



Evidencias paleomagnéticas de rotaciones antihorarias en Península Hardy e Isla Navarino: implicancias para las conexiones entre Patagonia y Península Antártica

Invited

Fernando Poblete^{1,3}, Cesar Arriagada^{1*}, Pierrick Roperch², Mauricio Espinoza¹, Natalia Astudillo³

¹Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago, Chile

²Géosciences Rennes, Université de Rennes1, Rennes, Francia

³Universidad de Santiago, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago, Chile

Abstract

Here we show preliminary paleomagnetic results obtained in sedimentary, volcanoclastic and intrusive rocks from Isla Navarino-Peninsula Hardy. An increase of dispersion of the paleomagnetic directions after tilt correction suggests a remagnetization of the studied units. In in situ coordinates we observe systematic counter-clockwise rotations around 90° providing new evidence for oroclinal bending in southern South America. Remagnetization of sedimentary and volcanoclastic units occurred probably during a mayor magmatic event in the mid Cretaceous closely related with compressive deformation and metamorphism in Cordillera de Darwin and the closure of Rocas Verdes Basin. Even though, a remarkably symmetry seems to be between Patagonia and the Antarctic Peninsula they have, at least from a paleomagnetic point of view, different tectonic histories.

Resumen

En esta contribución mostramos resultados paleomagnéticos obtenidos en rocas sedimentarias, volcanoclásticas e intrusivas de Isla Navarino y Peninsula Hardy. Un aumento en la dispersión de los datos después de aplicar la corrección de manteo sugiere una remagnetización de estas unidades. En coordenadas in situ observamos de forma sistemática una rotación antihoraria de alrededor de 90°, aportando con nueva evidencia para un origen oroclinal del extremo sur de Sud América. La remagnetización de las unidades sedimentaria y volcanoclásticas ocurrió durante un importante evento magmático en el Cretácico medio, relacionado estrechamente con deformación compresiva y metamorfismo en Cordillera Darwin y el cierre de la cuenca de Rocas Verdes. A pesar de la sugerente simetría entre Patagonia y la Península Antártica, ellas tienen, al menos desde una perspectiva paleomagnética, historias tectónicas diferentes.

I.- Introducción

La aparente simetría que se observa entre Patagonia y Península Antártica es un elemento tectónico mayor que ha sido tema de intenso debate desde los comienzos de la Tectónica de Placas (Fig. 1). La relación entre ambos es clave para entender por ejemplo el quiebre de Gondwana, la apertura del paso Drake, así como la evolución tectónica de las cuencas de Magallanes y Larsen. Los resultados paleomagnéticos disponibles indican que no hay movimientos importantes de rotación y traslación desde el Cretácico Medio en la Península Antártica (Fig. 1.a; Valencio et al., 1979; Watts et al., 1983; Grunow, 1993; Poblete et al., 2011). Lo anterior implica que la curvatura de la Península Antártica es un rasgo que existe desde al menos 90 Ma.



Al contrario, los trabajos paleomagnéticos en Patagonia, aunque escasos (Rapalini, 2007) sugieren una rotación antihoraria antes a los 50 Ma (Fig. 1.a) apoyando un origen secundario de la curvatura (Dalziel, 1973; Burns, et al., 1980; Cunningham, 1991; Rapalini et al., 2001; Rapalini et al., 2005; Maffione et al., 2010). A pesar que una rotación tectónica del extremo sur de Sud América fue propuesta por Wegner ya en 1926, esta idea es aún tema de debate, al surgir nuevos modelos que sugerirían un origen primario de la curvatura (Gighlione y Cristallini 2007 y referencias allí citadas).

En esta contribución presentamos los resultados de un estudio paleomagnético realizado en el extremo sur de Sud América (Fig. 1.b). Los nuevos datos aquí presentados, sumados a los previamente publicados permiten discutir los modelos acerca de la evolución geológica en la zona de Patagonia-Península Antártica.

