

Rotación tectónica antihoraria de la Formación Del Salto (Pérmico inferior), provincia de San Juan

Augusto E. RAPALINI y Mabel MENA

CONICET, Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel Valencio, Departamento de Ciencias Geológicas (FCEyN), Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EHA, Buenos Aires, Argentina.
E-mail: rapalini@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN. Se reporta un estudio paleomagnético sobre la Formación Del Salto, del Pérmico inferior, expuesta en la Precordillera Occidental (31,3°S, 69,2°O). Se muestrearon once sitios en limolitas y areniscas finas correspondientes al sector medio a superior de la sucesión expuesta en la quebrada del km 114, San Juan. Se identificó una remanencia característica con buena consistencia intrasitio en 8 sitios mediante el uso de técnicas estándar de desmagnetización. La aplicación de la corrección tectónica indicó que esta remanencia es pre-tectónica. Se calculó el polo paleomagnético para la Formación Del Salto, SC: 26,8°S, 357,0°E, $\delta p = 4,4^\circ$, $\delta m = 6,4^\circ$, N = 8. La posición de SC indica que la localidad de estudio sufrió una rotación antihoraria de unos 40° según un eje vertical. La edad de la rotación no ha podido ser determinada de la información disponible, pero lo más probable es que hubiera ocurrido en el Pérmico o en el Cenozoico tardío.

Palabras clave: Paleomagnetismo, Rotación, Tectónica, Precordillera, Paleozoico superior, Andes

ABSTRACT. Counterclockwise tectonic rotation of the Del Salto Formation (Lower Permian), San Juan Province. A palaeomagnetic study was made on the Early Permian Del Salto Formation, exposed in the Western Precordillera (31.3°S, 69.2°W). Eleven sites were sampled for siltstone and fine-grained sandstone in the middle-upper part of the succession exposed in the creek at kilometre 114, San Juan. Standard demagnetization techniques permitted the identification of a characteristic remanence that showed good within-site consistency of directions at eight sites. Application of a tectonic correction showed that the characteristic remanence is pre-tectonic. A palaeomagnetic pole for the Del Salto Formation was computed, SC: 26.8°S, 357.0°E, $\delta p = 4.4^\circ$, $\delta m = 6.4^\circ$, N = 8. The position of SC indicates that the sampling locality underwent a counterclockwise rotation of about 40° around a vertical axis. The age of the rotation cannot be determined from the available data but it is most likely to have happened in either Permian or Late Cenozoic times.

Key words: Palaeomagnetism, Rotation, Tectonics, Precordillera, Upper Palaeozoic, Andes

Introducción

Las rotaciones tectónicas según ejes verticales son un mecanismo frecuente en áreas sometidas a procesos de deformación (vease por ejemplo, Kissel y Laj 1989; Osete y Calvo 1992; Morris y Anderson 1998). Numerosas investigaciones han demostrado que las fajas plegadas y corridas son ambientes tectónicos muy proclives al desarrollo de este tipo de procesos (véase Allerton 1998 y referencias). Sin embargo, durante muchas décadas estos procesos han sido subestimados en su real magnitud o incluso ignorados en la mayoría de los estudios estructurales. Las razones para ello deben probablemente buscarse en que estas rotaciones dejan señales menos conspicuas en el campo que aquellas ocurridas alrededor de ejes horizontales u oblicuos. Es por ello que el paleomagnetismo se ha transformado en una metodología estándar para la determinación cuantitativa de rotaciones tectónicas según ejes verticales (Norris y Black 1961; MacDonald 1980; Morris y Anderson 1998, etc.). En particular, el

número de estudios paleomagnéticos en los Andes Centrales que han permitido determinar rotaciones según ejes verticales es enorme (vease por ejemplo Somoza *et al.* 1996).

La Precordillera de Cuyo es una faja plegada y corrida de piel fina cuyo levantamiento ocurrió en el Cenozoico tardío (Jordan *et al.* 1993) y que sobreyace a un segmento de subducción sub-horizontal de la Placa de Nazca (Jordan *et al.* 1983; Cahill y Isacks 1992). Varios trabajos paleomagnéticos han sido realizados en la Precordillera y regiones adyacentes (véase Re y Rapalini 1995), tanto en unidades cenozoicas como pre-cenozoicas. Estas investigaciones han demostrado la presencia de rotaciones tectónicas significativas, tanto horarias como antihorarias, así como la existencia de numerosas localidades no rotadas. Esto ha sugerido que no hay un patrón simple de rotaciones en esta región y que éstas están básicamente condicionadas por procesos a escala local. Más aún, Rapalini y Vilas (1991) han determinado que algunas unidades de la Precordillera y Cordillera Frontal han

sufrido rotaciones tectónicas de gran magnitud en el Paleozoico superior.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio paleomagnético llevado a cabo en la Formación Del Salto (Quartino *et al.* 1971), asignada al Pérmico inferior (Limarino *et al.* 1996a), y aflorante en la quebrada del km 114 de la ruta provincial 20, que une la ciudad de San Juan con la localidad de Calingasta.

Marco geológico y muestreo

La Formación Del Salto (Fig. 1) está constituida por una sucesión clástica de 850 metros de potencia que incluye areniscas, limolitas y pelitas con niveles conglomerádicos intercalados. Posee un cambio gradual y característico en su color, desde verdoso en los niveles inferiores a rojizo en los superiores, lo que corresponde a una variación gradual en el ambiente de depositación de marino y litoral a continental (Limarino *et al.* 1996b y referencias). Sessarego (1986) describió depósitos eólicos hacia el techo de la sucesión. Esta continentalización fue coetánea con el cierre gradual e inversión tectónica final de las cuencas marinas de tras arco de Calingasta-Uspallata y Río Blanco en el Pérmico temprano (Azcu y Caminos 1987; López Gamundi *et al.* 1994) y con una importante modificación de las condiciones climáticas en la región (López Gamundi *et al.* 1992). La edad de la Formación Del Salto ha sido asignada como pérmica temprana sobre la base de invertebrados marinos (Manceñido y Sabbatini 1974; Manceñido *et al.* 1976; Sessarego *et al.* 1986) si bien Taboada (1996, comunicación oral) ha sugerido que la base de la formación podría ser del Estefaniano. Según Limarino *et al.* (1996b) el techo de la sucesión (depósitos eólicos) podría alcanzar el Pérmico temprano tardío (Artinskiano?).

