



ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO INTEGRAL REALIZADO EN EL ENJAMBRE DE DIQUES BÁSICOS DE NICO PÉREZ-ZAPICÁN, URUGUAY

M. Cervantes-Solano¹, L. Sánchez Bettucci², Claudia Gogorza³, A. Goguitchaichvili⁴,
J. Morales- Contreras⁴, Augusto Rapalini⁵.

¹ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Escuela Nacional de Estudios Superiores
Unidad Morelia, UNAM, México

² Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay

³ Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires,
(CIFICEN- CONICET), Tandil, Argentina

⁴ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, IGUM-UNAM, Morelia, México.

⁵ IGEBA, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

*e-mail: miguel_cervantes@enesmorelia.unam.mx

ABSTRACT

We report the results of a paleomagnetic study conducted in a swarm of basic dikes located around the village of Nico Pérez and Zapicán, in the department of Lavalleja, Oriental Republic of Uruguay. The Paleomagnetic directions have normal, intermediate and reverse polarities, with an average direction of $Dec = 183.7^\circ$, $Inc = 50.5^\circ$, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, $N = 11$ which corresponds to a virtual geomagnetic pole of $P_{Lat} = 86.1^\circ S$, $P_{Long} = 179.0^\circ E$, $A_{95} = 10.2^\circ$. This pole position coincides with other poles positions proposed for the same region and age, however, due to its dispersion, it overlaps with the poles of adjacent ages. The paleomagnetic intensities obtained by the multi-specimen method yield values between 24.9 and 97.1 μT , which indicates that the Geomagnetic field experienced high variability during the time in which the dikes were intruded. Previous paleomagnetic and geochronological studies suggest that the intrusion began at the Late Jurassic, extending to the beginning of the Cretaceous Normal Superchron and probably was associated with the first tectonic stress that led to the opening of the South Atlantic Ocean.

Keywords: Paleomagnetism, Uruguay, Dikes, Nico-Pérez

RESUMEN

En el presente trabajo reportamos los resultados de un estudio paleomagnético realizado en un enjambre de diques básicos localizados alrededor de las localidades de Nico Pérez y Zapicán, en el departamento de Lavalleja, República Oriental del Uruguay. Las direcciones paleomagnéticas presentan tanto polaridades normales, como intermedias y reversas, con una dirección promedio de $Dec = 183.7^\circ$, $Inc = 50.5^\circ$, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, $N = 11$ la cual corresponde con un polo geomagnético virtual de $P_{Lat} = 86.1^\circ S$, $P_{Long} = 179.0^\circ E$, $A_{95} = 10.2^\circ$. Esta posición del polo coincide con otras posiciones de polos propuestos para la misma región y edad, sin embargo, debido a su dispersión, se traslapa con los polos de edades adyacentes. Las intensidades paleomagnéticas obtenidas mediante el método multi-espécimen arrojan valores entre los 24.9 y 97.1 μT , lo cual indica que el campo Geomagnético experimentó una alta variabilidad durante el tiempo en el que fueron intruidos los diques. Estudios paleomagnéticos y geocronológicos previos sugieren que la intrusión comenzó en el Jurásico tardío extendiéndose hasta el comienzo del Supercrón Normal Cretácico y probablemente asociado a los primeros esfuerzos tectónicos que dieron lugar a la apertura del océano Atlántico Sur.

Palabras Clave: Paleomagnetismo, Uruguay, Diques, Nico-Pérez

Introducción

Los terrenos tectónicos de Piedra Alta y Nico Pérez en el Uruguay están separados por la zona de cizallamiento Sarandí del Yí (Sánchez Bettucci *et al.*, 2010). Estos terrenos están intruidos por distintos enjambres de diques básicos, uno de ellos el enjambre de diques básicos Zapicán (Bossi, Schipilov, 2004)



que aflora cerca de las localidades de Nico Pérez y Zapicán, del departamento de Lavalleja en Uruguay. Lossada *et al.* (2014) reportan los resultados de un estudio paleomagnético observándose la presencia de polaridades normales e inversas del campo magnético terrestre, describen a estos diques como de tipo basáltico, sub-verticales y con una orientación predominante E-O a NO-SE, reportan también una edad radiométrica de 158 ± 3 Ma ($^{39}\text{Ar} - ^{40}\text{Ar}$), basándose en lo anterior proponen que el evento que dio lugar a la intrusión del enjambre de diques básicos de Nico Pérez-Zapicán ocurrió en el Mesozoico, probablemente asociado a los primeros esfuerzos tectónicos que ocasionaron la apertura del océano Atlántico Sur.

