



PALEOMAGNETISMO de ROCAS del MIOCENO SUPERIOR de la PRECORDILLERA del NORTE de CHILE: IMPLICANCIAS TECTONICAS

Rubén Somoza^a, Silvia Singer^a y Andrew Tomlinson^b

INTRODUCCION

La mayoría de los datos paleomagnéticos del norte de Chile provienen de rocas mesozoicas y paleógenas, la única excepción es el estudio sobre la Formación San Pedro (Oligoceno-Mioceno Inferior, 1). En contraste, la mayoría de los datos paleomagnéticos del centro-sur de Bolivia y noroeste de Argentina fueron obtenidos sobre rocas neógenas. Sin embargo, el conjunto de todos estos datos indica la presencia sistemática de rotaciones alrededor de ejes verticales en sentido horario en los Andes Centrales del sur (Fig. 1a). El origen de estas rotaciones es un tema controvertido dentro de la tectónica andina.

Beck (2) sugirió que los datos paleomagnéticos del norte de Chile indican la presencia de rotaciones horarias de pequeños bloques corticales, y propuso un mecanismo que involucra cizalla dextral en respuesta a la dirección oblicua de la convergencia cenozoica. Isacks (3) presentó un modelo donde sugiere que el norte de Chile habría experimentado una rotación horaria para acomodar el acortamiento registrado en los Andes argentino-bolivianos durante el Cenozoico. Una contribución más reciente compatibilizó ambos mecanismos (4). En contraste con estos modelos de carácter regional, otros autores (5, y referencias allí citadas) vincularon algunas de las rotaciones del norte de Chile con estructuras locales, y plantearon interpretaciones alternativas de alcance más restringido.

Por su parte, los datos paleomagnéticos del centro-sur de Bolivia y noroeste de Argentina (Fig. 1a) fueron interpretados, o bien como evidencia de una rotación en sentido horario de todo el orógeno (6, 7), o bien como resultado de rotación local de bloques (8, 9).

La escasez de datos paleomagnéticos del Terciario Superior del norte de Chile dificulta la correlación entre las rotaciones de esta región con aquellas detectadas más al Este. Con el objetivo de mejorar la resolución temporal y espacial de la base de datos regional, se recolectaron muestras de rocas sedimentarias (Formación El Loa, 11) e ignimbritas (Sifón, 11) del Mioceno Superior de la Precordillera de Chile (Fig. 1).

Los resultados obtenidos indican que la zona de estudio no fue afectada por rotaciones significativas desde el Mioceno Tardío hasta el Reciente. Desde un punto de vista regional, se sugiere que las rotaciones detectadas en rocas del Mioceno Superior, o más jóvenes, deberían ser explicadas mediante rasgos geológicos locales.

MUESTREO Y RESULTADOS

Las rocas sedimentarias de la Formación El Loa fueron muestreadas en una sección de aproximadamente 40 metros que está expuesta, por debajo de la ignimbrita Sifón y sin base visible, en la