Los afloramientos mejor conocidos de esta formación son los de la quebrada del km 114 del camino San Juan - Calingasta, en la Precordillera Occidental (Fig. 1). La estructura del área es compleja, estando dominada por fallamientos y corrimientos andinos que se han sobreimpreso a la deformación paleozoica. Recientemente se han propuesto diferentes interpretaciones estructurales del área (von Gossen 1992; Sellés Martínez 1998; Cristallini y Ramos 2000); sin embargo no hay dudas de que la zona está limitada por dos corrimientos principales: la falla Tontal al este y las fallas Alto de los Pajaritos y Carrizal al oeste (Fig. 1c y d), que ponen en contacto las unidades del Paleozoico superior y Terciario con rocas del Paleozoico inferior al este y el oeste. Según Cristallini y Ramos (2000) las estructuras del área determinan una suerte de ventana tectónica en la que son expuestas rocas del Paleozoico superior.

Con el objetivo de colaborar a una mayor comprensión de la evolución tectónica del área, se realizó un muestreo paleomagnético de la Formación Del Salto. Once sitios de muestreo fueron ubicados en areniscas finas y limolitas grises a rojizo claras de un sector medio a superior de la sucesión. Tres muestras cilíndricas de 2,54 cm de diámetro, orientadas con brújulas solar y magnética, fueron recolectadas en cada sitio con una perforadora portátil. De cada muestra se obtuvieron posteriormente en laboratorio 2 o 3 especímenes estándar de 2,2 cm de altura.

Resultados paleomagnéticos

Todos los especímenes fueron sometidos a desmagnetización progresiva por campos magnéticos alternos (AF) o altas temperaturas (Valencio 1980; Butler 1992). Para el procesamiento de laboratorio se utilizaron los equipos disponibles en el Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel Valencio de la Universidad de Buenos Aires, consistentes en un magnetómetro criogénico con *squids* de corriente directa (2G 750R), un desmagnetizador de campos alternos estático anexo al magnetómetro, un horno para lavados térmicos Schonstedt TSD-1, un magnetizador por pulsos PM-2 (Pmag) y un susceptímetro RMSH-III. La desmagnetización AF se realizó en 17 o 18 etapas con campos aplicados entre 2 y 140 mT. Los lavados térmicos se efectuaron en 10 a 14 etapas, empezando por temperaturas de 100°C hasta un máximo entre 450°C y 600°C.

La figura 2 ilustra comportamientos magnéticos típicos de las rocas estudiadas. En general, y tras la remoción de una componente blanda con campos menores de 10 mT o temperaturas de 150°C, la mayoría de las muestras mostró la existencia de una única componente magnética con inclinaciones positivas (dirigidas hacia abajo). Mientras que las limolitas presentaron temperaturas de desbloqueo entre 350°C y 450°C, algunas areniscas alcanzaron los 600°C (Fig. 2). La desmagnetización AF fue igualmente efectiva que el lavado térmico para aislar y determinar la magnetización remanente característica, al poder eliminar entre el 80 y 90% de la remanencia natural en la mayoría de las muestras. Sin embargo, en las areniscas con las temperaturas de desbloqueo más altas el lavado AF sólo pudo eliminar un 40% de la remanencia natural (Fig. 2f). Las direcciones de magnetización característica fueron determinadas mediante análisis de componentes principales (Kirshvink 1980) con un mínimo de 4 etapas de desmagnetización consecutivas. Algunas areniscas no pudieron ser completamente desmagnetizadas debido a la imposibilidad de realizar etapas de calentamiento por encima de los 600°C, dada la generalizada inducción de cambios químicos significativos en las muestras. Esto pudo

