

ENJAMBRE DE DIQUES BÁSICOS DE NICO PÉREZ - ZAPICÁN, URUGUAY: EVIDENCIAS RADIMÉTRICAS Y PALEOMAGNÉTICAS SOBRE SU EDAD

Ana C. LOSSADA¹, Augusto E. RAPALINI² y Leda SÁNCHEZ BETUCCI³

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

² IGEBA Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Departamento de Ciencias Geológicas, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina.

³ Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.

E-mail: ana_lossada@hotmail.com

RESUMEN

El enjambre de diques básicos de Nico Pérez-Zapicán intruye al basamento paleoproterozoico del cratón del Río de la Plata en las cercanías de las localidades homónimas, departamento de Lavalleja, Uruguay. A partir de la identificación y el mapeo de detalle de la ubicación de los distintos diques, su descripción petrográfica, y de los estudios geocronológicos, paleomagnéticos y de magnetofábrica realizados en la unidad, se pudo caracterizar de manera más acotada su geología y su contexto temporal. Los diques presentaron una remanencia magnética estable, considerada primaria, que permitió calcular el polo paleomagnético del enjambre de diques básicos de Nico Pérez, el cual se ubica en 87°S; 197,3°E (A95=10,2°, n=8, k=30), y es consistente con la posición de otros polos de referencia de América del Sur entre el Jurásico Medio y el Jurásico Superior. La petrofábrica, caracterizada mediante un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética, resultó ser de origen magmático, encontrándose fábricas normales e inversas. La elevada inclinación observada en la lineación magnética sugiere que el flujo magmático en los diques fue subvertical al momento de la intrusión. El estudio geocronológico basado en una datación por el método ³⁹Ar/⁴⁰Ar sobre plagioclasa arrojó una edad de 157,6±3,0 Ma para la intrusión de los diques. En función de las evidencias geocronológicas, petrográficas y paleomagnéticas expuestas en este trabajo, se postula 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 distensivos que culminaron con la apertura del océano Atlántico Sur.

Palabras clave: *Diques básicos, cratón Río de la Plata, paleomagnetismo, Uruguay*

ABSTRACT

Nico Pérez - Zapicán basic dykes swarm, Uruguay: radimetric and paleomagnetic evidence about their age

The Nico Pérez - Zapicán basic dykes swarm intrudes the Paleoproterozoic basement of the Río de la Plata craton in the vicinity of the homonymous towns, Lavalleja department, Uruguay. From the identification and detailed mapping of the dykes, petrographic descriptions, and geochronologic, paleomagnetic and magnetofabric analysis, it was possible to characterize their geologic characteristics and temporal context in a more accurate way.

Dykes present a high stability remanence, considered to be primary, which allowed us to calculate the Paleomagnetic Pole of the Nico Pérez basic dykes swarm, which is located at 87°S; 197,3°E (A95=10,2°, n=8, k=30,31), and is consistent with other reference poles of South America from middle to upper Jurassic. The petrofabric of the dykes was characterized by an analysis of the anisotropy of magnetic susceptibility, which resulted to be of magmatic origin. Normal and reverse fabrics were observed. The geochronologic analysis, based on an ³⁹Ar/⁴⁰Ar dating on plagioclase, yielded a 157,6±3,0 Ma age for the intrusion of the dykes. Taking into account the geochronologic, petrographic and paleomagnetic evidence exposed in this work, we propose that the event that originated the intrusion of the Nico Pérez basic dykes swarm took place in Mesozoic times, probably associated with first tensional stresses that preceded the opening of the South Atlantic Ocean.

Keywords: *Basic dykes, Río de la Plata craton, paleomagnetism, Uruguay*

INTRODUCCIÓN

Las unidades precámbricas del Uruguay están representadas por los terrenos tectonoestratigráficos de Piedra Alta

(TTPA) y Nico Pérez (T'ITNP), separados por la zona de cizallamiento de Sarandí del Yí (*sensu* Sánchez Betucci *et al.*, 2010). Ambos se encuentran intruídos por distintos enjambres de diques básicos, como

el haz de diques máficos de Florida (Bossi y Campal, 1991; Teixeira *et al.*, 1999; Bossi *et al.*, 1993; Halls *et al.*, 2001 y Bossi y Schipilov, 2004) y el haz de diques básicos de Zapicán, respectivamente.