^a Depto. Geología, FCEyN, UBA - Paellón 2, Ciudad Universitaria, Buenos Aires

^b SERNAGEOMIN - Av. Santa María 0104, Santiago

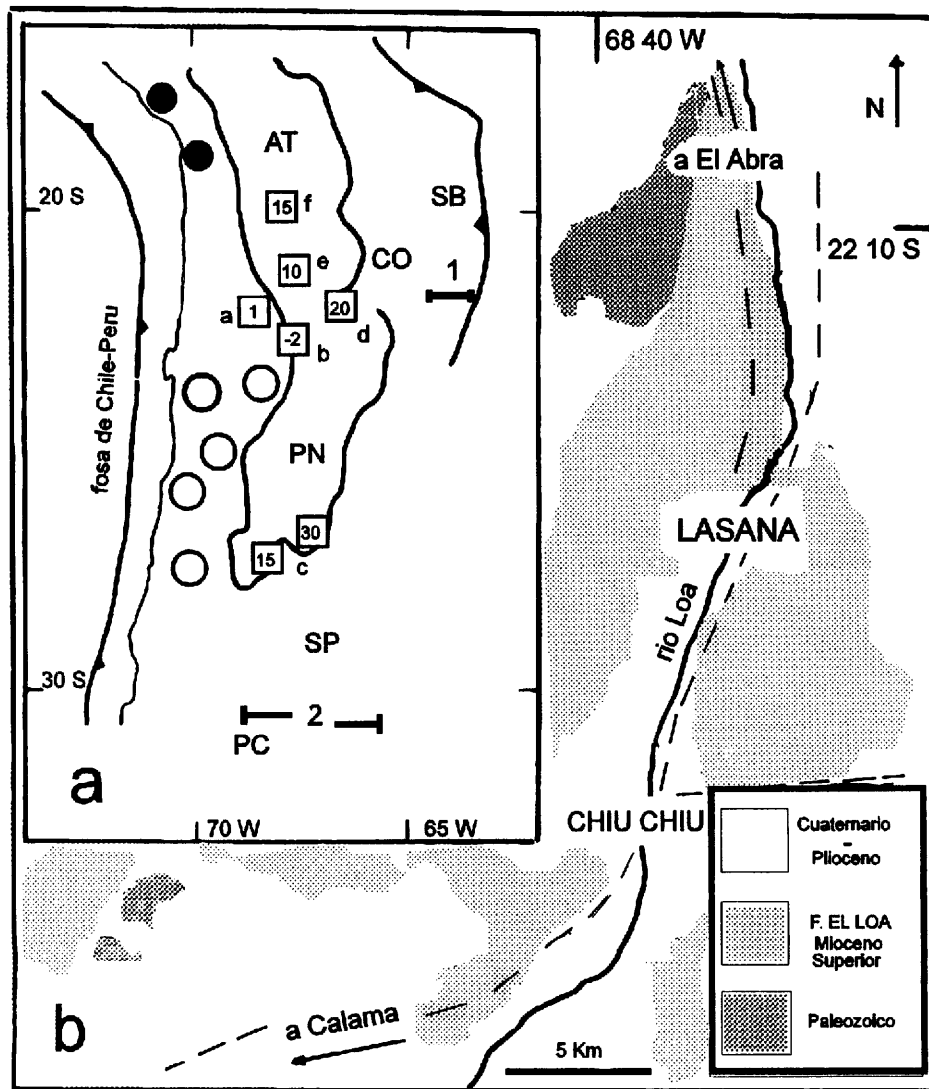


Figura 1 - a) Los círculos vacíos (llenos) indican rotaciones horarias (antihorarias) de rocas pre-Mioceno Superior. Las rotaciones antihorarias, presentes en el extremo norte de Chile, caracterizan al margen peruano. Los cuadrados indican datos paleomagnéticos de rocas del Mioceno Superior, los números dentro de los cuadrados indican el valor de rotación. Fuente: a (este trabajo), b (8), c (9), d (10), e-f (7). 1 y 2 muestran la ubicación de las secciones balanceadas que se mencionan en el texto. AT: Altiplano, PN: Puna, CO: Cordillera Oriental, SB: Sierras Subandinas, PC: Precordillera Argentina, SP: Sierras Pampeanas. b) esquema geológico de la zona de muestreo de las rocas sedimentarias. La sección estudiada se ubica en la misma localidad de Lasana.

margen izquierda del río Loa, en Lasana (Fig. 1b). La unidad está aquí integrada por conglomerados y areniscas, con menor participación de limoarcilitas y margas. Se recolectaron 42 muestras distribuidas en 7 niveles (sitios) de granulometría fina. La edad miocena tardía de estas rocas fue confirmada por una datación Ar-Ar ($11,3 \pm 0,2$ Ma) obtenida sobre una intercalación tobácea expuesta algunos kilómetros más al sur (12).

La ignimbrita Sifón (8,3 Ma, promedio ponderado de 24 edades K-Ar) fue muestreada en 7 sitios distribuidos irregularmente en una estrecha franja longitudinal de 100 km, centrada en Lasana. Uno de estos sitios corresponde al afloramiento que sobreyace a la sección sedimentaria mencionada arriba. El sitio más austral se definió a solo 6 km de la localidad donde se reportó una rotación horaria en rocas la Formación San Pedro (1).

El material recolectado fue sometido a desmagnetización detallada. Uno de los sitios de rocas sedimentarias no produjo resultados confiables y fue descartado del análisis. Para los 6 sitios restantes se pudo definir una componente de magnetización estable (Fig 2a) luego de aplicar temperaturas (campos) del orden de los 300/400°C (10/15mT). La dirección media de magnetización para la sección sedimentaria (Decl. = 1°E, Incl. = -46°, $a_{95} = 7^\circ$, k = 52, n = 6) es similar a la dirección del campo magnético dipolar, axial

y geocéntrico en la región. La ignimbrita Sifón, por su parte, reveló ser portadora de una magnetización de orientación norte con suave inclinación hacia abajo (Fig.2b), que generalmente se obtuvo luego de aplicar campos de 10 a 40 mT.

Las características ópticas y magnéticas de estas rocas son similares en todos los casos. Mediante microscopía con luz reflejada fue posible observar titanomagnetitas, con una proporción variable de minerales de la serie hematita-ilmenita. Por otra parte, estudios de magnetismo de rocas sugieren un comportamiento tipo dominio pseudo simple. Considerando toda la información obtenida, concluimos que el origen de las magnetizaciones de las rocas sedimentarias puede ser detrítico, mientras que sería térmico en el caso de la ignimbrita.