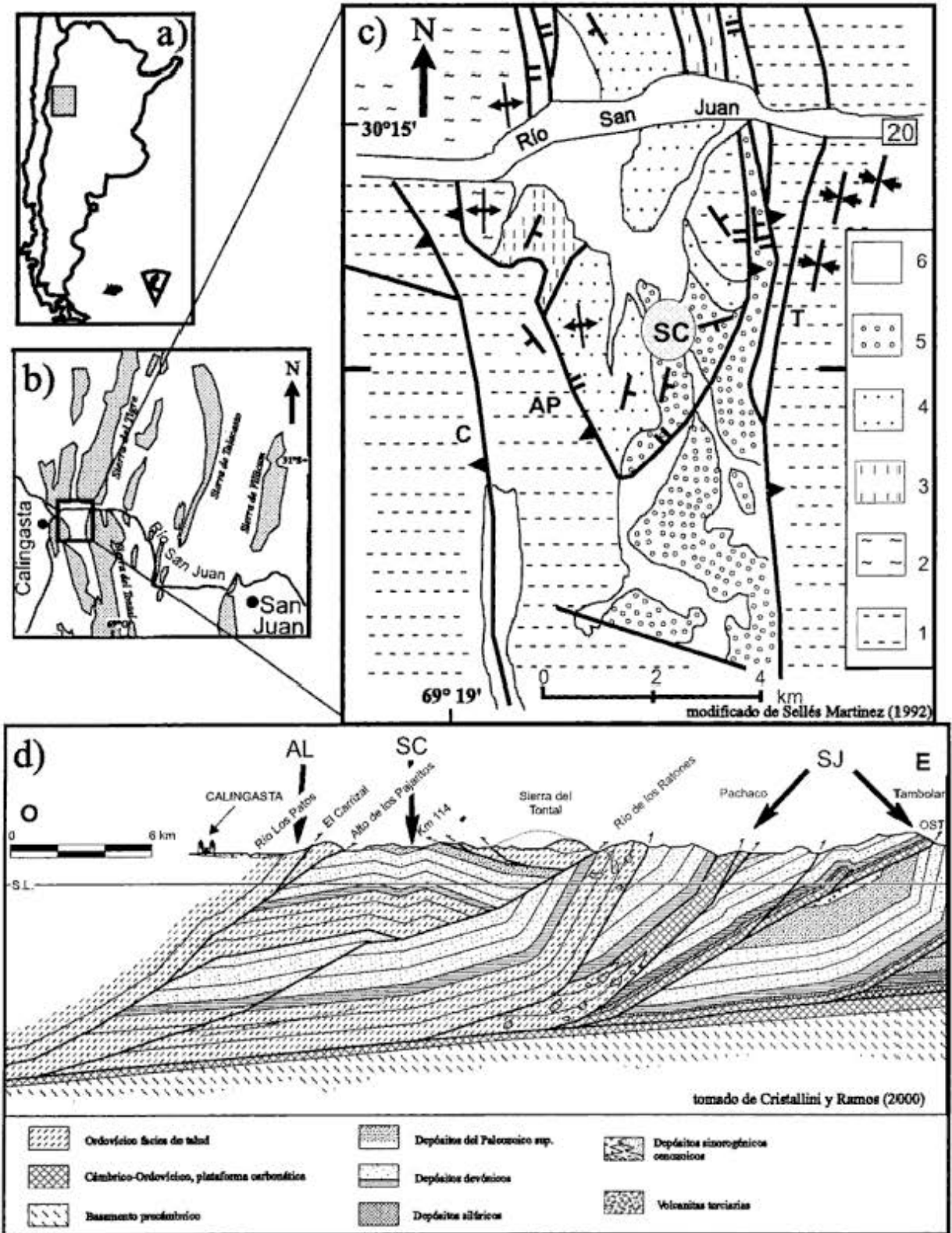


Figura 1: a y b, Mapas de ubicación del área de estudio; c, Bosquejo geológico de la quebrada del km 114 (simplificado de Sellés Martínez 1992) y ubicación del sector de muestreo (óvalo gris), C: falla El Carrizal, AP: falla Alto de los Pajaritos, T: falla el Tontal; 1: Formación Alcaparrosa (Ordovícico, facies de talud), 2: Formación Codo (Devónico), 3: Formación El Planchón (Devónico), 4: Formación del Ratón (Carbonífero), 5: Formación Del Salto (Pérmico), 6: depósitos cuaternarios (según Sellés Martínez 1992); las líneas quebradas a ambos lados de la figura señalan la traza del perfil balanceado de la Precordillera (Cristallini y Ramos 2000) correspondiente al área de estudio (SC); AL y SJ indican los lugares de otros estudios paleomagnéticos en la Formación Alcaparrosa (Vilas y Valencio 1978; Rapalini y Tarling 1993) y la Formación San Juan (Rapalini y Tarling 1993), respectivamente.

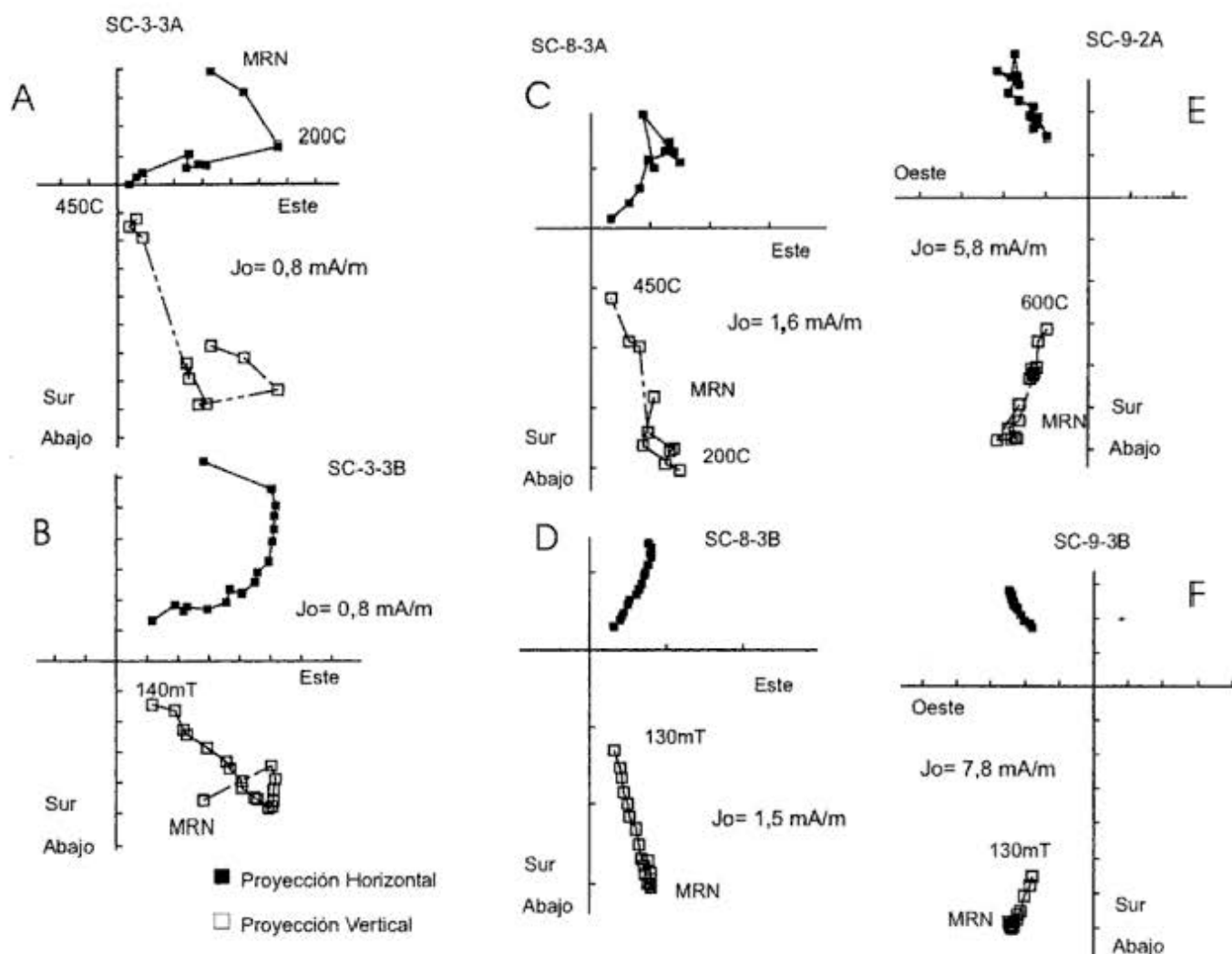


Figura 2: Gráficos de desmagnetización representativos *in situ* de la Formación Del Salto. Símbolos llenos (vacíos) indican proyección en el plano horizontal (vertical).

