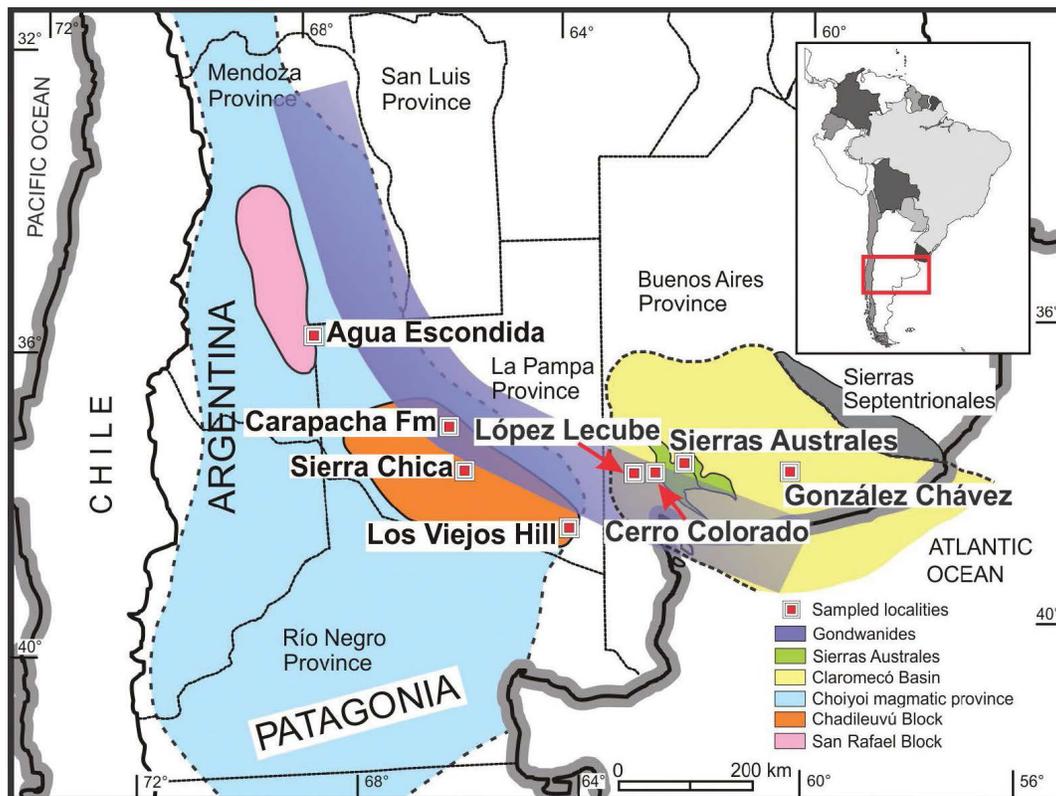


Figura 1: Ubicación de las localidades de muestreo donde se realizaron los estudios de fábricas magnéticas a lo largo del margen sudoccidental del Gondwana.



2. Metodología

La ASM es una técnica efectiva utilizada para medir la petrofábrica de las rocas (Fig. 2), ya sea de origen primario o tectónico (Borradaile 1988). El método está basado en la medición de la intensidad de la magnetización y en la orientación de los minerales magnéticos presentes en las rocas (Gleizes *et al.*, 1993). La ASM fue medida con un equipo Kappabridge MFK1-FA en Colgate University-NY-USA y en la UBA-Argentina.