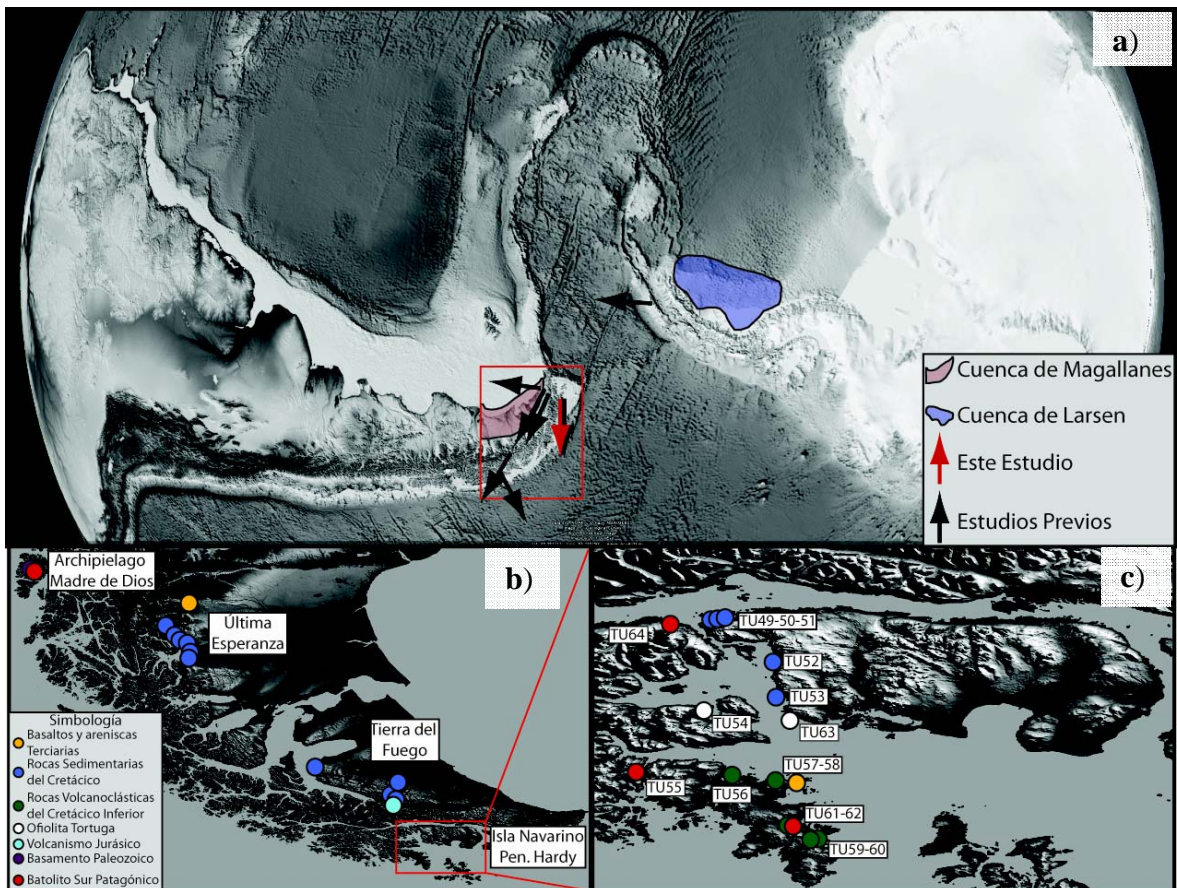


Figura 1: a) Resumen de resultados paleomagnéticos en Patagonia y Península Antártica (Rapalini, 2007 y Referencias allí citadas; Maffione et al., 2010; Poblete et al., 2011 y Referencias allí citadas). b) Ubicación muestreo paleomagnético. c) Detalle de muestreo en Isla Navarino y Península Hardy. Color de los sitios muestreados representa la litología detallada en b.)

II.- Metodología

Las muestras fueron analizadas en los Laboratorios de Paleomagnetismo de la Universidad de Chile y la Universidad de Rennes 1 (Francia). Las medidas de remanencia se llevaron a cabo en los magnetómetros de rotación Molspin o Agico JR5A o bien en el magnetómetro criogénico 2G, en uno o dos especímenes de cada muestra. 2 o más especímenes por sitio fueron desmagnetizados de forma termal (TE) a intervalos de 40° C. En el rango de 270-350° C este intervalo se redujo por la posible presencia de pirrotina en algunos sitios. Medidas de la susceptibilidad magnética fue medida en cada paso para detectar posibles



cambios en la mineralogía magnética. La desmagnetización por campo alternativo se realizó en las rocas intrusivas y en aquellos sitios donde este método era el más óptimo. Para evitar posibles señales parasitas un campo de 50nt fue aplicado antes cada medición. Los datos de desmagnetización fueron graficados en diagramas Zijderveld. Las direcciones características fueron tomadas en cuenta si estas estaban definidas por tres o más puntos colineales.

III.- Contexto Geológico y Muestreo Paleomagnético.