observarse mediante el monitoreo de la susceptibilidad magnética total en función de la temperatura (Fig. 3c). De todos modos, en todos los casos pudo lograrse una desmagnetización parcial de la magnetización característica (Fig. 2) con decaimiento lineal de la remanencia hacia el origen de coordenadas, lo que sugiere que no hay ninguna componente magnética adicional. Las direcciones medias por sitio de la magnetización remanente característica son presentadas en el cuadro 1. Un sitio (SC-6) presentó sólo dos direcciones consistentes, otro (SC-2) mostró una baja consistencia interna de direcciones ($\alpha_{95} > 20^\circ$), mientras que un tercero (SC-1) tuvo una dirección inconsistente con el resto. Estos tres sitios fueron descartados de cualquier análisis posterior. Los restantes 8 sitios tuvieron una alta consistencia interna de direcciones. La figura 4 muestra las direcciones medias por sitio *in situ* y después de corregir los datos por la actitud estructural de los bancos estudiados. Es evidente una agrupación mucho mejor de direcciones en el segundo caso, sien-

do la diferencia entre los valores del parámetro de precisión fisheriana k estadísticamente significativa (McElhinny 1964). Esto indica que la remanencia magnética aislada de la Formación Del Salto es pre-tectónica. Sobre la base de la dirección promedio de los 8 sitios, se calculó entonces el polo paleomagnético de esta unidad: SC: $26,8^\circ\text{S}$, $357,0^\circ\text{E}$, $\delta_p = 4,4^\circ$, $\delta_m = 6,4^\circ$. Un origen primario de la remanencia magnética aislada es consistente con la exclusiva polaridad reversa hallada en las rocas de la Formación Del Salto, que sugiere que la magnetización fue adquirida durante el Intervalo magnético Kiaman, cuya extensión ha sido datada entre los 297 y 261 Ma, aproximadamente (Ogg 1995).

La mineralogía magnética de estas rocas fue investigada mediante la aplicación de magnetismo remanente isotermal (IRM, Dunlop y Özdemir 1997) y desmagnetización térmica de IRM triaxial (Lowrie 1990, Fig. 3a). Las curvas de adquisición de IRM indican la presencia de una fase mineral con baja coer-

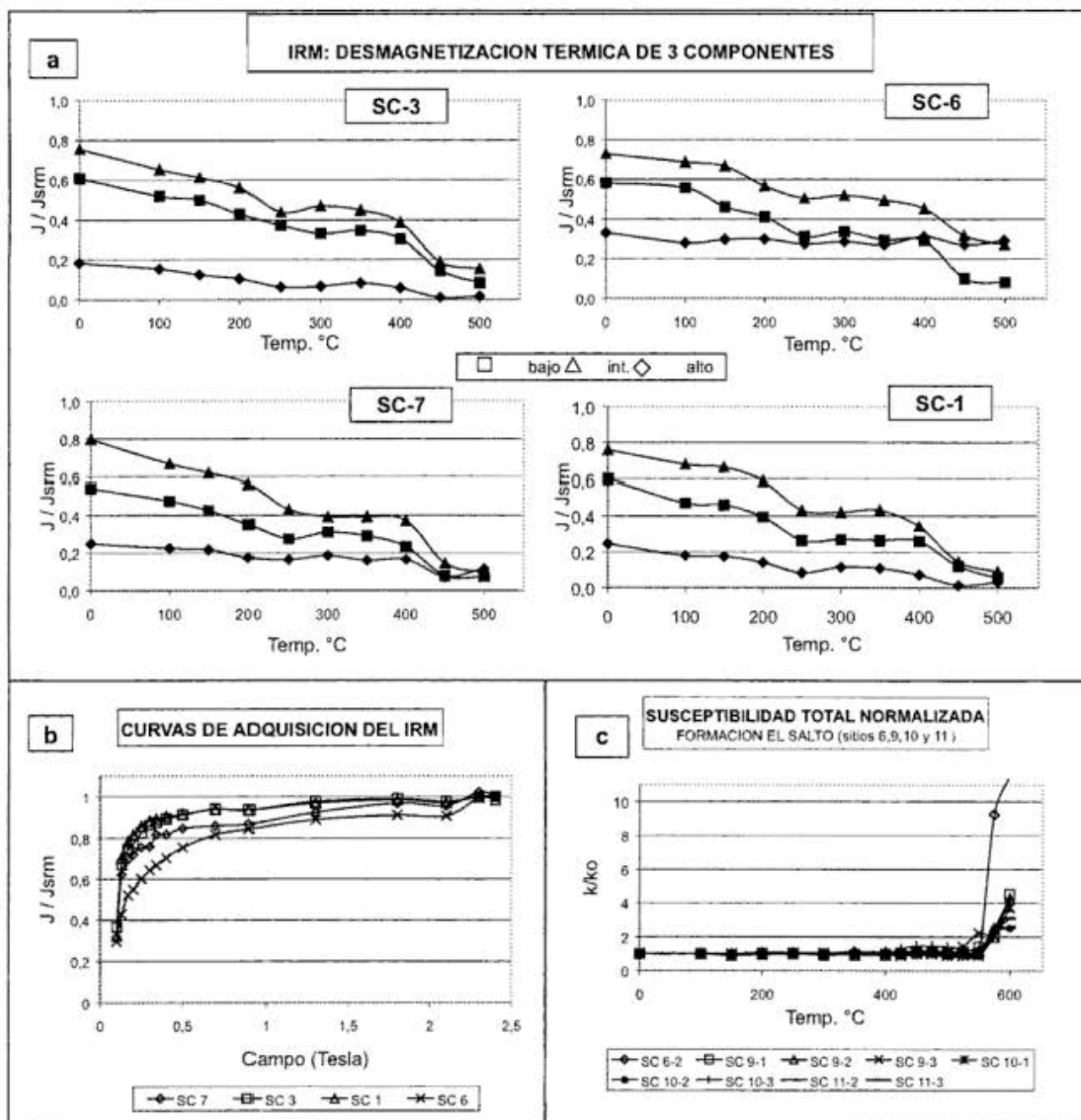


Figura 3: Estudios de magnetismo de rocas realizados sobre muestras de la Formación Del Salto. **a**, Desmagnetización térmica de magnetismo remanente isotérmico (IRM) triaxial (Lowrie 1990) de 4 muestras representativas, que permite determinar las temperaturas de bloqueo de los componentes ferromagnéticos de coercitvidades bajas, medias y altas. **b**, Curvas de adquisición de IRM representativas de las distintas litologías estudiadas que permiten caracterizar los minerales ferromagnéticos presentes. **c**, Curvas de susceptibilidad total vs temperatura de muestras representativas que indican la producción o no de cambios mineralógicos en los componentes ferromagnéticos. Veanse más detalles en el texto.