Contexto Geológico y muestreo

El afloramiento de los diques básicos de Zapicán comprende un área de 30 km de largo por 10 km de ancho, los cuales presentan un rumbo E-O a ONO-ESE principalmente. Estos diques intruyen al basamento paleoproterozoico del Complejo Valentines constituido por rocas matamórficas y por diversos cuerpos graníticos de posible edad neoproterozoica conocidos como los Grantioides Brasileños (Oyhantçabal *et al.*, 2011). En la parte oriental los diques recortan una intrusión denominada Diorita Zapicán de 2.1 Ga (Lossada *et al.*, 2014) mientras que en la parte occidental la intrusión se hace sobre el Batolito de Illescas de 1.7 Ga, figura 1. Recientemente, Oriolo *et al.*, (2016) presentan una edad U-Pb (Zr) de 610.4 ± 2.5 Ma para un intrusivo granodiorítico-tonalítico de Zapicán. Lossada *et al.*, (2014), a partir de un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS), establecieron que la dirección del flujo magmático dentro de los diques fue predominantemente subvertical. Con el fin de aportar nuevos datos paleomagnéticos y examinar los resultados aportados por Lossada *et al.*, (2014) e intentar llevar a cabo pruebas de determinación de paleointensidades, se llevó a cabo un nuevo muestreo paleomagnético en este enjambre de diques. Las muestras fueron tomadas en aquellos diques que no mostraron evidencia de metamorfismo y que no estuvieran en contacto con la roca de caja, en total se recolectaron muestras de roca en 21 sitios (Figura 1)

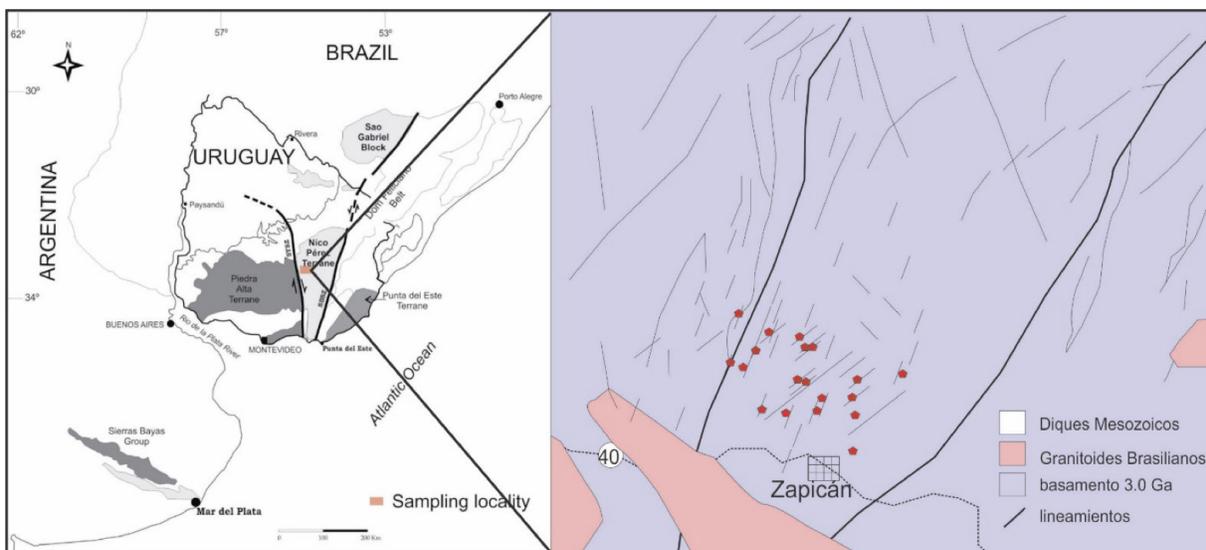


Figura 1. Mapa geológico simplificado de la región Nico Pérez-Zapicán y localización de los sitios estudiados (tomado de Lossada *et al.*, 2014).

Resultados paleomagnéticos

Se obtuvieron direcciones promedio en 14 sitios estudiados, 8 son de polaridad normal, 3 de polaridad invertida y 3 de polaridad intermedia (ángulo de corte 45° ; Figura 4 A), para el cálculo de los polos geomagnéticos se descartaron los sitios de polaridad intermedia (Figura 4 B). Los sitios con



polaridad invertida resultaron ser antipodales al promedio de los de polaridad normal, sin embargo, debido que solo son tres y a su elevada dispersión, el *test* de la inversión de McFadden y McElhinny (1990) resulta indeterminado. A pesar de esto, las direcciones de estos sitios se incluyeron tanto en el cálculo del promedio global como en el cálculo de los polos resultando Dec = 183.7°, Inc = 50.5°, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, N = 11, con una posición promedio del polo paleomagnético correspondiente de $P_{Lat} = 86.1^\circ S$, $P_{Long} = 179^\circ E$, $A_{95} = 10.2^\circ$ (Figura 2 C).

