



REVISIÓN DE LA POSICIÓN DEL POLO PALEOMAGNÉTICO DE SIERRA CHICA, LA PAMPA, ARGENTINA, EN LA CURVA DE DESPLAZAMIENTO POLAR APARENTE DEL GONDWANA SUDOCCIDENTAL

Renata N. Tomezzoli^{1,2}, Haroldo Vizán^{1,2}, Hugo Tickyj³
Maria E. Woroszylo¹

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Instituto de Geofísica “Daniel A. Valencio”

² Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires IGEBA – CONICET,

³ Universidad Nacional de La Pampa, FCEyN., Departamento de Geología

RESUMEN

La Sierra Chica se encuentra ubicada en la provincia de La Pampa, Argentina (37° 52' S; 65° 27' W). Se trata de un afloramiento de rocas volcánicas perteneciente a la provincia magmática Choiyoi. Esta secuencia se compone de distintas unidades, cada una de las cuales presenta características litológicas, estructurales, de petrofábrica y radiométricas propias, además de la falta de continuidad física entre las mismas. En esta localidad hay dos polos paleomagnéticos publicados con distintas posiciones, pero no así en las direcciones de magnetización obtenidas *in situ* en los mismos sitios de muestreo. En ambos trabajos está claro que hay dos poblaciones de magnetizaciones distintas: una para las unidades de la base de la secuencia y otra para la unidad del techo. Estas diferencias fueron interpretadas como una discordancia orogénica entre ambas. De modo que las distintas posiciones polares podrían ser la consecuencia del manejo posterior realizado sobre bases de datos equivalentes por: 1) las correcciones de estructura aplicadas; 2) consideraciones geológicas de campo erróneas; 3) la combinación de 1 y 2. En este trabajo se presentan argumentos geológicos que demuestran que las diferencias entre los PPs publicados de la localidad de Sierra Chica son la consecuencia de la aplicación de datos estructurales erróneos a partir de consideraciones geológicas de campo inadecuadas.

Palabras clave: Sierra Chica - paleomagnetismo - curva de desplazamiento polar aparente - Gondwana - Paleozoico

ABSTRACT

The Sierra Chica is located in the province of La Pampa, Argentina (37° 52' S, 65° 27' W). It is an outcrop of volcanic rocks associated with the Choiyoi volcanism. This sequence is composed of different units, each of which have their proper lithological, structural, radiometric, and petrofabric characteristics, in addition to the lack of physical continuity between them. In this locality there are two published paleomagnetic poles with different positions, but not in the directions of magnetization obtained *in situ* in the same sampling sites. Although, in both studies it is clear that there are two different magnetization populations: one for the basal units and one for roof units, which were interpreted as the result of an orogenic unconformity between them. So, the differences between the polar positions could be the result of subsequent management conducted on equivalent databases: 1) structural corrections applied, 2) wrong field geological considerations, 3) the combination of 1 and 2. In this paper we present the geological arguments showing that the differences between the PPs published in the Sierra Chica locality are the results of the application of erroneous structural correction from inadequate field geological considerations.

Key words: Sierra Chica - paleomagnetism - apparent polar wander path - Gondwana - Paleozoic



Introducción

Los datos paleomagnéticos de Gondwana cuyas edades se encuentran involucradas en el Supercrón de Polaridad Reversa Kiaman son de fundamental importancia en las curvas de desplazamiento polar aparente de ese continente. Por un lado, y desde hace más de 30 años (véase Irving 1977 y Van der Voo y French 1976) los datos de edad pérmica de Gondwana no coinciden con los de una edad semejante obtenidos en Norte América y Europa en una reconstrucción de Pangea tipo Wegener, por lo cual se han propuesto diferentes modelos geodinámicos. Por otra parte durante el lapso de tiempo mencionado ocurrieron procesos tectónicos relevantes, por ejemplo en la República Argentina, la deformación que se reconoce en el cordón de las Gondwánides (fig. 1; Keidel, 1916). Existen distintas propuestas para explicar el origen de este cordón de deformación (*i.e.* Ramos, 1984, 2008; Pankhurst *et al.*, 2006; Kleiman, Japas, 2009; Tomezzoli, Vilas 1999; Tomezzoli, 2001, 2012).