citividad. Sin embargo, el hecho de no alcanzar saturación aún a 2 Tesla es prueba de la existencia de un segundo compuesto mineral, en este caso de coercitividad muy alta (Fig. 3b). La desmagnetización térmica de IRM triaxial indica temperaturas de bloqueo por debajo de los 500°C para las limolitas, consistente con la desmagnetización térmica del magnetismo remanente natural. También puede observarse una caída en la

magnetización de los tres espectros de coercitvidades alrededor de 250-300°C. Estos resultados podrían explicarse mediante la ocurrencia de dos minerales portadores de remanencia magnética en las limolitas: titanomagnetita y pirrotita (?). Sin embargo, en las areniscas la presencia de hematita es evidente dadas las temperaturas de desbloqueo de la remanencia magnética natural y el hecho de que el espectro de

Cuadro 1: Direcciones medias por sitio de la magnetización remanente característica de la Formación Del Salto. n = número de especímenes utilizados para calcular la dirección media, N = número de sitios de muestreo, α_{95} y k son los parámetros estadísticos de Fisher (1953). Dec: declinación, Inc: inclinación, MRC: magnetización remanente característica, Corr. Estr.: corrección estructural, R.: rumbo de la estratificación, Buz.: buzamiento de la estratificación, MRC (corr.): MRC corregida por actitud estructural, PGV: polo geomagnético virtual, Lat: latitud (valores negativos indican latitud sur), Long.: longitud.

Sitio	n	MRC (<i>in situ</i>)				Corr. Estr.		MRC (corr.)		PGV	
		Dec	Inc	α_{95}	k	R.	Buz.	Dec	Inc	Lat.	Long.
SC-3	6	57,9°	58,6°	12,6°	29	58° 33' SE		112,2°	51,4°	-33,3°	0,7°
SC-4	3	63,6°	67,4°	11,8°	111	58° 33' SE		112,4°	48,9°	-32,7°	3,3°
SC-5	5	52,9°	62,2°	8,0°	93	58° 33' SE		101,9°	49,8°	-24,6°	358,6°
SC-7	4	57,2°	57,9°	10,7°	75	58° 33' SE		98,6°	45,6°	-20,5°	0,9°
SC-8	6	44,9°	62,7°	3,6°	350	58° 33' SE		99,6°	53,3°	-24,1°	354,5°
SC-9	4	322,2°	61,5°	8,5°	117	37° 56' SE		112,1°	60,8°	-35,9°	349,2°
SC-10	4	341,3°	56,9°	13,8°	45	37° 56' SE		92,1°	57,4°	-20,2°	347,8°
SC-11	3	353,8°	66,3°	13,7°	81	37° 56' SE		101,2°	47,7°	-23,3°	0,2°
Total											
<i>In situ</i>	N=8	26,7°	68,1°	12,5°	21						
Corr.	N=8	103,7°	52,1°	4,7°	140					-26,8°	357,0°

alta coercitividad no es afectado por desmagnetización térmica hasta los 550°C (Fig. 3a, SC-6). Por encima de esta temperatura, la desmagnetización del IRM debió detenerse por la producción de importantes cambios químicos en las muestras.

Interpretación e implicancias tectónicas

La posición del polo paleomagnético SC no es consistente con la de otros polos post-carboníferos del Gondwana Occidental (Fig. 5). Su posición sugiere una rotación antihoraria significativa del área de muestreo. El cálculo de los valores de rotación (R) y anomalía en paleolatitud (P) con sus respectivos intervalos de error (Beck 1989) difiere según el polo de referencia utilizado. Si se considera el polo promedio de América del Sur para el Carbonífero tardío - Pérmico temprano (Rapalini *et al.* 1993) los valores

respectivos son: $R = 37,1^\circ \pm 8,8^\circ$, $P = 9,1^\circ \pm 6,8^\circ$, lo que indica una importante rotación antihoraria y una paleolatitud significativamente más baja que la del polo de referencia. Sin embargo, si como referencia se utiliza el polo promedio del Pérmico inferior de Gondwana Occidental (Van der Voo 1993) los valores obtenidos son: $R = 44,4^\circ \pm 8,4^\circ$, $P = 0,1^\circ \pm 7,1^\circ$. La falta de anomalía en paleolatitud en el segundo caso sugiere que éste es el polo de referencia más adecuado. La indudable edad pérmica temprana de las rocas de la Formación Del Salto indica que el polo de referencia Carbonífero tardío-Pérmico temprano de América del Sur es probablemente más representativo del Carbonífero tardío.

La significativa rotación antihoraria del área de muestreo de la Formación Del Salto no puede ser datada debido a la carencia de datos paleomagnéticos de unidades más jóvenes allí aflorantes. Sin embargo, consideraciones geológicas y tectónicas regionales sugieren dos edades como las más probables.