Esta posición es similar a la obtenida en el estudio de Lossada *et al.*, (2014) y resulta consistente con los polos calculados para la misma región (Besse, Courtillot, 2002; Torsvik *et al.*, 2008; Tamrat, Ernesto 2006; McElhinny, McFadden, 2000), sin embargo, debido a su alto ángulo de incertidumbre, este polo también se traslapa con otros de edades adyacentes. La presencia de polaridades inversas e intermedias confirma las conclusiones de Lossada *et al.*, (2014) de que la intrusión de los diques ocurrió en un periodo extenso iniciándose antes del inicio del Súper Cron Normal Cretácico (Figura 2 D).

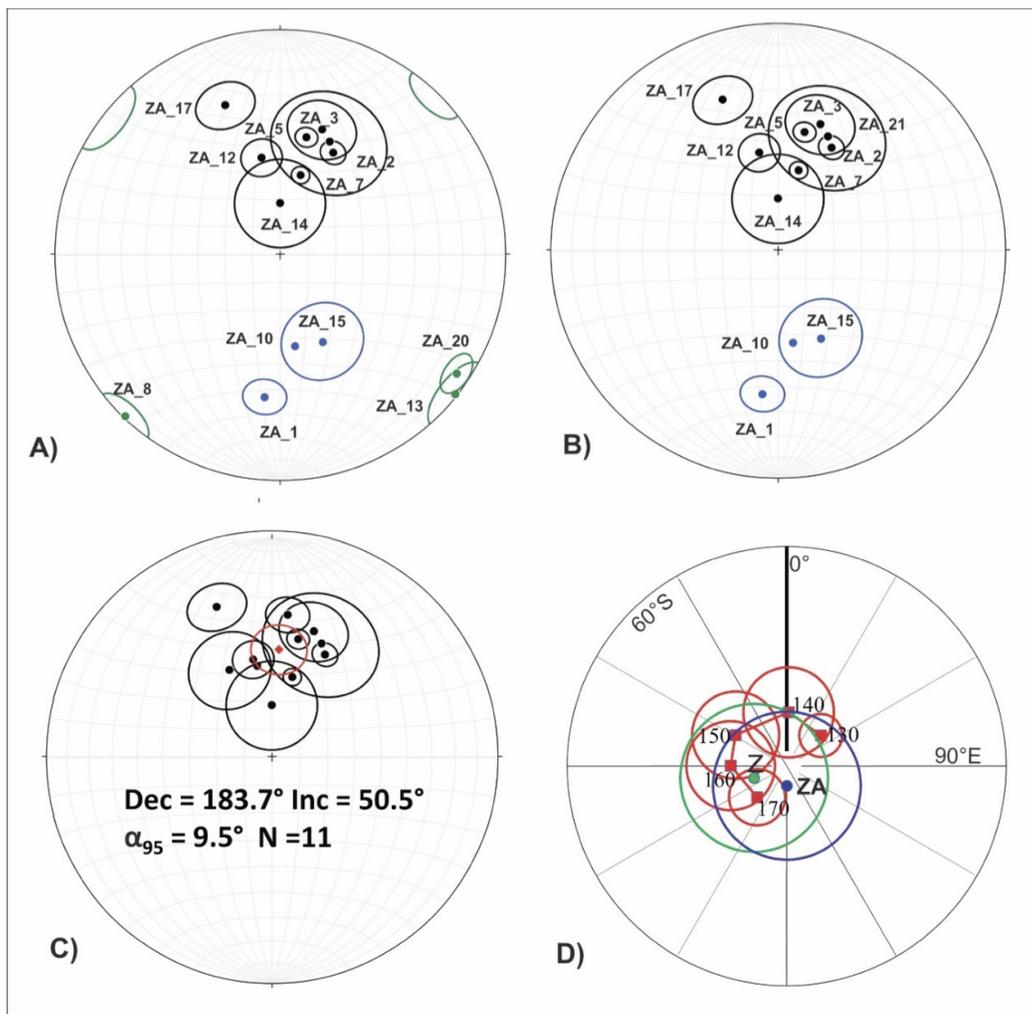


Figura 2. Direcciones paleomagnéticas promedio. **A)** Direcciones promedio de todos los sitios, **B)** direcciones promedio descartando las polaridades intermedias, **C)** direcciones promedio de los sitios después de hacer la inversión, se indica también el promedio de Fisher. Dec = declinación magnética, Inc = inclinación magnética, N = número de sitios utilizados para el promedio y α_{95} = ángulo del 95% de confianza. **D)** Polo paleomagnético (ZA) calculado para el enjambre de diques de Zapicán, comparado con el obtenido por Lossada *et al.*, (2014) y los polos de referencia globales en coordenadas sudamericanas de Torsvik *et al.*, (2008) en Ma.