Éste último aflora en las cercanías de las localidades de Nico Pérez y Zapicán, en el departamento de Lavalleja, República Oriental del Uruguay (33°31'S, 55°56'O). Se trata de diques de composición basáltica, subverticales, y de orientación predominante E-O a NO-SE. La edad de la unidad se encuentra pobremente acotada, habiéndose reportado una edad Rb/Sr de 665 ± 203 Ma como posible edad de la intrusión (Rivalenti *et al.* 1995), y una edad no publicada K/Ar realizada en un cristal de biotita perteneciente a la roca de caja, en el contacto con el dique básico (Teixeira en Rivalenti *et al.* 1995) que arrojó una edad de 581 ± 13 Ma, interpretada como edad de reseteo producto de la intrusión. Estas edades permitieron relacionar el origen de los diques con el episodio extensional asociado a la apertura de la Cuenca Arroyo del Soldado, que registra el relleno sedimentario del grupo homónimo, de edad ediacarana, en un ambiente de margen pasivo (Gaucher 1996). Sin embargo, la baja calidad de la datación mencionada, sumado al aspecto fresco de las rocas en el campo y a la presencia de vidrio volcánico inalterado (Rivalenti *et al.* 1995), permite sospechar acerca de una edad más joven para la unidad.

Con el objetivo de caracterizar de manera más ajustada la geología y contexto temporal del enjambre de diques de Nico Pérez, se realizó un estudio geocronológico, paleomagnético y de magnetofábrica.

MARCO GEOLÓGICO

El enjambre de diques básicos de Nico Pérez ha sido objeto de escasos trabajos científicos. Las primeras referencias sobre estos diques aparecen en la memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay (Preciozzi 1985), en donde se menciona un magmatismo básico en forma de filones que intruyen la roca de caja en las cercanías de Zapicán. Posteriormente, Mazzucchelli *et al.* (1995), basado en los trabajos de Bossi *et al.* (1993) y Rivalenti *et al.* (1995), consideran al haz de diques Nico Pérez de edad neoproterozoica y sugieren un bajo grado de fusión mantélica para el enjambre. Asimismo mencionan

que los patrones de elementos traza de los diques de Nico Pérez se asemejan a los de los basaltos de bajo-Ti del Gondwana y del sur de Paraná, e interpretan que el manto litosférico que originó a estos últimos durante la extensión mesozoica se encuentra previamente enriquecido y presenta características geoquímicas e isotópicas heredadas de los procesos ocurridos en el proterozoico. Más recientemente, Novo (2011) llevó a cabo un relevamiento magnetométrico de los diques, realizando un modelado 2D de su respuesta magnética.

El haz de diques básicos aflora en un área de 30 km de largo por 10 km de ancho en las cercanías de las localidades de Nico Pérez y Zapicán (Fig. 1), en el Departamento de Lavalleja, Uruguay, donde intruyen a rocas metamórficas de medio y alto grado del basamento paleoproterozoico del bloque Valentines (Complejo Valentines, Oyhançabal *et al.* 2011) y a distintos cuerpos graníticos (*sensu lato*) de posible edad neoproterozoica, mencionados comúnmente en la literatura uruguaya como granitoides brasileños. En el sector oriental de la zona estudiada estos diques intruyen a la Diorita Zapicán (2,1Ga, M.A.S. Bassi, com. pers.), mientras que en el extremo occidental lo hacen con el Batolito de Illescas (1,7Ga, Fig. 1). Se identificaron más de 135 diques básicos, los cuales presentan un rumbo predominante E-O a ONO-ESE (Fig. 1). Se trata de diques subverticales, de ancho variable entre 0,5 y 10m, pudiéndose seguir en la dirección del rumbo por varias decenas a centenas de metros. La presencia de los diques produce resaltos de pequeñas dimensiones en el terreno, lo que facilita su identificación, especialmente por su continuidad lineal (Fig. 2). El aspecto de los mismos es fresco, sin evidencias de metamorfismo ni alteración penetrativa. No fue posible observar en ningún caso el contacto directo de los diques con la roca de caja.