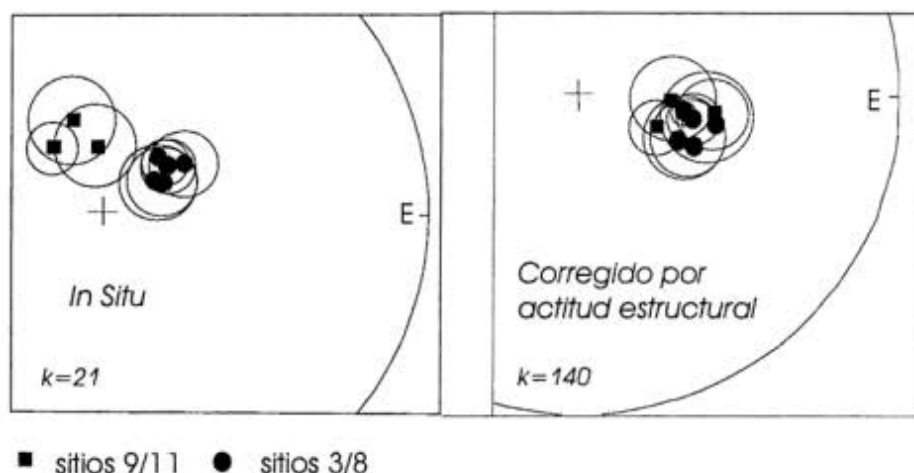


Figura 4: Direcciones medias por sitio de la remanencia característica de la Formación Del Salto *in situ* y luego de llevar los estratos a la horizontal y sus respectivos α_{95} . Es obvio el mejor agrupamiento de las direcciones en el segundo caso, también indicado por el significativo aumento del parámetro de precisión k .

La primera hipótesis propone que las rocas de la Formación Del Salto de esta localidad fueron afectadas por los procesos de rotaciones tectónicas que afectaron otras rocas del Paleozoico superior en la Precordillera Occidental y Cordillera Frontal en el Pérmico temprano tardío a Pérmico tardío (Rapalini *et al.* 1989; Rapalini y Vilas 1991). Estas rotaciones fueron asignadas a procesos tectónicos vinculados con la subducción oblicua de corteza oceánica en el margen sudoccidental del Gondwana durante el Paleozoico tardío (Rapalini y Vilas 1991) o a la deformación producida por la colisión oblicua de un terreno alóctono aún desconocido (Mpodozis y Mahlburg Kay 1990, 1992).

Una segunda hipótesis relaciona la rotación con los corrimientos andinos. Allerton (1998), en su reciente reseña sobre rotaciones de gran magnitud en fajas plegadas y corridas, ha demostrado que tales procesos son muy frecuentes y pueden responder a una gran variedad de mecanismos cinemáticos. Los principales corrimientos que limitan el bloque donde aflora la Formación Del Salto observan una deflexión antihoraria de unos 20 a 30° en sentido antihorario al sur de la quebrada del río San Juan. Sin embargo, estudios paleomagnéticos realizados sobre otras unidades de la Precordillera Occidental o Cen-

tral a lo largo del río San Juan, tanto al este como al oeste de la quebrada del km 114 (Fig. 1d; AL, Formación Alcaparrosa, Vilas y Valencio 1978; Rapalini y Tarling 1993; SJ; Formación San Juan, Rapalini y Tarling 1993; sedimentitas carboníferas, Buggisch *et al.* 1993, más hacia el este, fuera de la figura 1d no han detectado rotaciones significativas, lo que restringe severamente la extensión regional de la rotación. El área de muestreo de la Formación Del Salto está ubicada en el único corrimiento fuera de secuencia de la Precordillera Occidental a esta latitud, según un reciente perfil balanceado presentado por Cristallini y Ramos (2000, Fig. 1d). La posible rotación antihoraria del corrimiento fuera de secuencia es consistente con desplazamientos de rumbo dextrales en la falla Tontal, que marca el límite oriental del corrimiento, y su continuación al norte en la falla activa El Tigre (Siame *et al.* 1996). Según la interpretación de Sellés Martínez (1992, ver Fig. 1c), una de las fallas del sistema del Tontal (falla de la Arena) sufre un importante cambio de rumbo para vincularse con el corrimiento del Alto de los Pajaritos. De ser así, esta estructura podría servir de rampa lateral al bloque rotado. En ese caso, en la misma debieran verificarse desplazamientos inversos con componente de rumbo dextral. Debe se-

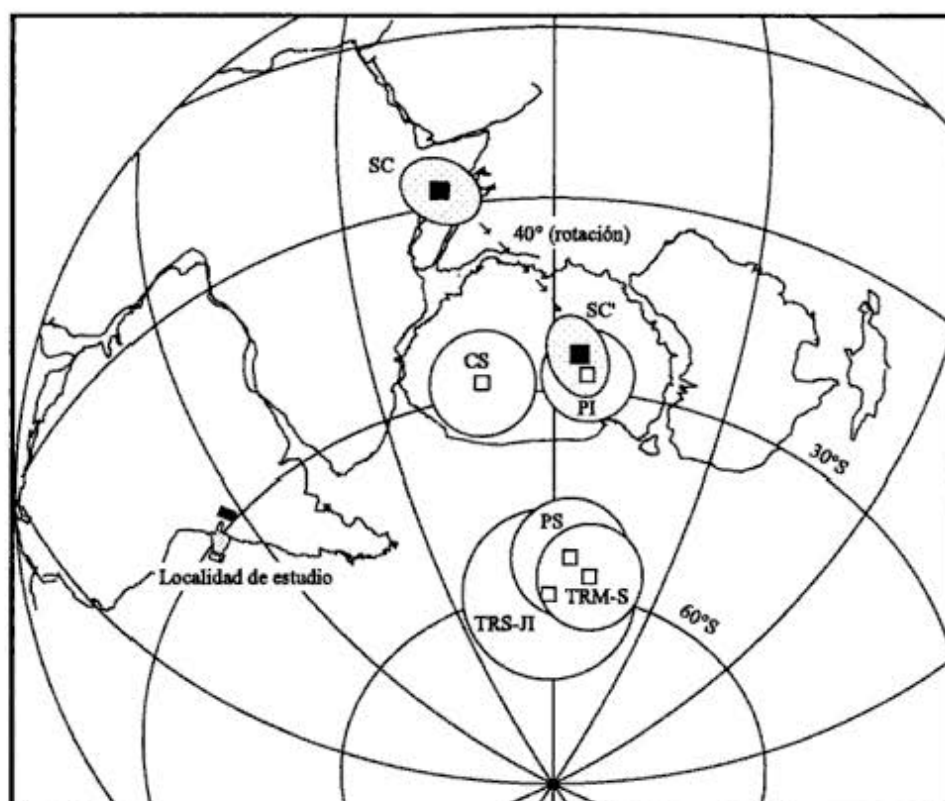


Figura 5: Posición del polo paleomagnético de la Formación Del Salto (SC) en una reconstrucción del supercontinente Gondwana (Lottes y Rowley 1990). Se presentan para comparación los polos paleomagnéticos promedio del Gondwana Occidental (Van der Voo 1993) para los intervalos: Carbonífero tardío (CS), Pérmico temprano (PI), Pérmico tardío (PS), Triásico medio a tardío (TRM-S) y Triásico tardío a Jurásico temprano (TRS-JI). Se presenta también el polo SC luego de ser rotado 40° en sentido horario según un eje vertical ubicado en la localidad de estudio (SC'). Véase discusión en el texto.