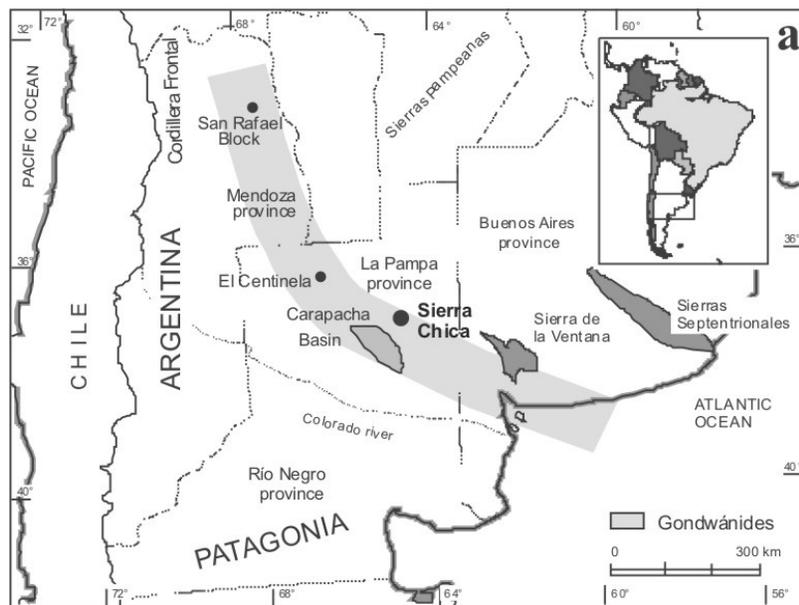


Figura 1. Cordón de las Gondwánides donde se muestra la ubicación regional de la localidad de Sierra Chica en la provincia de La Pampa, centro de Argentina

De manera que la ubicación geográfica de los polos pérmicos de Gondwana deben ser controladas estrictamente para poder determinar cuál de las diferentes propuestas de Pangea es la más probable y para establecer con mayor sustento cuales de los modelos propuestos es el más confiable en cuanto a la explicación del origen de la deformación pérmica.

En esta contribución se analizan los polos paleomagnéticos (PPs) de edad pérmica que han dado lugar a diferentes posiciones polares publicadas por Tomezzoli *et al.* (2009) y posteriormente por Domeier *et al.* (2011).

Existen diferencias apreciables entre las posiciones finales de ambos PPs pero no así en las direcciones de magnetización obtenidas *in situ* en los mismos sitios de muestreo. En ambos trabajos está claro que existen dos poblaciones con direcciones de magnetización diferentes. De modo que las diferentes posiciones polares son la consecuencia del manejo posterior realizado sobre bases de datos equivalentes. Estas diferencias podrían surgir a partir de: 1) las correcciones de estructura aplicadas; 2) consideraciones geológicas de campo erróneas; 3) la combinación de 1 y 2.

En este trabajo se presentan los datos geológicos-estructurales y petrográficos que demuestran que las diferencias entre los PPs calculados por Tomezzoli *et al.* (2009) y por Domeier *et al.* (2011) son la consecuencia de la aplicación de datos estructurales erróneos a partir de consideraciones geológicas de campo inadecuadas.

Geología de la localidad de muestreo

Las rocas volcánicas de la Sierra Chica (37° 52' S, 65° 27' W; fig. 2) se encuentran en la parte sur del Bloque Chadileuvú (Llambías *et al.* 1996) en la provincia de La Pampa centro de Argentina (fig. 1). Este