METODOLOGÍA

Para realizar el estudio paleomagnético y de magnetofábrica del enjambre de diques, el muestreo de campo se realizó

con una perforadora portátil, con motor a explosión, obteniéndose testigos de roca cilíndricos, de diámetro estándar de 2,54cm, los cuales fueron orientados simultáneamente con brújula magnética, solar e inclinómetro, respecto al norte magnético, geográfico y la horizontal, respectivamente. Se obtuvieron un total de 8 a 10 testigos de roca por cada sitio de muestreo. Los mismos fueron rebanados en especímenes de 2,20cm de altura, obteniéndose una colección de 331 especímenes, distribuidos en 21 sitios de muestreo (Z1, Z2...Z21), 17 de ellos correspondientes a 17 diques básicos y los 4 restantes correspondientes a la roca de caja (Z1, Z2, Z8 y Z19). La distribución espacial de los mismos se muestra en la figura 1. Los sitios Z1 y Z2 corresponden a gneises anfibólicos y anfibolitas que conforman el basamento paleoproterozoico de este sector (Complejo Valentines, Oyhançabal *et al.* 2011), el sitio Z8 corresponde a un granitoide de probable edad neoproterozoica y el sitio Z19 fue muestreado en la Diorita Zapicán.

El estudio de la anisotropía de susceptibilidad magnética se llevó a cabo con un equipo MFK-1A, siguiendo el protocolo de posiciones propuesto por Jelinek (1981). El cálculo del elipsoide de anisotropía de susceptibilidad magnética y los parámetros estadísticos escalares y direccionales, tanto a nivel muestra como sitio, fueron determinados siguiendo los algoritmos de Jelinek (1981) con los programas de computación SAFYR y ANISOFT (AGICO). La remanencia magnética natural de las rocas se midió con un magnetómetro criogénico 2G (550-R, DC *Squids*). Se aplicaron técnicas desmagnetizantes (véase por ejemplo Butler 1992, para un detalle sobre la metodología de estudios paleomagnéticos) por campos magnéticos alternos (AF) en las muestras correspondientes a los diques básicos y por altas temperaturas (T) en las correspondientes a la roca de caja, mediante un desmagnetizador estático por campos magnéticos alternos (*degausser*) anexo al magnetómetro, y un desmagnetizador térmico ASC-48TD, todos equipos pertenecientes al Laboratorio de Paleomag-

netismo Daniel A. Valencio del Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA). Las típicas secuencias desmagnetizantes empleadas fueron: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 80, 100 y 120mT en el caso de campos alternos, e incrementos de 50°C en el rango de 100-550°C para la desmagnetización térmica. En este último caso, luego de cada paso de calentamiento se midió la susceptibilidad magnética de las muestras para monitorear la ocurrencia de posibles cambios mineralógicos debidos a la tarea instrumental. El análisis de los resultados se llevó a cabo empleando el programa *SuperLAPD* (Torsvik *et al.* 2000), donde se aislaron las componentes magnéticas de cada espécimen mediante el análisis de componentes principales (Kirschvink 1980). En todos los casos, las componentes magnéticas fueron definidas con una desviación angular máxima (*MAD*, por sus siglas en inglés) inferior a 15°. Las componentes obtenidas en cada sitio fueron promediadas mediante la estadística circular de Fisher (1953) y de cada dirección media se calculó un polo geomagnético virtual por cada dique y por cada sitio de las rocas de caja. El estudio geocronológico se realizó en el *Activation Laboratories Ltd. (ActLabs)* de Canadá mediante el método $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ sobre cristales individuales de plagioclasa, pertenecientes a una muestra del sitio de muestreo Z11.

RESULTADOS

Petrografía

En muestra de mano, los diques presentan una textura porfírica en la que se distinguen fenocristales milimétricos de plagioclasa inmersos en una pasta afanítica de color gris a negro, que es la que le otorga el color a la roca. La fractura es irregular y la estructura masiva.

Microscópicamente se puede apreciar que se trata de rocas hipabisales, de textura general porfírica a glomeroporfírica por sectores, con fenocristales de plagioclasa (An 68-62) y en menor medida de clinopiroxeno, inmersos en una pasta de textura intersertal (Fig. 3). La misma está