ñarse, sin embargo, que el perfil balanceado de la figura 1d debería ser modificado para contemplar la rotación observada si se demuestra que ésta se produjo por la deformación andina. Más aún, von Gosen (1992) y Sellés Martínez (1998) presentaron interpretaciones estructurales del área sustancialmente diferentes. En ambos modelos la falla Tontal es subvertical. La correlación entre la rotación determinada y estos modelos estructurales no parece simple. Es obvio que se requieren datos paleomagnéticos de rocas más jóvenes aflorantes en esta localidad, lo que permitiría determinar la edad de la rotación y posiblemente evaluar los diferentes modelos estructurales. De todos modos, la rotación tectónica determinada implica que todo dato direccional obtenido en estos afloramientos de la Formación Del Salto debe ser corregido por una rotación horaria de unos 40° según un eje vertical.

Conclusiones

Un estudio paleomagnético realizado sobre muestras de la Formación Del Salto indicó que las mismas poseen una remanencia magnética estable pre-tectónica, portada mayormente por titanomagnetitas. La posición del polo paleomagnético, calculado sobre la base de la magnetización remanente promedio de 8 sitios, indica que el área de muestreo sufrió una rotación antihoraria de unos 40° según un eje vertical. Si bien la edad de la rotación no ha podido ser restringida mediante datos paleomagnéticos, consideraciones geológicas sugieren dos posibles hipótesis: i) la rotación ocurrió en el Pérmico, como la detectada en otras rocas de la región, asociada a procesos ocurridos en el margen continental sudoccidental del Gondwana; ii) la rotación está asociada a la deformación andina y muy probablemente habría involucrado sólo a la lámina sobrecorrida en la que se ubican los afloramientos del km 114. Cualquiera sea la edad y mecanismo de la rotación, todo estudio de parámetros direccionales en estos afloramientos de la Formación Del Salto debe ser corregido con una rotación de unos 40° en sentido horario.

Agradecimientos

Estos estudios fueron realizados con apoyo económico de los subsidios UBACyT AX002, EX43 y X045 de la Universidad de Buenos Aires. El CONICET brindó apoyo institucional. El trabajo se benefició de las discusiones, comentarios e información brindada por E. Cristallini, V.A. Ramos, J. Sellés Martínez y J.M. Cortés. J. Vilas colaboró durante las tareas de campo. Las sugerencias aportadas por los

revisores del trabajo fueron una valiosa contribución para mejorar la versión final del mismo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Allerton, S., 1998. Geometry and kinematics of vertical-axis rotations in fold and thrust belts. *Tectonophysics*, 299: 15-30.
- Azcuy, C. L. y Caminos, R., 1987. Diastrofismo. En: Archangelsky, S. (Ed.): *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*, p. 239-252. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Beck, M.E.Jr., 1989. Paleomagnetism of continental North America; Implications for displacement of crustal blocks within the Western Cordillera, Baja California to British Columbia. *Geological Society of America, Memoir* 172, 22: 471-492.
- Buggisch, W., Bachtadse, V. and Von Gosen, W., 1993. The middle Carboniferous glaciation of the Argentine Precordillera (San Juan - Mendoza) - new data to basin evolution and paleomagnetism. *Zbl. Geol. Palaont. Teil I, H 1/2*: 287-307.
- Butler, R.F., 1992. *Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes*. Blackwell Scientific Publications, 319 pp., Boston.
- Cahill, T. and Isacks, B.L., 1992. Seismicity and shape of the Nazca plate. *Journal of Geophysical Research*, 97: 17503-17529.
- Cristallini, E.O. and Ramos, V.A., 2000. Thick-skinned and thin-skinned thrusting in La Ramada fold and thrust belt: Crustal evolution of the High Andes of San Juan, Argentina (32° S). *Tectonophysics*, 317: 205-235.
- Dunlop, D.J. and Özdemir, O., 1997. *Rock Magnetism, Fundamentals and frontiers*. Cambridge University Press, 573 p., Cambridge.
- Fisher, R. A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London, A*, 217: 295-306.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Ramos, V.A. and Allmendinger, R.W., 1983. Mountain building in the Central Andes. *Episodes*, 3: 20-26.
- Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Damanti, J.F. and Drake, R.E., 1993. Chronology of motion in a complete thrust belt: The Precordillera, 30-31°S, Andes Mountains. *Journal of Geology*, 101: 137-158.
- Kirshvink, J.L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society*, 62: 699-718.
- Kissel, C. and Laj, C. (Eds.), 1989. *Paleomagnetic rotations and continental deformation*. Kluwer Academic Publishers, 511 pp., Dordrecht / Boston / Londres.
- Limarino, C.O., Gutierrez, P., López Gamundí, O., Fauqué, L. y Lech, R., 1996a. Cuencas Río Blanco y Calingasta-Uspallata. En: *El sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*, p. 141-152. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Limarino, C.O., Césari, S.N. y López Gamundí, O., 1996b. Las fases climáticas del Paleozoico Superior del oeste argentino: su expresión estratigráfica y valor como herramienta de correlación. *Actas 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 1: 495-509. Buenos Aires.
- López Gamundí, O., Limarino, C.O. and Cesari, S.N., 1992. Late Paleozoic paleoclimatology of central west Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 91: 305-329.
- López Gamundí, O., Espejo, I., Conaghan, P. and Mc. A. Powell, C., 1994. Southern South America. In: *Veevers, J. and Mc. A. Powell, C. (Eds.): Permian-Triassic Pangean Basins and Fold Belts along the Panthalassan margin of western Gondwanaland*, p. 281-329. Geological Society of America, Memoir, 184.
- Lottes, A.L. and Rowley, D.B., 1990. Reconstruction of the Laurasian and Gondwanan segments of Permian Pangaea. *Geological Society Memoir*, 12: 383-395.