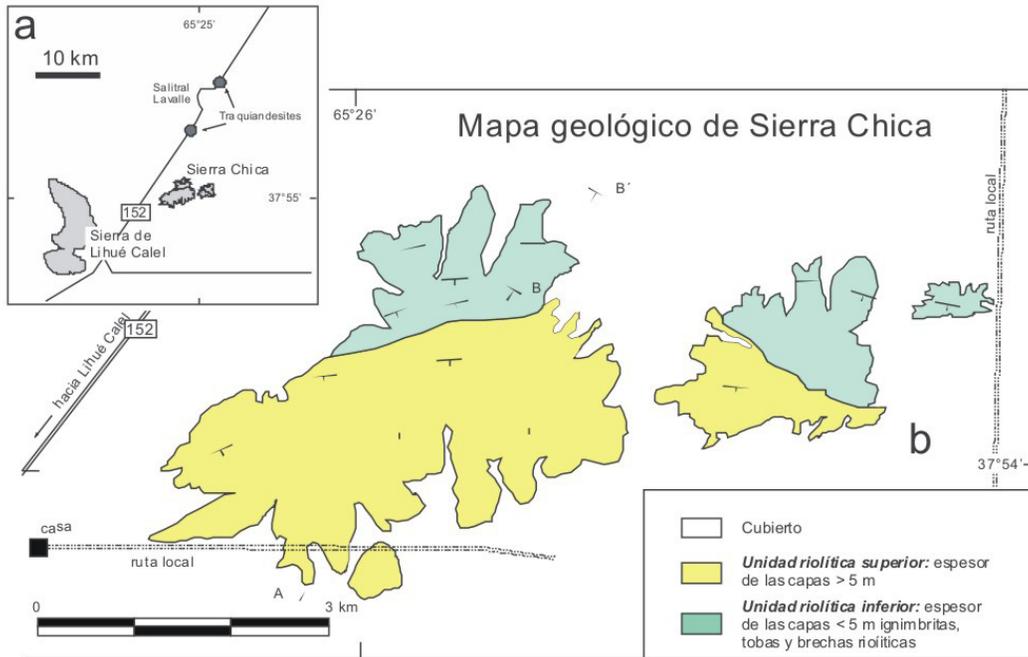


Figura 2. Mapa geológico de Sierra Chica con las tres unidades geológicas mencionadas. a) Traquiandesitas aflorantes sobre la ruta; b) cuerpo principal de la sierra. Tomado y modificado de Quenardelle y Llambías (1997). Perfil A-B publicado en el trabajo de Tomezzoli *et al.* (2009); Perfil A-B' publicado en el trabajo de Domeier *et al.* (2011). En este último trabajo también se incluye un sitio sobre las traquiandesitas

vulcanismo es interpretado como parte del Grupo Choiyoi (Llambías *et al.* 2003). La Sierra Chica es un elemento positivo que constituye uno de los máximos topográficas del paisaje de La Pampa. Del estudio y descripción realizados con detalle por Quenardelle y Llambías (1997) surge que la secuencia se compone en el cuerpo principal de la sierra por dos unidades que presentan diferencias estructurales y texturales claramente visibles en el campo (fig. 3; Tabla 1).

Posición estratigráfica	Composición / textura	Plano de estratificación
1) Afloramiento sobre la ruta. Separado del cuerpo principal de la sierra	Traquiandesitas. Muy diaclasado y meterorizado	Poco claro (Figura 3a)
2) Base de la secuencia. Separado del cuerpo principal de la sierra	Riolitas claramente laminadas	080°/40°-50° (Figura 3b)
3) Techo: cuerpo principal de la sierra	unidades piroclásticas estratificadas de grano fino y grano grueso	050°-70°/20° (Figura 3b)

Tabla 1: Diferencias composicionales, texturales y estructurales presentes, dependiendo de las diferentes posiciones estratigráficas presentes en la localidad de Sierra Chica



Figura 3. Fotografías de campo donde es posible apreciar las diferencias estructurales y texturales entre las distintas unidades; a) traquiandesitas de la ruta donde se aprecia el intenso diaclasamiento; b) base de la secuencia, donde se aprecia claramente el plano de estratificación que puede llegar hasta 50° (ver martillo como referencia) y la laminación interna; c) unidades del techo con estratificación variada

Por debajo estratigráficamente hay un afloramiento pequeño sobre la ruta a menos de 2 km de distancia (norte; fig. 2a) del cuerpo principal de la sierra que se compone de flujos piroclásticos y lavas de composición traquiandesítica con un alto grado de alteración y diaclasamiento (fig. 3a).