Durante las campañas de terreno de 2010 y 2011 realizamos un muestreo paleomagnético que incluyó el archipiélago Madre de Dios, la región de Última Esperanza, Tierra del Fuego e isla Navarino-Península Hardy (Fig. 1.b). Se perforaron 13 sitios en rocas paleozoicas de los complejos Duque de York, Denaro y calizas Tartlon ubicados en el archipiélago Madre de Dios. Estas rocas representan parte del basamento metamórfico sobre el cual sobreyacen largos volúmenes de tobas riolíticas y depósitos volcánoclasticos (Formación Tobífera), remanentes del periodo de extensión ocurrido durante el Jurásico tardío que conllevó al desarrollo de la cuenca de Rocas Verdes durante el Cretácico Inferior. Los sitios se muestrearon principalmente en rocas volcánoclasticas de la Formación Hardy (3 sitios), en rocas sedimentarias de origen marino asociadas a la Formación Yaghan y equivalentes (16 sitios) y en la formación Tobífera (5 sitios). 2 sitios se obtuvieron en el complejo ofiolítico tortuga, interpretados como el piso oceánico de la cuenca de Rocas Verdes. Ubicada al este de la cuenca de rocas verdes, se encuentra la faja plegada y corrida de Magallanes, y la cuenca de antepais que lleva el mismo nombre, originadas como consecuencia del cierre y posterior inversión de la cuenca Rocas Verdes. Un total de 29 sitios fueron muestreados en rocas sedimentarias del Cretácico Superior, mientras que 4 se obtuvieron de rocas sedimentarias del Paleoceno. Importantes volúmenes de magma, conocidos como el batolito Sur Patagónico fueron emplazados en el margen occidental de Patagonia durante las diferentes etapas de la evolución geológica de la zona. 10 sitios fueron perforados en esta provincia tectónica.

IV.- Resultados Paleomagnéticos

IV.1.- Isla Madre de Dios, Última Esperanza e Isla Tierra del Fuego

Las mediciones pilotos realizadas en intrusivos de Madre de Dios, así como en las rocas sedimentarias de Isla Tierra del Fuego dieron resultados negativos. La magnetización es inestable por lo que no fue posible obtener una dirección característica en estas muestras.

Las muestras obtenidas en las rocas paleozoicas de Isla Madre de Dios y en los sedimentos Cretácicos de la región de Última Esperanza están siendo medidas en el laboratorio.

IV.2.- Isla Navarino y Península Hardy: Cuenca de las Rocas Verdes

Todas las muestras obtenidas en los sitios 11TU57-59-60 y 61 presentan temperaturas de desbloqueo de 580 grados lo que sugiere que magnetita sería el mineral portador de la magnetización. Por otro lado, en el sitio 11TU54, la temperatura de desbloqueo es de 400° C lo que indicaría que el portador de la magnetización en este caso sería pirrotina. En el caso de los intrusivos (sitios 11TU55-62-63-64) se observan dos patrones de desmagnetización. En el caso del sitio 11TU55 y 62 la intensidad de la magnetización disminuye rápidamente a medida que se aumenta el campo aplicado lo que sugiere que un mineral de baja coercitividad sería el portador de la magnetización. El otro caso es el sitio 11TU63, en el cual la intensidad decrece lentamente a medida que aumenta el campo aplicado. A diferencia del caso anterior, en este sitio el intrusivo es de grano fino. Ambos casos extremos se observan en el sitio 11TU64, en el cual se muestrearon enclaves y "roca caja". En los primeros, de grano fino el comportamiento es similar al sitio 11TU63, mientras que en la roca caja, de grano más grueso, las curvas de desmagnetización son parecidas al sitio 11TU55 y 62. La baja coercitividad del mineral, litología y relación con el tamaño de grano sugieren que el portador de la magnetización sería magnetita. Para



determinar de mejor forma el portador de la magnetización se están realizando observaciones en microscopio.

Los diagramas en proyección equiareal de los promedios de los sitios muestran que todos ellos adquirieron la magnetización durante un periodo de polaridad normal del campo magnético (fig. 2a). Los sitios se agrupan de buena manera en coordenadas in situ, mientras que existe una mayor dispersión al aplicar la corrección de manteo. Esto sugiere una remagnetización de los sitios, a pesar que los gráficos Zijderveld muestran direcciones que van al origen en casi todos los sitios (fig. 2b). Actualmente se están analizados cortes transparentes pulidos para clarificar las características del portador magnético y poder discriminar el origen de la magnetización

Las direcciones características obtenidas en estos sitios muestran una declinación consistente con una rotación antihoraria de este sector de los Andes Patagónicos. El grado de rotación antihoraria varía (aproximadamente) entre 125° (sitio 11TU54) a 41° (Sitio 11TU59) cuando comparamos nuestros resultados con los esperados para Sud América obtenidos de la base de datos de Besse y Courtillot (2002) a 90 Ma. Si consideramos el resultado promedio de todos los sitios la rotación promedio es de aproximadamente 90° en dirección antihoraria.