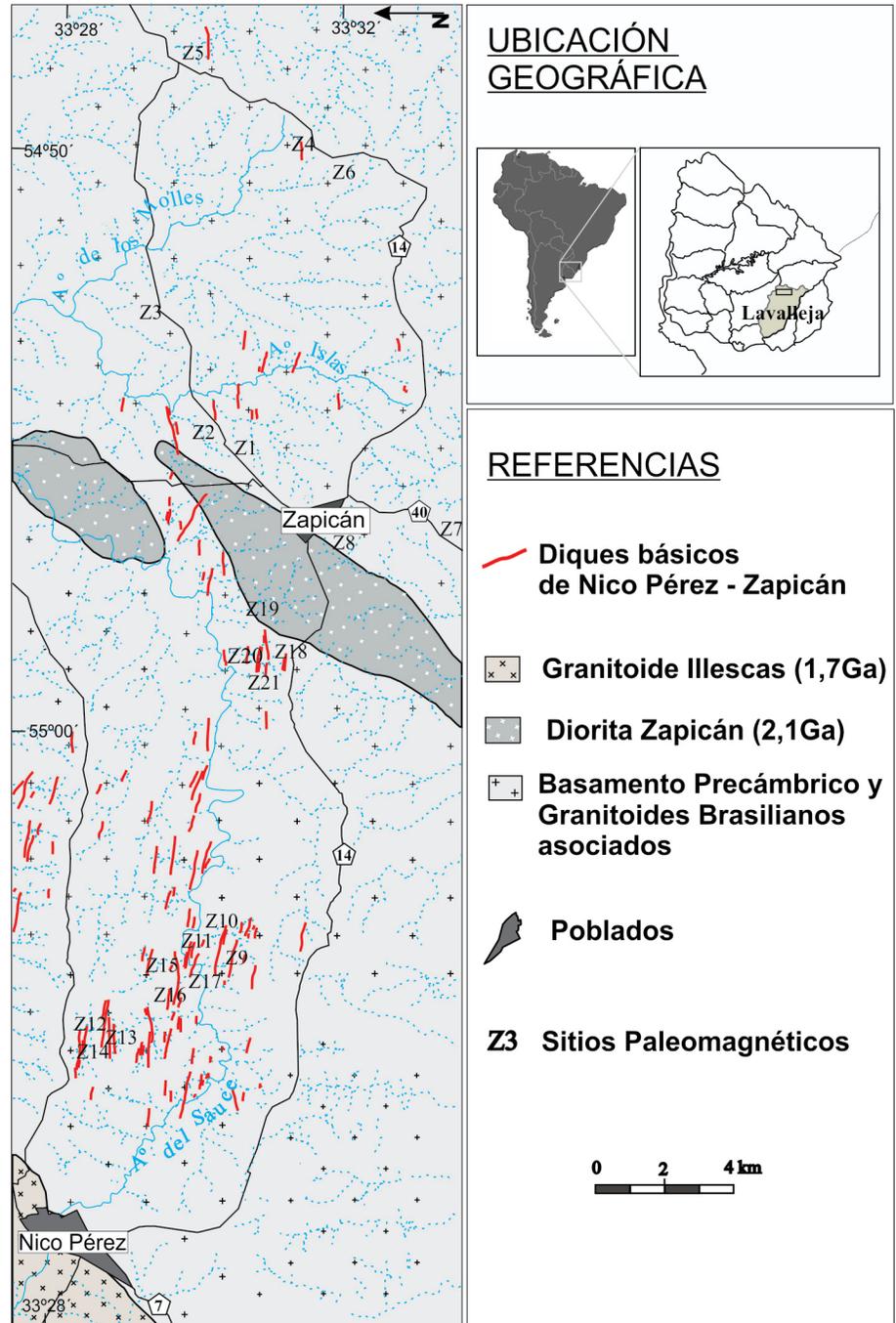


Figura 1: Bosquejo geológico de la zona de Nico Pérez-Zapicán, basado en la interpretación de imágenes satelitales *QuickBird* y controles de campo. Se puede apreciar la ubicación de los diques básicos identificados. Ubicación de los sitios de muestreo.

compuesta por plagioclasa, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. La presencia de vidrio volcánico inalterado, de color castaño e isótropo (Fig. 3) sugiere una edad más joven, habida cuenta de la rareza de vidrios volcánicos preservados del Proterozoico (Hamilton 1992, Sharkov *et al.* 2002, 2003).

El aspecto general de las muestras es fresco, presentando sólo una incipiente cloritización selectiva que afecta a los minerales ferromagnesianos. No se observan evidencias de metamorfismo, deformación ni alteración penetrativa.