En discontinuidad física y hacia el cuerpo principal de la sierra afloran otras dos unidades que se encuentran por encima estratigráficamente de las traquiandesitas. En la sección basal afloran estratos topográficamente muy bajos (menos de 2m de altura que no son visibles desde la ruta), de composición riolítica y de menos de 1 metro de espesor, laminación interna muy clara visible en el campo y con hasta 55° de inclinación hacia el Sureste (fig. 3b). Nuevamente en discontinuidad física y hacia arriba estratigráficamente, en lo que constituye el cuerpo topográfico más visible de la sierra, afloran en la parte más baja (Figura 3c) unidades piroclásticas bien estratificadas de poco espesor (< 7 m) intercaladas con unidades delgadas de caída, que pasan hacia arriba (fig. 3c) a ser capas gruesas piroclásticas (10-20 m) con reomorfismo (figs. 2 y 3c; Quenardelle y Llambías, 1997)

Cada una de estas unidades presenta características litológicas, como las recién descritas y estructurales propias. Los planos de estratificación (que aquí se presentan con valores promedios) fueron medidos en el



campo y difieren dependiendo de la posición estratigráfica de cada unidad (Tabla 1). Estos datos de campo son fundamentales para poder comprender la estratigrafía y estructura de la Sierra Chica, y para poder realizar interpretaciones geológicas adecuadas que son indispensables en el análisis de los datos paleomagnéticos.

Metodología de trabajo

Esta localidad fue muestreada en dos ocasiones distintas. El primer muestreo fue realizado en el año 1986. En esa oportunidad se muestrearon 11 sitios con tres muestras de mano en cada uno. Estos resultados fueron dados a conocer por Tomezzoli *et al.* (2009) y en el mismo se plantea la presencia de una discordancia orogénica entre las direcciones de magnetizaciones remanentes calculadas.

Dado que el muestreo había sido realizado sin contar con GPS y había relativamente pocas muestras por sitios, se decidió realizar un segundo muestreo de mayor detalle. En esta segunda oportunidad se recolectaron sobre la misma traza del perfil anterior tanto cilindros con perforadora portátil (ver SC en la Tabla 1 de Domeier *et al.* 2011) como muestras de mano (ver RS en la Tabla 1 de Domeier *et al.* 2011). En ambos trabajos se utilizaron técnicas convencionales de desmagnetización por altas temperaturas.

También se midió la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) a fin de evaluar la petrofábrica de 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 (fig. 4). De los datos de ASM, también surge que hay una diferencia marcada en la fábrica entre la base y el techo de la secuencia en concordancia con las diferencias litológicas y estructurales mencionadas anteriormente.

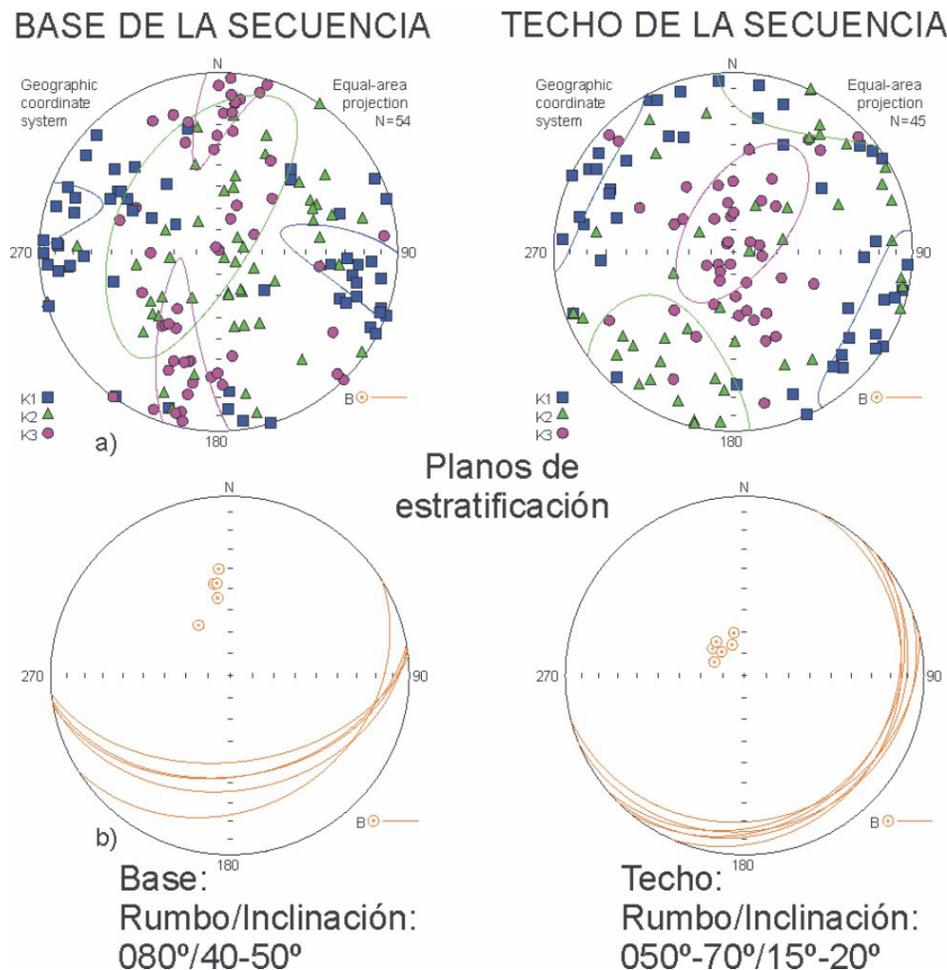
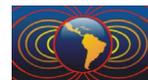