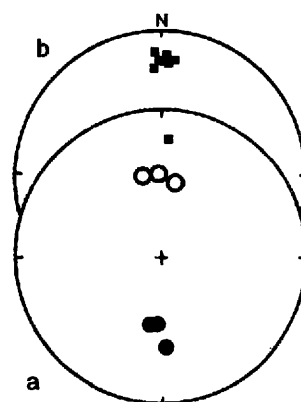
IMPLICANCIAS TECTONICAS

El campo magnético del Mioceno Tardío en coordenadas sudamericanas es indistinguible del campo magnético dipolar actual (7). Como consecuencia, el resultado de las rocas sedimentarias (Fig.2a) indica que la localidad de Lasana no ha sido afectada por rotaciones significativas durante los últimos 11 m.y. Por otra parte, las magnetizaciones de la ignimbrita Sifón (Fig.2b) sugieren que no ocurrieron rotaciones relativas entre estas 7 localidades desde el emplazamiento del flujo piroclástico. La ubicación de algunos sitios de la ignimbrita, que se destacó más arriba, indica que gran parte de la zona de estudio no experimentó rotaciones significativas respecto al cratón durante los últimos 8 m.y., y confirma una edad no más joven que el Mioceno Tardío para las rotaciones detectadas al norte de San Pedro de Atacama (1).

El acortamiento diferencial en el borde oriental del orógeno pudo haber provocado una rotación uniforme de las áreas más occidentales (3). Durante los últimos 11 m.y., este acortamiento fue de 140/150 km en la latitud 22°S (13; sección 1 en Fig. 1a), y de 95 km en 30°S (integrado de 14, 15, 16; sección 2 Fig. 1a). El acortamiento diferencial entre estas 2 secciones podría haber acomodado una rotación horaria regional del orden de los 3°, valor difícil de confirmar mediante un solo estudio paleomagnético.

Nuestro resultado es semejante al que brindaron datos paleomagnéticos obtenidos sobre rocas contemporáneas del norte de la Puna (b en Fig. 1a), pero difieren de las rotaciones horarias (de 10° a 30°) detectadas en rocas del Mioceno Superior del sur del Altiplano, borde austral de la Puna y Cordillera Oriental (c, d, e, f en Fig. 1a). La magnitud de estas rotaciones es significativamente mayor que el valor que predice, tanto el modelo de plegamiento oroclinal planteado por Isacks para el antearco (3), como nuestra estimación de 3° mencionada arriba. En algunos casos (c, d en Fig. 1a), las rotaciones se localizan en zonas de transferencia dextral E-W, que acomodan cambios en la cantidad, ubicación y estilo del acortamiento a lo largo del borde oriental del orógeno (13, 17). En otros casos (e, f, en Fig. 1a) no es posible establecer una relación directa entre estructuras locales y rotaciones, aunque otras evidencias de cizallamiento dextral del Mioceno Tardío-Cuaternario, que se mencionan a continuación, podrían ser consideradas.

Figura 2 - Direcciones de magnetización por sitio. Símbolos vacíos (llenos) indican proyección en el hemisferio superior (inferior). Círculos indican direcciones de magnetización de las rocas sedimentarias. Cuadrados indican direcciones de magnetización de la ignimbrita Sifón. a) Resultados de la localidad de Lasana (Fig. 1b). b) Sitios de la ignimbrita Sifón distribuidos en una franja de 100 km centrada en Lasana ("a" en Fig. 1a).



Trabajos de campo indican que, durante el Mioceno Tardío-Plioceno, la zona de Calama experimentó una deformación de pequeña magnitud, que se detecta como fallas inversas y fallas de rumbo dextrales de orientación meridiana. Esta deformación en la Precordillera de Chile es contemporánea al cizallamiento dextral N-S reportado para varias zonas del sur del Altiplano y la Puna (18, y referencias allí citadas). La ocurrencia de rotaciones horarias y cizallamiento dextral N-S durante el Mioceno Tardío-Cuaternario, sugiere que ambas expresiones de la deformación podrían estar vinculadas en algunas zonas de la región.

Como conclusión, los datos paleomagnéticos del flanco sur de la deflexión boliviana sugieren la ocurrencia de rotaciones locales durante los últimos 11 m.y. La información disponible posibilita vincular algunas de estas rotaciones con cizallamiento dextral en zonas de transferencia, y permite considerar al cizallamiento dextral N-S registrado durante el Mioceno Tardío-Cuaternario como un mecanismo potencial para explicar otras rotaciones. No obstante, el efecto de una rotación horaria oroclinal del orden de los 3° puede ser contemplado dentro de los valores de rotación observados.