En base a las observaciones mineralógicas y los porcentajes totales estimados

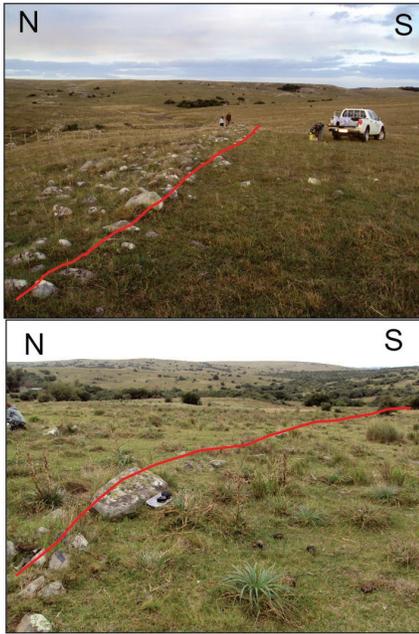


Figura 2: Fotografías que ilustran el aspecto de los diques en el campo. Nótese su gran continuidad espacial.



Figura 3: Fotografías de cortes delgados de dos muestras correspondientes a diques básicos, con nicoles paralelos (a, b) y cruzados (a', b'). Nótese la presencia de vidrio intersticial fresco. Plag: plagioclasa, CPx: clinopiroxeno, Op: minerales opacos.

CUADRO 1: Datos analíticos de la datación Ar-Ar realizada en *ActLabs*.

T(°C)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	Ca/K	$\Sigma^{39}\text{Ar}$ (%)	Age (Ma)	$\pm 1\sigma$
550	28,041	0,089	0,01610	0,00249	5,747	0,019	0,0132	0,0031	20,7	13,6	156,9	6,0
700	25,943	0,038	0,01901	0,00088	15,290	0,024	0,0056	0,0014	55,0	37,0	157,8	3,0
850	30,249	0,037	0,01893	0,00112	22,687	0,028	0,0066	0,0012	81,7	68,5	182,7	2,8
1000	36,624	0,093	0,01329	0,00203	23,104	0,059	0,0119	0,0025	83,2	86,5	211,9	4,9
1130	42,068	0,090	0,01415	0,00266	20,427	0,043	0,0079	0,0021	73,5	100,0	251,4	4,3

($P\%=100$; $Q\%=FA\%=F\%=0$), los diques se clasifican como basaltos de acuerdo al índice de color (superior al 45-50%), la composición de la plagioclasa (labradorita) y la presencia de piroxeno como principal mineral máfico. La afinidad de los mismos es toleítica de acuerdo con Rivalenti *et al.* (1995).

Geocronología

Como se mencionara anteriormente, la edad del enjambre de diques básicos de Nico Pérez se encuentra pobremente acotada, habiéndose reportado una edad preliminar Rb/Sr de 665 ± 203 Ma (Rivalenti *et al.* 1995). La misma es considerada no confiable puesto que los datos no definen una isocrona y se arriba al resultado mencionado luego de descartar arbitrariamente dos muestras que se alejan del ajuste lineal, todo lo cual se evidencia en el abultado error obtenido. Existe tam-

bién un dato no publicado K/Ar realizado en un cristal de biotita perteneciente a un granitoide que obra como roca de caja, en el contacto con el dique básico (Teixeira en Rivalenti *et al.* 1995) que arrojó una edad de 581 ± 13 Ma. El resultado fue interpretado por los autores como producto del reseteo isotópico debido a la intrusión de los diques, y por lo tanto, considerado equivalente a la edad de los mismos. Estas dos observaciones, si bien débiles de manera individual, permitieron en conjunto inferir y aceptar una edad ediacarana para la intrusión de los diques (Bossi *et al.* 1998), considerándolos como evidencia de la extensión previa a la apertura de la Cuenca Arroyo del Soldado.

En el presente trabajo se realizó un análisis $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ mediante desgasificado por etapas en cristales de plagioclasa correspondientes a una muestra del sitio Z11 (Fig. 1), provenientes de la fracción

de fenocristales, en el *Activation Laboratories Ltd.* de Canadá. Se llevaron a cabo 5 pasos de calentamiento, obteniéndose el espectro de edades que se muestra en la figura 4. El mismo muestra un plateau que abarca sólo el 37% del Ar liberado en las dos etapas iniciales de calentamiento, y que corresponde a una edad de $157,6 \pm 3,0$ Ma. A temperaturas superiores se verifica un incremento paulatino sin definición de un nuevo plateau. La edad de fusión total obtenida es de 188 Ma, pero es considerada sin significación real. La discordancia observada en los últimos tres pasos de calentamiento permite sospechar que la muestra no se comportó como un sistema cerrado completamente para el ^{40}Ar y/o ^{39}K y presenta un exceso de argón (ej. Kelley 2002). A pesar de que menos de un 50% del argón liberado está comprendido en el plateau observado, se considera que una edad cercana a los