Figura 4. a) resultados de anisotropía de susceptibilidad magnética de los especímenes de Sierra Chica donde se ven claramente las diferencias direccionales de los ejes de ASM de la base respecto al techo de la secuencia; b) planos de estratificación medidos en el campo. Es interesante notar las diferentes inclinaciones que presentan los planos de la base (hasta 50°) con respecto a los del techo (hasta 20°)



En la lava tranquiandesítica en la base de la secuencia recientemente se obtuvo mediante el método U-Pb (circón) una edad de cristalización de 276.9 ± 7.9 Ma; en tanto que en la brecha riolítica del sector superior se obtuvo una edad de cristalización de 263.4 ± 1.8 Ma (Tickyj *et al.*, 2013). Los circones se separaron de las rocas con técnicas gravimétricas y magnéticas, fueron montados en resina epoxy y pulidos con polvo de diamante. Para cada circón se obtuvo una imagen de electrones retrodispersados con un microscopio electrónico de barrido. En base a estas imágenes fueron seleccionadas áreas circulares de 25 micrones de diámetro para su análisis isotópico. Los análisis fueron realizados con un espectrómetro de masas con plasma acoplado por inducción que tiene adosada una sonda láser para el arranque del material.

Discusión de los resultados

De las direcciones medias finales presentadas por Tomezzoli *et al.* (2009) como por Domeier *et al.* (2011) surge claramente que hay dos poblaciones de direcciones de magnetización reversas diferentes. Una población en la base de la secuencia y otra población en el techo de la secuencia. En el caso de las traquiandesitas de la ruta (fig. 2a) Domeier *et al.* (2011) encuentra direcciones con polaridad normal (fig. 5). Para realizar la corrección de estructura de las direcciones obtenidas en dos sitios de muestreo Tomezzoli *et al.* (2009; fig. 5) utilizaron el plano de estratificación medido *in situ* y cuyo valor es $068^{\circ}/18^{\circ}$ (ver discusión en el texto de Tomezzoli *et al.*, 2009) que sería equivalente al aquí presentado en los afloramientos 3c de la Tabla 1.