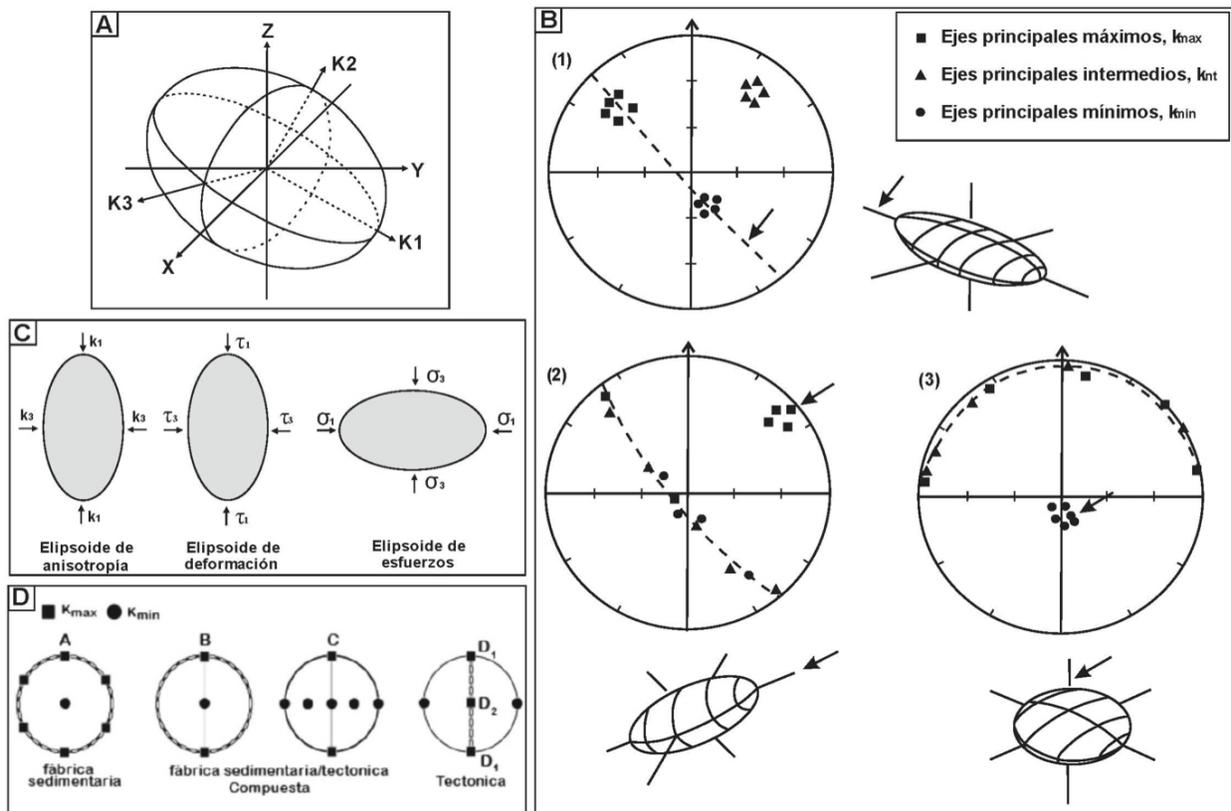


Figura 2: Representación gráfica del elipsoide de anisotropía de susceptibilidad magnética. **A)** ejes máximo ($K_1 = K_{máx}$), intermedio ($K_2 = K_{int}$) y mínimo ($K_3 = K_{mín}$). **B)** datos direccionales graficados sobre una red estereográfica. Tomado de Tarling y Hrouda (1993). **C)** relaciones entre el elipsoide de anisotropía, deformación y esfuerzo. **t** (tao): deformación; **s** (sigma): esfuerzo. **D)** Modelo conceptual de la evolución de ASM (A) sin deformación, triaxial (B), prolada (C) y oblada (D) tectónica (de izquierda a derecha; modificado de Weil y Yonkee, 2009).

3. Resultados

Para explicar la evolución del margen sudoccidental del Gondwana, se integraron resultados de ASM (Fig. 3) con observaciones de campo y datos paleomagnéticos, que indicarían que a lo largo de todo el margen Sudoccidental del Gondwana la deformación habría comenzado en el Devónico Temprano a Medio con la fase orogénica Chánica y continuado hasta el Pérmico con la fase orogénica San Rafael. Sin embargo, la deformación devónica es la más discutida. Esto probablemente se deba a que si bien en el margen oeste (Chilena) las zonas de sutura están cubiertas por sedimentos y rocas volcánicas más jóvenes (Álvarez *et al.*, 2011), allí la deformación andina desventró algunos afloramientos claves para su entendimiento. El margen sur, en cambio, menos influido por una tectónica reciente, no muestra evidencias tan claras de la deformación devónica.