Agradecimientos: Este trabajo fue posible gracias al apoyo del SERNAGEOMIN. Las mediciones se llevaron a cabo en el laboratorio de paleomagnetismo de la Universidad de Buenos Aires. La presentación se realiza en el marco del Proyecto FONDECYT Nro. 1970002.

REFERENCIAS

- 1) Hartley, A.; Jolley, E. y Turner, P., 1992, Paleomagnetic evidence for rotation in the Precordillera of northern Chile: structural constraints and implications for the evolution of the Andean forearc, *Tectonophysics*, v.205, p.49-64.
- 2) Beck, M., 1987, Tectonic rotations on the leading edge of South America: The Bolivian orocline revisited, *Geology*, v. 15, p.806-808.
- 3) Isacks, B., 1988, Uplift of the Central Andean Plateau and bending of the Bolivian orocline, *J. Geophys. Res.*, v.93, p.3211-3231.
- 4) Beck, M.; Burmester, R.; Drake, R. y Riley, D., 1994, A tale of two continents: some tectonic contrast between the Central Andes and the North American Cordillera, as illustrated by their paleomagnetic signatures, *Tectonics*, v. 13, p.215-224.
- 5) Randall, D.; Taylor, G. y Grocott, J., 1996, Major crustal rotations in the Andean margin: Paleomagnetic results from the Coastal Cordillera of northern Chile, *J. Geophys. Res.*, v.101, p.15783-15798.
- 6) Watts, A.; Lamb, S.; Fairhead, J. y Dewey, J., 1995, Lithospheric flexure and bending of the Central Andes, *Earth Plan. Sci. Lett.*, v.134, p.9-21.
- 7) MacFadden, B.; Anaya, F. y Swisher III, C., 1995, Neogene paleomagnetism and oroclinal bending of the Central Andes of Bolivia, *J. Geophys. Res.*, v.100, p.8153-8167.
- 8) Somoza, R.; Singer, S. y Coira B., 1996, Paleomagnetism of Upper Miocene ignimbrites at the Puna: an analysis of vertical-axis rotations in the Central Andes, *J. Geophys. Res.*, v.101, p.11387-11400.
- 9) Aubry, L.; Roperch, P.; de Urreiztieta, M.; Rosello, E. y Chauvin, A., 1996, Paleomagnetic study along the southeastern edge of the Altiplano_puna Plateau: Neogene tectonic rotations, *J. Geophys. Res.*, v.101, p.17883-17899.

- 10) MacFadden, B.; Anaya, F.; Perez, H.; Naeser, C.; Zeitler, P. y Campbell, K., 1990, Late Cenozoic paleomagnetism and chronology of Andean basins of Bolivia: Evidence for possible oroclinal bending, *J. Geol.*, v.98, p.541-555.
- 11) Marinovic, N. y Lahsen, A., 1984, Hoja Calama (1:250.000), Carta Geológica de Chile Nro. 58, SERNAGEOMIN, 140 pp., Santiago, Chile.
- 12) May, G., 1997, Oligocene to Recent evolution of the Calama basin, northern Chile, Ph.D. thesis (inérita), University of Aberdeen, Reino Unido.
- 13) Kley, J., 1996, Transition from basement-involved to thin-skinned thrusting in the Cordillera Oriental of southern Bolivia, *Tectonics*, v.15, p.763-775.
- 14) Introcaso, A.; Lion, A. y Ramos, V., 1987, La estructura profunda de las Sierras de Córdoba, *Asoc. Geol. Arg. Rev.*, v.42, p.177-187.
- 15) Jordan T.; Allmendinger, R.; Damanti, J. y Drake, R., 1993, Chronology of motion in a complete thrust belt: the Precordillera, 30-31°S, Andes Mountains, *J. Geol.*, v.101, p.135-156.
- 16) Zapata, T. y Allmendinger, R., 1996, Growth stratal records of instantaneous and progressive limb rotation in the Precordillera thrust belt and Bermejo basin, Argentina, *Tectonics*, v.15, p.1065-1083.
- 17) de Urreiztieta, M.; Gapais, D.; Le Corre, C.; Cobbold, P. y Rosello, E., 1996, Cenozoic dextral transpression and basin development at the southern edge of the Puna Plateau, NW Argentina, *Tectonophysics*, v.254, p.17-39.
- 18) Cladouhos, T.; Allmendinger, R.; Coira B., y Farrar, E., 1994, Late Cenozoic deformation in the Central Andes: fault kinematics from the northern Puna, northwestern Argentina and southwestern Bolivia, *J. S. Am. Earth Sci.*, v.7, p.209-228.