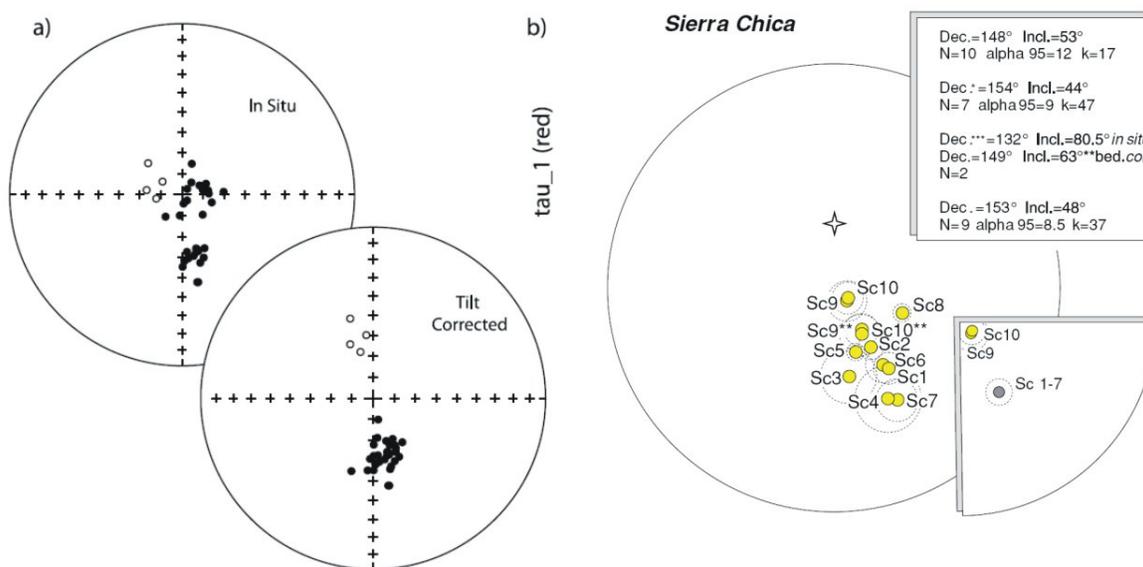
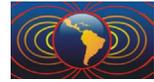


Figura 5. Direcciones medias finales presentadas por: a) Domeier, *et al.* (2011) y b) por Tomezzoli *et al.* (2009)

Sin embargo, Domeier *et al.* (2011) para realizar la corrección de estructura de la base y del sector medio de la secuencia utiliza un plano de estratificación cuya de actitud es $105^{\circ}-95^{\circ}/25^{\circ}$ sin especificar donde fue medido ni a que sitio corresponde en particular. Esta corrección de estructura aplicada por Domeier *et al.* (2011) no corresponde a un dato estructural reconocido en el campo. Llamativamente para conseguir un valor óptimo de despliegue (“*unfolding*”) aplicando este valor de corrección estructural necesita hacer un 121.5% de corrección de estructura con límites de confianza entre el 105% y el 135%.

Por otra parte Domeier *et al.* (2011) realizan dataciones SHRIMP U-Pb en distintas posiciones estratigráficas de la secuencia y obtienen distintas edades (Ver Tabla II en Domeier *et al.* 2011) que luego promedian para obtener un valor único que generalizan para toda la secuencia. Incluso promedian los datos de la traquiandesita ubicada estratigráficamente en la base de la secuencia y por debajo de los estratos que se



encuentran en el cuerpo principal de la sierra con los datos del techo de la secuencia y obtienen una edad de 263 Ma. Este dato les permite considerar como primaria a la polaridad normal de la traquiandesita (fig. 2a). Más aún, las tres edades que obtienen Domeier *et al.* (2011) tienen valores individuales que son contrarios a la posición estratigráfica, es decir en la traquiandesita obtienen la edad más joven y en el techo la edad más vieja. De hecho las edades de cristalización recientemente obtenidas (Tickyj *et al.* 2013) en la lava traquiandesítica en la base de la secuencia son de 276.9 ± 7.9 Ma; en tanto que en la brecha riolítica del sector superior se obtuvo una edad de cristalización de 263.4 ± 1.8 Ma. Estos resultados son coherentes con las posiciones estratigráficas diferentes que ocupan las distintas unidades.

Conclusiones

De todos los datos publicados de la localidad de Sierra Chica en la provincia de La Pampa en el margen suroccidental de Gondwana, es evidente que hay diferencias de campo notables en tanto que no hay una continuidad física entre los distintos afloramientos estudiados. Así como también existen diferencias litológicas, estructurales, de petrofábrica y radiométricas que hacen imposible considerar al conjunto de todos los datos paleomagnéticos como una única población.