De los resultados de AMS obtenidos a lo largo del margen (Fig. 3) surge que cada localidad tiene su propia signatura magnética dependiendo de sus características a la vez que sus edades y litologías. Sin embargo, entre ellas se puede establecer una evolución tectónica gradual. Las rocas de edad Pérmica, como el Grupo Pillahuincó (Arzadún *et al.*, 2016), la Cuenca de Carapacha (Tomezzoli *et al.*, 2006) y Sierra Chica (Tomezzoli

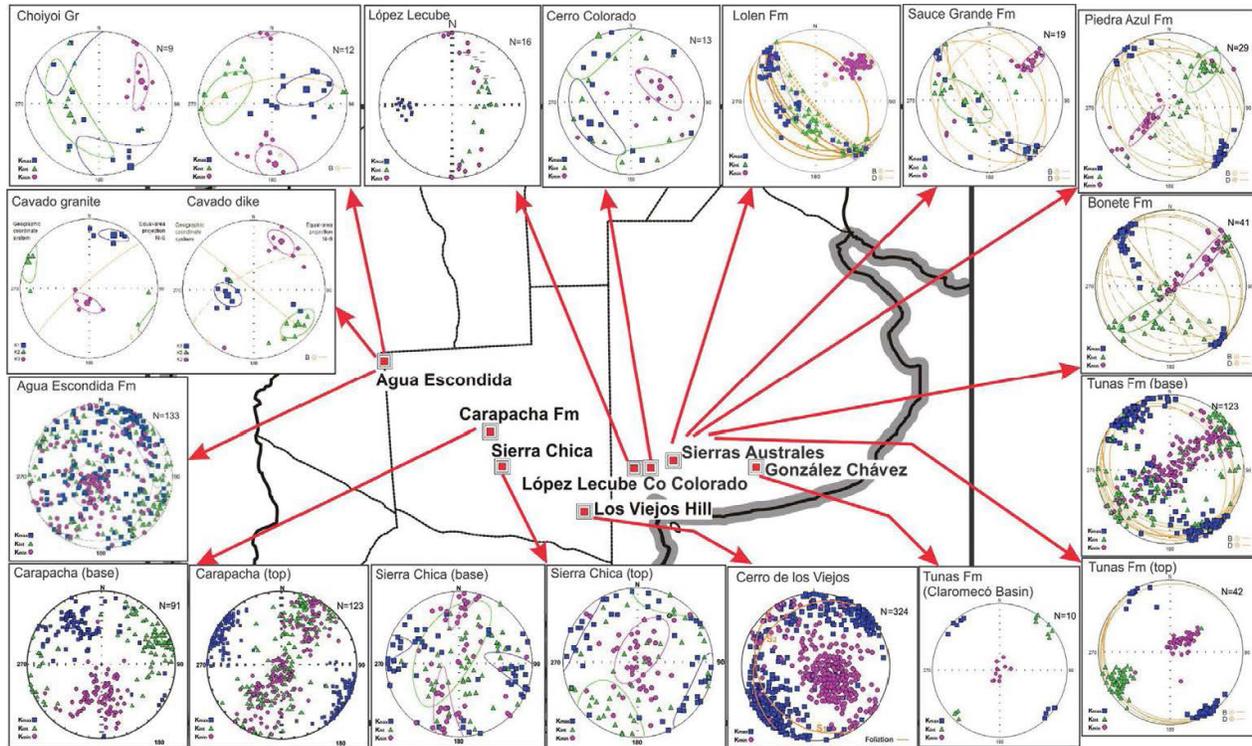


Figura 3. Resultados direccionales de ASM obtenidos en distintas localidades aflorantes a lo largo del margen sudoccidental del Gondwana