Determinación de la paleointensidad

Las determinaciones de la Paleointensidad se obtuvieron mediante el método multi-espécimen (Dekkers y Böhnell (2006) con el protocolo corrección por fracción FC y estado de dominio propuesto por Fabian and Leonhardt (2010). Los especímenes utilizados para estos experimentos se seleccionaron de aquellas muestras que mostraron una sola componente direccional durante los tratamientos de desmagnetización o con una componente inicial de origen viscoso removida en los primeros pasos y además mostrar un comportamiento reversible con una sola fase magnética con temperaturas de Curie entre los 500° y 570° C en las curvas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura (curvas K-T). Se estableció una temperatura de 450° C para el calentamiento para reducir la posibilidad de alteraciones fisicoquímicas de los especímenes. Los campos magnéticos aplicados en el laboratorio fueron entre los 20 y 70 μT . Pevio a la realización de los experimentos se realizó una desmagnetización mediante campos alternos aplicando un campo de 10 mT con la finalidad de eliminar la remagnetización de origen viscoso presente en las muestras. Fue posible obtener resultados de muestras provenientes de 4 sitios, con valores de PI entre 19.4 y 97.6 μT (Figura 3).

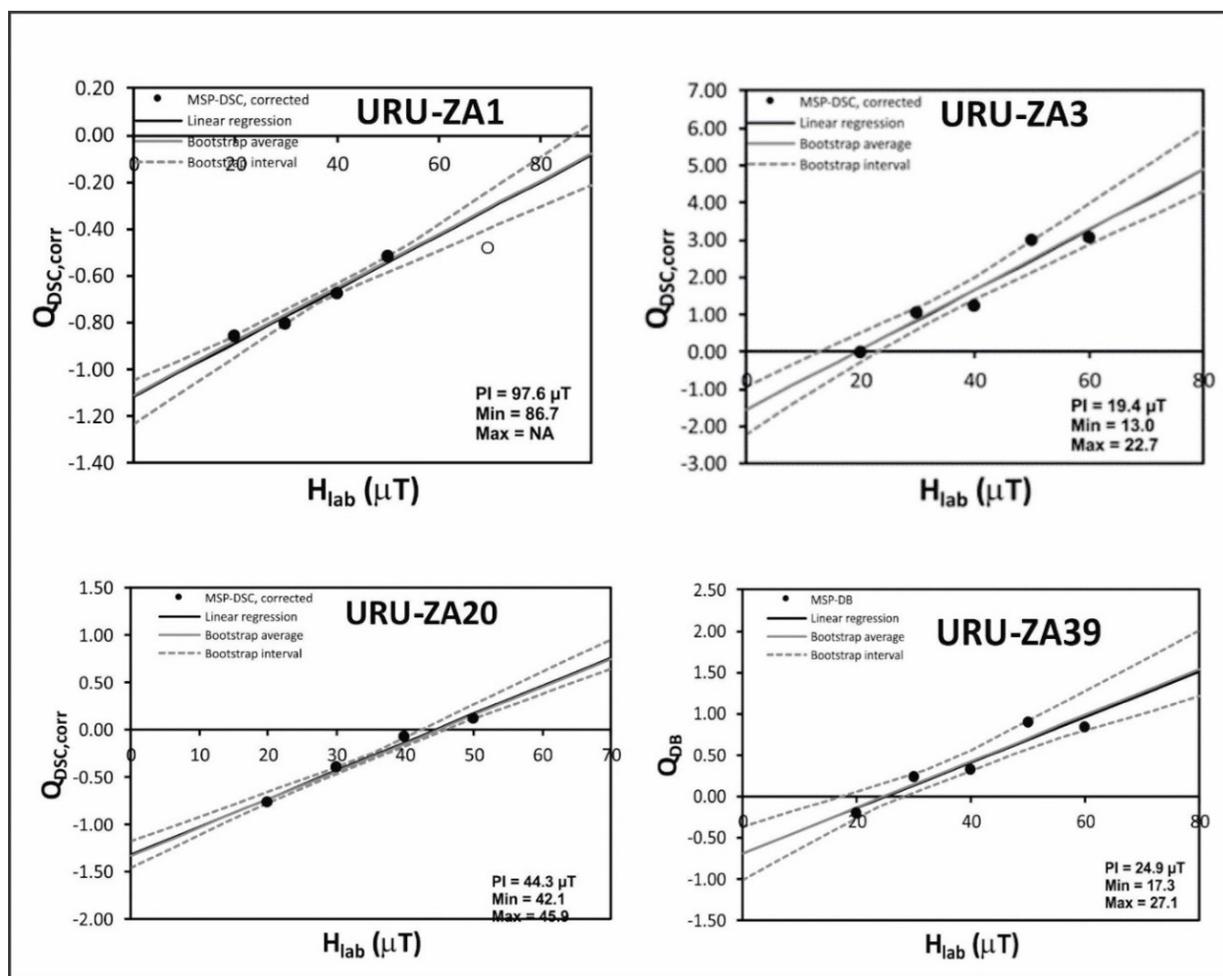


Figura 3. Resultados de los experimentos de PI multi-espécimen. Las líneas negras continuas indican la regresión lineal utilizada para la obtención del valor de la PI, las líneas punteadas indican la zona de confianza obtenida mediante un ajuste del tipo *bootstrap*.



Conclusiones

La dirección promedio de los diques es Dec = 183.7°, Inc = 50.5°, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, N = 11, con una posición promedio del polo paleomagnético correspondiente de $P_{Lat} = 86.1^\circ$ S, $P_{Long} = 179^\circ$ E, $A_{95} = 10.2^\circ$. Esta posición es semejante a la obtenida en el estudio original de Lossada *et al.*, (2014), el cual resulta consistente al compararlo a su vez con otros polos propuestos para la misma región y edad (Besse y Cortillot, 2002; Torsvik *et al.*, 2008, Tamrat y Ernesto 2006; McElhinny y McFadden, 2000), pero debido a su alto ángulo de incertidumbre, también se traslapa con otros polos de edades adyacentes. La presencia de polaridades inversas e intermedias confirma lo propuesto por Lossada *et al.*, (2014) de que la intrusión de los diques ocurrió durante un intervalo extenso iniciándose antes del inicio del Súper Cron Normal Cretácico. Los valores de PI obtenidos muestran una gran variabilidad y a falta de mayor control geocronológico, esta gran variación es compatible con lo observado en otras compilaciones realizadas para la misma época, v.g. Tauxe *et al.*, (2013).