La polaridad normal obtenida justamente en la base de la secuencia no justifica que el conjunto de todas las direcciones tengan una edad más joven que el Supercrón de Polaridad Reversa Kiaman (265 Ma; Gransdtein *et al.* 2004). Es posible que esta polaridad normal responda a una remagnetización asociada con el emplazamiento de las vulcanitas de la Sierra de Lihué Calel muy próxima y con edades mucho más jóvenes que habrían producido además el diaclasamiento y la alteración extrema visible macroscópicamente en este afloramiento.

De manera tal que se concluye que es necesario trabajar respetando las diferencias estratigráficas y estructurales reconocidas en el campo. En este trabajo se presentan los datos geológicos-estructurales y petrográficos que demuestran que las diferencias entre los PPs calculados por Tomezzoli *et al.* (2009) y por Domeier *et al.* (2011) son la consecuencia de la aplicación de datos estructurales erróneos a partir de consideraciones geológicas de campo inadecuadas. Si a las direcciones medias finales por sitio de muestreo publicadas por Domeier *et al.* (2011) se les aplicará la corrección de estructura obtenida para cada sitio paleomagnético, la posición polar que se obtendría resultaría similar a la publicada por Tomezzoli *et al.* (2009).

Agradecimientos

Este estudio fue financiado con los proyectos PIP-2828-CONICET; UBACYT-X220, UBACYT 894. Se agradece al Doctor Augusto E. Rapalini quien cedió las muestras para el primer trabajo y a quien arbitro este trabajo.

Referencias

- Domeier, M., Van der Voo, R., Tohver, E., Tomezzoli, R. N., Vizán, H., Torsvik, T. H., Kirshner, J., 2011. New Late Permian paleomagnetic data from Argentina: Refinement of the apparent polar wander path of Gondwana. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol.12, Q 07002
<http://dx.doi.org/10.1029/2011GC003616>
- Gradstein, F., Ogg, J., and Smith, A., 2004. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press, New York, 589 p.
- Irving, E., 1977. Drift of the mayor continental blocks since the Devonian. *Nature*, 270, 304-309.
- 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. Ministerio de Agricultura Nacional. *Anales Dirección Nacional de Geología y Minería*. IX (3), Buenos Aires.
- Kleiman, L. E. and Japas, M. S., 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S–36°S (San Rafael, Mendoza,



- Argentina): Implications for the Late Palaeozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 47, 283-299.
- Llambías, E. J., Quenardelle, S., and Montenegro, T., 2003. The Choiyoi Group from Central Argentina: a subalkaline transitional to alkaline association in the craton adjacent to the active margin of Gondwana continent. *Journal of South American Earth Sciences* 16, 243-257.
- Pankhurst, R. J., Rapela, C. W. Fanning, C. M., Márquez, M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Sciences Reviews*, 76, 235-257.
- Quenardelle, S. M., Llambías, E. J., 1997. Las riolitas de Sierra Chica (37°S, 65°O): un centro eruptivo gondwánico en el bloque del Chadileuvú, provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52 (4), 549-558.
- Ramos, V.A., 1984. Patagonia: ¿Un continente paleozoico a la deriva? 9th Cong. Geol. Argentino, Bariloche, *Actas* 2, 311-325.
- Ramos, V. A., 2008. Patagonia: a Paleozoic continent adrift?. *Journal of South American Earth Sciences* 26, 235-251.
- Tickyj, H., Tomezzoli, R. y Porcher, C. C., 2013. Edades U-Pb de Sierra Chica, Magmatismo Choiyoi, La Pampa. XI Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Organizadas por el Consejo Profesional de Ciencias Naturales de La Pampa. CD Resúmenes: 68. Santa Rosa, La Pampa.
- 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., 2012. Chilenia y Patagonia: el mismo continente alóctono a la deriva?. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (2), 220 – 237.
- 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.
- Tomezzoli, R. N., Saint Pierre, T., and Valenzuela, C., 2009. **New Palaeomagnetic results from Late Paleozoic volcanic units along the western Gondwana in La Pampa, Argentina.** *Earth and Planets Space*, 60, 1-7.
- Van der Voo, R. y French, R. B., 1974. Apparent polar wander for the Atlantic bordering continents: Late Carboniferous to Eocene. *Earth Science Review*, 10, 99-119.