et al., 2013), tienen una impronta magnética regional que indica claramente direcciones de alargamiento (K_{max}) noroeste-sureste y, por lo tanto, una compresión noreste-suroeste (K_{min}). Esta deformación pérmica está vinculada con la Fase orogénica de San Rafael. También hay un movimiento del K_{min} desde la horizontal, (bases de las secuencias), a la vertical en los sitios más jóvenes (techos de las secuencias) y cambios del P_j . Esto estaría indicando fábricas magnéticas tectónicas que evolucionan a fábricas transicionales a sedimentarias (Fig. 3) En las localidades más jóvenes como Gonzales Chavez y Lopez Lecube, la impronta magnética tectónica tiende a diluirse. Esto evidencia que la intensidad de deformación disminuye hacia la cuenca del antepaís, aunque el esfuerzo regional es siempre desde el suroeste. Esta deformación coincide con una curvatura abrupta de la curva de desplazamiento polar aparente del Gondwana para el Pérmico (Tomezzoli 2009; Gallo *et al.*, 2017). Sin embargo, en las rocas más antiguas (Cerro de los Viejos, Cerro Colorado, Formación Lolén, Agua Escondida y Puelches), la impronta magnética varía y los esfuerzos principales pueden ser tanto desde el suroeste, oeste o desde el sur (Fig. 3). La complejidad en los patrones de ASM estaría relacionada con la superposición de diferentes fases orogénicas. En el granito Cavado y en los diques del Grupo Choiyoí, las fábricas magnéticas tienden a ser triaxiales sin un patrón de referencia común, por lo que se interpreta que el emplazamiento de estos cuerpos parece responder a esfuerzos locales más que regionales. Algo similar ocurre con otros diques e ignimbritas del Choiyoí (Las Piletas; Fig. 3), donde las fábricas responden a patrones de estrés complejos previamente instalados en la región. Una de las localidades claves para entender el modelo aquí propuesto es el contacto entre las Formaciones Lolén y Sauce Grande (Sierra de la Ventana), sobre el cual hay distintas interpretaciones (Tomezzoli *et al.*, 2017). Sin embargo, lo que allí no se discute es que entre ambas formaciones media un hiato que abarca gran parte del Carbonífero, y que las diferencias estructurales, topográficas y litológicas que presentan los grupos Curamalal y Ventana del Paleozoico Temprano, con el Grupo Pillahuincó del Paleozoico Tardío, son claras (Harrington 1947). Los resultados paleomagnéticos de Patagonia (Tomezzoli *et al.*, 2013), son consistentes con las paleolatitudes esperadas para Sudamérica durante el Paleozoico superior. Esto indica que durante el



Pérmico no hubo entre Gondwana y Patagonia desplazamientos latitudinales significativos e independientes entre ambos bloques continentales, permitiendo inferir que en el Pérmico ya estaban amalgamados.

Numerosos trabajos basados en distintas disciplinas dieron lugar a diferentes modelos para intentar explicar la evolución del margen Occidental y Sur del Gondwana. Entre muchos de los modelos hay puntos en común pero también hay contradicciones aparentes. Martínez *et al.* (2011), con estudios de detalle demuestran que es posible extender el margen Sur de Chilenia hasta los 42° actuales de Latitud Sur, concluyendo que Chilenia se subduce durante el Devónico Medio por debajo del Macizo Nordpatagónico. La posición del metamorfismo de alta presión estudiado por Martínez *et al.* (2011), es consistente con el modelo de evolución geológica aquí planteado, que propone que Chilenia y Patagonia habrían sido una misma placa continental subduciendo en forma oblicua por debajo de Gondwana (Fig. 4) en lugar de dos placas distintas que subducen una debajo de la otra.