V.- Discusiones y Conclusiones.

Los resultados obtenidos en Península Hardy e Isla Navarino se agrupan en coordenadas in situ, mientras que aumenta la dispersión de las direcciones al utilizar la corrección de manteo (Fig. 2a). La dirección observada en las muestras de las rocas intrusivas es similar a las obtenidas en las series sedimentarias y volcanoclásticas, sugiriendo que la remagnetización estaría asociada con magmatismo y fusión cortical ocurrida en torno a los 90 Ma (Klepeis et al. 2010). Durante este evento habría ocurrido el cierre de la cuenca de rocas verdes e intensa deformación en el sector de Cordillera Darwin.

La fuerte deformación registrada en los sitios cercanos al canal Beagle se observa también en la fuerte anisotropía de susceptibilidad magnética (Espinoza et al., este simposio). La estrecha similitud que hay entre la fábrica magnética de los intrusivos y las series sedimentarias también apunta a una remagnetización asociado con este evento tectónico mayor del Cretácico Medio-Superior.

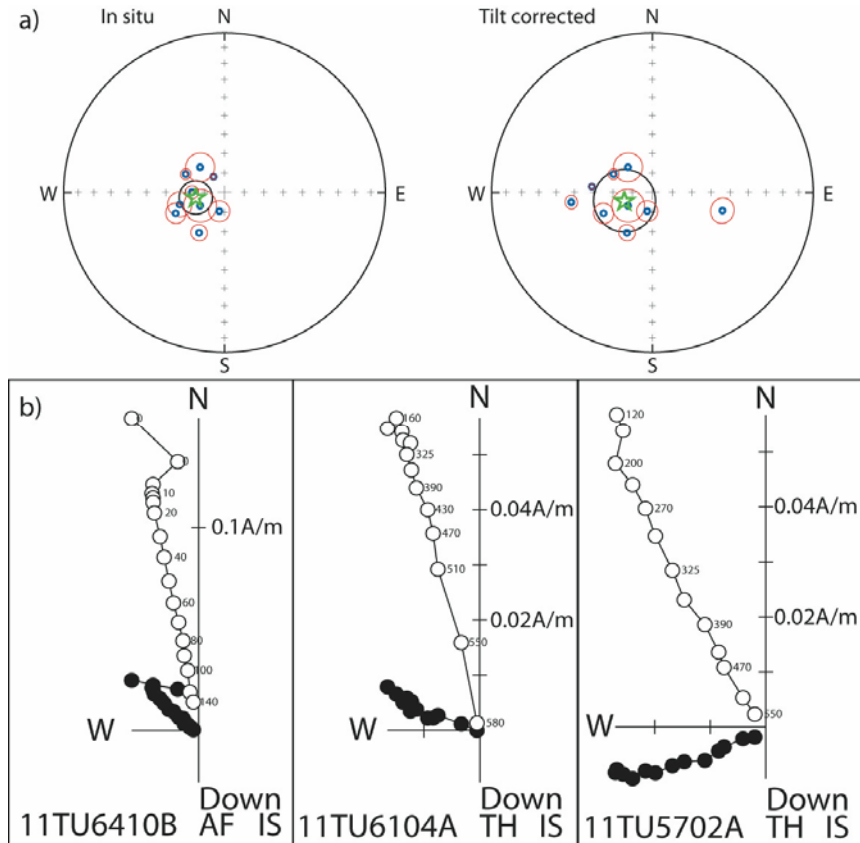


Figura 2. a) Direcciones características en los sitios de la Península Hardy e Isla Navarino. b) Ejemplos de demagnetización por campo alternativo (muestra de grano fino del intrusivo del sitio 64) y térmica en sedimentos del sitio 61 y 57.