- Lowrie, W., 1990. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperatures properties. *Geophysical Research Letters*, 17: 159-162.
- MacDonald, W. D., 1980. Net tectonic rotation, apparent tectonic rotation and the structural tilt correction in paleomagnetic studies. *Journal of Geophysical Research*, 85, B7: 3659-3669.
- Manceñido, M. O. y Sabbatini, N., 1974. La fauna de la Formación Del Salto (Paleozoico Superior de la provincia de San Juan). Parte II. Gastropoda. *Ameghiniana*, 10 (4): 326-338. Buenos Aires.
- Manceñido, M. O., González, C.R. y Damborenea, S., 1976. La fauna de la Formación Del Salto (Paleozoico Superior de San Juan). Parte III: Bivalvia. *Ameghiniana*, 13 (1-2): 65-106. Buenos Aires.
- McElhinny, M. W., 1964. Statistical significance of the fold test in palaeomagnetism. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society*, 8: 338-340.
- Morris, A. and Anderson, M.W. (Eds.), 1998. Paleomagnetism and tectonic rotations. *Tectonophysics*, 299 (1-3): 1-253.
- Mpodozis, C. y Mahlburg Kay, S., 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica del Gondwana: Andes Chilenos (28-31° S). *Revista Geológica de Chile*, 17 (2): 153-180.
- Mpodozis, C. and Mahlburg Kay, S., 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: Evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28°S to 31°S). *Geological Society of America Bulletin*, 104: 999-1014.
- Norris, D.K. and Black, R.F., 1961. Application of paleomagnetism to thrust mechanics. *Nature*, 192: 933-935.
- Ogg, J.G., 1995. Magnetic polarity time scale of the Phanerozoic. En: Ahrens, T.J. (Ed.): *A handbook of Physical Constants*, AGU Reference Shelf 1: 240-270.
- Osete, M.L. y Calvo, M., 1992. Paleomagnetismo y tectónica en las Cordilleras Béticas. *Física de la Tierra*, 4. Editorial Complutense.
- Quartino, B. J., Zardini, R.A. y Amos, A.J., 1971. Estudio y exploración geológica de la región Barreal - Calingasta (provincia de San Juan), p. 18-67. *Asociación Geológica Argentina, Monografía 1*. Buenos Aires.
- Rapalini, A.E. and Tarling, D.H., 1993. Multiple magnetizations in the Cambro-Ordovician carbonate platform of the Argentine Precordillera and their tectonic implications. *Tectonophysics*, 227: 49-62.
- Rapalini, A.E. and Vilas, J.F., 1991. Tectonic rotations in the Late Palaeozoic continental margin of Southern South America, determined and dated by palaeomagnetism. *Geophysical Journal International*, 107: 333-351.
- Rapalini, A. E., Vilas, J.F., Bobbio, M.L. and Valencio, D.A., 1989. Geodynamic interpretations from paleomagnetic data of Late Paleozoic rocks in the Southern Andes. In: Hillhouse, J.W. (Ed.): *Deep Structure and Past Kinematics of Accreted Terranes*, p. 41-57. *American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series N° 50*, v.5.
- Rapalini, A.E., Abdeldayem, A.L. and Tarling, D.H., 1993. Intra-continental movements in Western Gondwanaland: a palaeomagnetic test. *Tectonophysics*, 220: 127-139.
- Re, G. and Rapalini, A.E., 1995. Non-systematic neogene crustal block rotations in the Andean foothills of Central Argentina. COB'95, Curved Orogenic Belts, their nature and significance, Buenos Aires, Abstracts: 31-37.
- Sellés Martínez, J., 1992. Estructura del borde occidental de la Precordillera, en el área comprendida entre la Sierra del Tontal y el río Castaño, desde el río San Juan hasta la base del Cerro Colorado. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 173 pp. (Inédito).
- Sellés Martínez, J., 1998. La estructura de la Precordillera en las nacientes del río San Juan: parte II, perfiles estructurales. *Actas 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica*, 1: 176-181.
- Sessarego, H., 1986. Eolianitas en el Pérmico de la Cuenca Calingasta-Uspallata (Formación Del Salto), Depto. Calingasta - San Juan. *Actas 1° Reunión Argentina de Sedimentología*: 149-152. La Plata.
- Sessarego, H., Lech, R. y Amos, A.J., 1986. Estratigrafía y contenido paleontológico de la Formación Del Salto (Pérmico), aflorante al norte del río San Juan, cerro El Breallito, Depto. Calingasta, San Juan. *Primeras Jornadas sobre Geología de la Precordillera. Asociación Geológica Argentina, Serie A, N° 2*: 192-197.
- Siame, L., Sebrier, M., Bellier, O., Bourles, D., Castano, J.C., Araujo, M., Yiou, F. and Raisbeck, G., 1996. Segmentation and horizontal slip-rate estimation of the El Tigre fault zone, San Juan province (Argentina) from spot images analysis. *Third International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts*: 239-242. Saint Malo, France.
- Somoza, R., Singer, S. and Coira, B., 1996. Paleomagnetism of Upper Miocene ignimbrites at the Puna: an analysis of vertical axis rotation in the Central Andes. *Journal of Geophysical Research*, 101: 11387-11400.
- Valencio, D. A., 1980. *El magnetismo de las rocas*. Eudeba, 351pp. Buenos Aires.
- Van der Voo, R., 1993. *Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans*. Cambridge University Press, 411 pp. Cambridge.
- Vilas, J. F. and Valencio, D.A., 1978. Paleomagnetism and K-Ar age of the Upper Ordovician Alcaparrosa Formation, Argentina. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society*, 55: 143-154.
- von Gosen, W., 1992. Structural evolution of the Argentine Precordillera: the Rio San Juan section. *Journal of Structural Geology*, 14 (6): 643-667.

Recibido: 21 de junio, 2000

Aceptado: 10 de octubre, 2001