160Ma es la más probable para la intrusión del enjambre de diques básicos de Nico Pérez - Zapicán. A pesar de la necesidad de realizar nuevas dataciones radiométricas para determinar con mayor precisión y confianza la edad de los diques, se puede inferir que la edad neoproterozoica postulada por Rivalenti *et al.* (1995) debe ser descartada. Los datos analíticos proporcionados por *ActLabs* se muestran en el Cuadro 1.

Fábrica magnética

La fábrica magnética de una roca está dada por la orientación y distribución preferencial de los minerales magnéticos que la componen, y depende de la forma de los granos magnéticos, y de la interacción entre ellos (Martín-Hernández *et al.* 2004). Una forma sencilla de determinarla es realizando un estudio de la Anisotropía de Susceptibilidad Magnética (ASM).

La ASM es un método que se basa en medir la variación del valor de la susceptibilidad magnética de una muestra según las diferentes direcciones espaciales, permitiendo así obtener el tensor de susceptibilidad magnética. Dicho tensor se puede visualizar a través de un elipsoide (Fig. 5) definido por la magnitud y orientación de sus tres ejes principales: $K_1 \geq K_2 \geq K_3$, los cuales representan los ejes de máxima, intermedia y mínima susceptibilidad, respectivamente (autovectores del tensor). El elipsoide de susceptibilidad es coaxial, en condiciones normales, con el arreglo de los distintos minerales presentes en la muestra, reflejando la petrofábrica de la misma (Tarling y Hrouda 1993; Martín-Hernández *et al.* 2004).

La fábrica magnética en una roca ígnea es el resultado de la combinación de todas las contribuciones de sus componentes minerales (ferro-, para- y diamagnéticos), incluido el vidrio. La presencia de una pequeña cantidad de minerales ferromagnéticos (1% del volumen total) suele ser suficiente para dominar las propiedades magnéticas de una roca. Si la susceptibilidad media encontrada es mayor a 5.10^{-3} (SI) se considera que la fábrica magnética está controlada por minerales ferromagnéticos, típicamente titanomag-

netitas en el caso de rocas ígneas. Si en cambio, la susceptibilidad media es inferior a 10^{-4} (SI) entonces la contribución ferromagnética puede ser despreciada, y la fábrica se considera dominada por la fracción para- y diamagnética (Tarling y Hrouda 1993).

El eje K_3 , o la lineación magnética, es generalmente paralelo a la lineación de la petrofábrica, que en el caso de rocas ígneas suele estar dada por la dirección del flujo magmático, puesto que los granos minerales se ubican con su eje de máxima elongación paralelo a la dirección de movimiento del material (posición hidrodinámicamente estable, Tarling y Hrouda 1993). El eje K_3 es ortogonal a la foliación magnética que suele coincidir, en rocas ígneas no deformadas, con el plano de foliación magmática.

La presencia de magnetita tamaño dominio simple (DS, $DS \leq 1\mu\text{m}$, aproximadamente, Dunlop y Özdemir 1997) como mineral ferromagnético dominante, da lugar a fábricas magnéticas de tipo inversas, en las cuales los ejes K_1 y K_3 se encuentran invertidos respecto de una fábrica magnética normal gobernada por magnetita tamaño multidominio (DM, $DM \geq 1\mu\text{m}$), u otros minerales ferromagnéticos. Las fábricas inversas son el reflejo de la distribución de los ejes de susceptibilidad máxima, intermedia y mínima en cada grano de magnetita DS, en los cuales el eje K_3 coincide con el eje de mayor elongación y K_1 con el de menor elongación. En muchas ocasiones, la presencia de un espectro de cristales de magnetita que comprenda tamaños en el rango DS y DM puede dar fábricas mixtas (ej. Rochette *et al.* 1990) en las cuales se producen permutas de los ejes K_1 y K_2 ó K_2 y K_3 .