Referencias

- Besse J., Courtillot V., 2002. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 107, 1-31.
- Bossi J., Schipilov A., 2003. Rocas básicas precámbricas del Uruguay. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología* 10, 2-14.
- Dekkers, M.J., Böhm, H.N., 2006. Reliable absolute palaeointensities independent of magnetic domain state. *Earth and Planetary Science Letters* 248, 508-517.
- Fabian, K., Leonhardt, R., 2010. Multiple-specimen absolute paleointensity determination: an optimal protocol including pTRM normalization, domain-state correction, and alteration test. *Earth and Planetary Science Letters* 297, 84-94.
- McElhinny, M.W., McFadden, P.L., 2000. Paleomagnetism: continents and oceans, International Geophysics series, Academic Press, 73, 227-280.
- McFadden P.L., McElhinny M.W., 1990. Classification of the reversal test in palaeomagnetism, *Geophysical Journal International* 103, 3, 725-729.
- Lossada A.C., Rapalini A.E., Sánchez Betucci L., 2014. Enjambre de diques básicos de Nico Pérez-Zapicán, Uruguay: evidencias radimétricas y paleomagnéticas sobre su edad. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71, 3, 345-355.
- Oyhantçabal P., Siegesmund S., Wemmer K. 2011. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100 (2-3), 201-220.
- Oriolo S., Oyhantçabal P., Basei M.A.S., Wemmer K., Siegesmund S., 2016. The Nico Pérez Terrane (Uruguay): from Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton. *Precambrian Research* 280, 147-160.
- Sanchez Bettucci L., Peel E., Oyhantçabal P. 2010. Precambrian geotectonic units of the Río de La Plata craton. *International Geology Review* 52, 1, 32-50.
- Tamrat E., Ernesto M., 2006. Paleomagnetic constraints on the age of the Botucatu Formation in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78, 3, 591-605.
- Tauxe, L., Gee, J. S., Steiner, M. B., Staudigel, H., 2013. Paleointensity results from the Jurassic: New constraints from submarine basaltic glasses of ODP Site 801C. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 14 (10), 4718-4733.
- Torsvik, T.H., Briden, J.C., Smethurst M. A. 2000. Super-IAPD Interactive analysis of palaeomagnetic data. <http://www.geodynamics.no/software>.