La simetría observada en la geometría de Patagonia y la Península Antártica ha llevado a plantear numerosos modelos en los cuales se considera una rotación de ambas regiones en sentidos opuestos: antihorario para Patagonia y horario para Península Antártica. Estudios paleomagnéticos en esta última han mostrado que las rotaciones en la Península Antártica, si es que hubo, fueron anteriores a los 90 Ma (Poblete, et al., y referencias allí citadas). En Patagonia, al contrario de Península Antártica, los datos paleomagnéticos sugieren una rotación antihoraria ocurrida entre el Cretácico Medio y el Terciario. En este contexto surge una serie de ideas y/o inquietudes en torno a la tectónica de la región. Algunas de estas podrían ser:

- Existiría un importante traslape entre Patagonia y la Península Antártica en aquellos modelos que ubican a la Península Antártica adyacente al extremo occidental de Patagonia.
- Las rotaciones observadas en Patagonia y la ausencia de estas en Antártica evidencian una importante diferencia en la evolución tectónica que afectó a la cuenca de Magallanes y de Larsen.

VI.- Agradecimientos.

Esta investigación fue financiada por el Proyecto Anillo Antártico ACT-105. Quisiéramos agradecer a la organización Centre Terre Francia y Centre Terre Chile y a todo su equipo por la ayuda logística prestada en la expedición Última Patagonia 2010, realizada en el archipiélago Madre de Dios. Sin ese apoyo hubiese sido imposible realizar el muestreo paleomagnético en aquella zona. Agradecemos también al Parque Karukinka, a Don Carlos Jhonson y Don German Yankoski por la amabilidad y ayuda prestada en el Lago Fagnano. Un especial agradecimiento a la tripulación del Chonos, Myriam, Hugo, José y Juan, por



la acogida durante la campaña a Isla Navarino y Peninsula Hardy. Finalmente agradecer a Paula Castillo, Caroline Sanchez, Joaquin Bastias, Hernan Bobadilla, y a Pancho Hervé por la ayuda invaluable durante los terrenos.

Referencias

Burns, K.L., Rickard, M.J., Belbin, L., Chamalaun, F., 1980. Further paleomagnetic confirmation of the Magellanes orocline. *Tectonophysics*, 63, 75-90.

Carey, S.W., 1955. The orocline concept in geotectonics. *Proceeding of the Royal Society of Tasmania*, 89, 255-288.

Cunningham, W.D., Klepeis, K.A., Gose, W.A., Dalziel, I.W., 1991. The Patagonian Orocline: New paleomagnetic data from the Andean magmatic arc in Tierra del Fuego, Chile. *J. Geophys. Res., Solid Earth* 96, 16061-16069.

Dalziel, I.W.D., Kligfield, R., Lowrie, W., Opdyke, N. D., 1973. Paleomagnetic data from the southernmost Andes and the Antarctandes. In: Tarling, D.H., Runcorn, S.K. (Eds.), *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*. Academic, New York, pp. 87–101.

Ghiglione, M.C., Cristallini, E.O., 2007. Have the southernmost Andes been curved since Late Cretaceous time? An analog test for the Patagonian Orocline. *Geology* 35 (1), 13–16.

Grunow, A.M., 1993. New paleomagnetic data from the Antarctica Peninsula and their tectonic implications. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 98, 13815-13833.

Maffione, M., Speranza, F., Faccenna, C., Rossello, E., 2010. Paleomagnetic evidence for a pre-early Eocene (~50 Ma) bending of the Patagonian orocline (Tierra del Fuego, Argentina): Paleogeographic and tectonic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.* 289, 273-286.

Poblete, F., Arriagada, C., Roperch, P., Astudillo, N., Hervé, F., Kraus, S., Le Roux, J.P., 2011. Paleomagnetism and tectonics of the South Shetland Islands and the northern Antarctic Peninsula. *Earth Planet. Sci. Lett.* 302, 299-313.

Rapalini, A.E., 2007. A paleomagnetic analysis of the Patagonian Orocline. *Geol. Acta* 5 (4), 287–294.

Rapalini, A.E., Lippai, H., Tassone, A., Cerredo, M.E., 2005. An AMS and paleomagnetic study across the Andes in Tierra del Fuego. 6th International Symposium on Andean Geodynamics. (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts, 596-599.

Rapalini, A.E., Hervé, F., Ramos, V.A., Singer, S., 2001. Paleomagnetic evidence of a very large counterclockwise rotation of the Madre de Dios archipelago, southern Chile. *Earth Planet. Sci. Lett.* 184, 471–487.

Valencio, D.A., Mendía, J.E., Vilas, J.F., 1979. Paleomagnetism and K–Ar of Mesozoic and Cenozoic igneous rocks from Antarctica. *Earth Planet. Sci. Lett.* 45, 61–68.

Watts, D.R., Watts, G.C., Bramall, A.M., 1984. Cretaceous and Early Tertiary paleomagnetic results from the Antarctic Peninsula. *Tectonics* 3, 333–346.