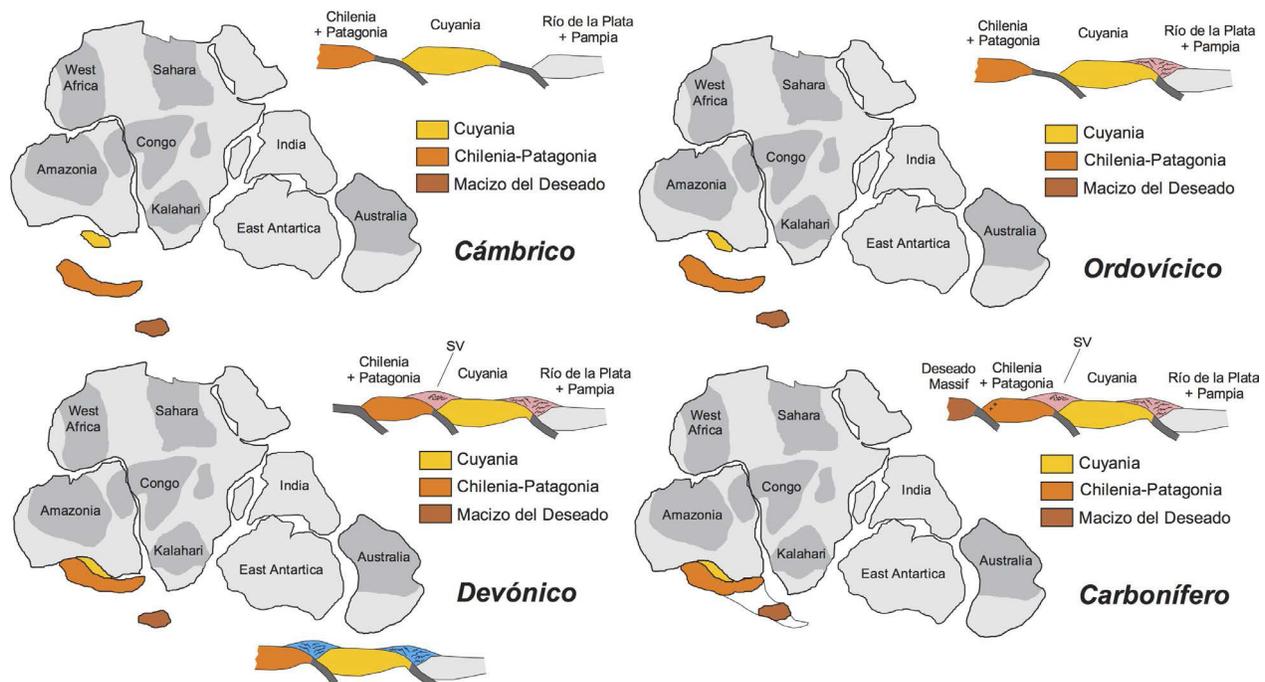


Figura 4. Acreción de terrenos a lo largo del margen Sudoccidental del Gondwana desde el Cámbrico al Carbonífero

4. Conclusiones

A partir de la integración regional de los datos de ASM, con datos paleomagnéticos y observaciones de campo, es posible proponer 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 (Fase Cháñica). Esta deformación se habría relacionado con la colisión de Chilenia-Patagonia desde el oeste-suroeste contra Gondwana. La deformación habría continuado hasta el Pérmico (Fase San Rafael - no colisional), que sería entonces la consecuencia de las últimas etapas de ensamble de las distintas placas continentales previamente acrecionadas al margen sudoccidental del Gondwana y la traslación que para el Paleozoico superior tanto Gondwana (desde el Sur) como Laurentia y Laurasia (desde el norte) experimentaban hacia latitudes ecuatoriales para terminar de configurar durante el Triásico a la Pangea (Wegener 1929). De manera tal que es posible visualizar al supercontinente de Gondwana como un núcleo cratónico principal sobre el cual se fueron amalgamando distintas placas menores que luego se siguieron acomodando y fusionando entre sí. Siendo que Chilenia y Patagonia habrían colisionado con Gondwana en el mismo momento geológico, existe la posibilidad que hayan sido el mismo continente alóctono a la deriva aquí bautizado como **CHIPA**.



Referencias:

- Alvarez, J., Mpodozis, C., Arriagada, C., Astini, R., Morata, D., Salazar, E., Valencia, V.A. y Vervoort, J.D. 2011. Detrital zircons from late Paleozoic accretionary complexes in northcentral Chile (28°-32°S): Possible fingerprints of the Chilenia terrane. *Journal of South American Earth Sciences* 32, 460-476.
- 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.
- Borradaile, G.J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. *Tectonophysics* 156, 1-20.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Minería, Agricultura, Nacional. Anales Dirección Nacional. Geología Minera, IX, 3. Buenos Aires.
- Martínez, J.C., Dristas, J.A. y Massonne, H.J. 2011. Palaeozoic accretion of the microcontinent Chilenia, North Patagonian Andes: high-pressure metamorphism and subsequent thermal relaxation. *International Geology Review*, 1-19.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. Fanning, C.M. y Márquez, M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth- Science Reviews* 76, 235-257.
- 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.
- 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., 2009. The Apparent Polar Wander Path for South America During the Permian-Triassic. *Gondwana Research* 15, 209 – 215.
- 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), 326-337.
- Tomezzoli, R.N., A. Rapalini, M. López de Luchi, Dopico, C., 2013. Further evidencies of lower Permian remagnetization in the North Patagonian Massif, Argentina. *Gondwana Research* 24, 192-202.
- 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 Letters* 3, Special Issue Montevideo.
- Tomezzoli, R.N., Melchor, R. y MacDonald, W.D. 2006. Tectonic implications of post-folding Permian magnetizations, Carapacha basin, Argentina. Paleomagnetism in Latinoamerica, Special Volume. *Earth and Planets Space* 58, 1235-1246.
- Tomezzoli, R.N., W.D. MacDonald and H. Tickyj, 2003. Composite magnetic fabrics from S-C granitic gneiss of Cerro de los Viejos, La Pampa province, Argentina. *Journal of Structural Geology*. V25/2, pp: 159-169.
- Wegener, A., 1929. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, pp. 221, Friedrich Vieweg & Sohn Akt. Ges, Braunschweig.