Se realizó un estudio de la anisotropía de susceptibilidad magnética en los 17 sitios correspondientes a diques básicos, tendiente a caracterizar la petrofábrica de los mismos e intentar inferir la dirección del flujo magmático al momento del emplazamiento. Los parámetros obtenidos se informan en el Cuadro 2.

Los diques básicos presentaron susceptibilidades magnéticas medias (K_m) por sitio de muestreo en un rango de valores

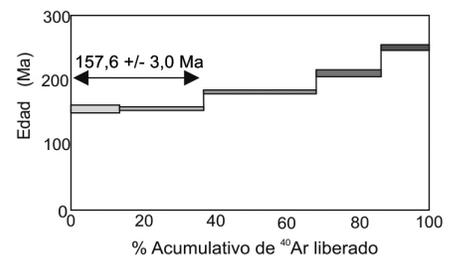


Figura 4: Espectro de edades obtenido por el método $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ mediante desgasificación por etapas en cristales de plagioclasa correspondientes a una muestra del sitio Z11.

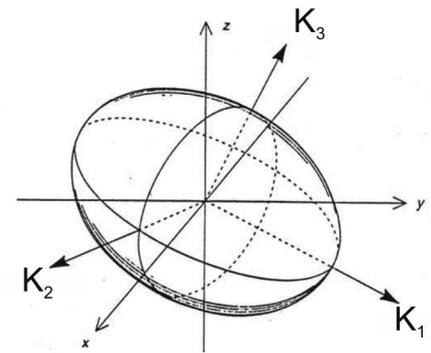


Figura 5: Elipsoide de susceptibilidad magnética, definido por los ejes de máxima (K_1), intermedia (K_2) y mínima (K_3) susceptibilidad. Modificado de Tarling y Hrouda (1993).

bastante acotado de $1,05.10^{-2}$ a $2,63.10^{-2}$ SI (véase figura 6a), resultando en un K_m medio de $1,8.10^{-2}$ (SI). Esto indica que la fábrica magnética está controlada por la fracción de minerales ferromagnéticos presentes en las rocas.

El grado de anisotropía presentado por los diques fue muy bajo (Fig. 6b), siendo en promedio inferior al 4%, lo que sugiere la ausencia total de deformación en ellos, siendo altamente probable que la fábrica magnética esté condicionada únicamente por el flujo magmático durante el emplazamiento. Las fábricas observadas son entonces consideradas fábricas primarias, de origen magmático.

En función de la orientación de los ejes principales del elipsoide de ASM (ejes de máxima, intermedia y mínima susceptibilidad, K_1 , K_2 y K_3 respectivamente) y sus relaciones con la actitud del dique, se definieron tres grupos de fábricas magnéticas: normales, inversas y dispersas (Fig. 7). Las fábricas normales son aquellas en las cuales la lineación magnética es

CUADRO 2: Parámetros magnéticos por sitio de muestreo.

Sitio	Km	K1		K2		K3		Pj	T
		D/l (°/°)	Área conf. (°/°)	D/l (°/°)	Área conf. (°/°)	D/l (°/°)	Área conf. (°/°)		
Z3	0,0208	291/15	28/11	185/45	70/27	34/41	70/11	1,007	-0,301
Z4	0,0112	233/75	26/13	131/3	26/19	40/15	20/13	1,009	0,006
Z5	0,0263	2/27	59/23	249/38	61/46	117/40	50/24	1,003	-0,292
Z6	0,0158	26/32	13/8	130/22	14/11	248/50	13/8	1,023	0,089
Z9	0,0132	20/59	22/7	280/6	20/12	187/31	13/10	1,008	-0,141
Z10	0,0105	186/1	21/10	278/62	45/13	96/29	45/11	1,033	-0,685
Z11	0,0130	288/83	18/15	181/2	56/18	91/7	56/11	1,009	-0,606
Z12	0,0196	72/59	33/13	249/31	43/23	340/2	39/13	1,010	-0,285
Z13	0,0260	359/56	40/13	260/6	44/26	166/34	35/10	1,030	0,154
Z14	0,0198	292/54	13/8	147/31	25/11	47/17	24/9	1,018	-0,680
Z15	0,0160	203/23	45/21	310/34	44/23	86/47	29/22	1,030	0,062
Z16	0,0149	132/60	15/10	253/17	33/13	351/24	33/12	1,020	-0,632
Z17	0,0160	126/70	27/13	353/14	60/18	259/14	60/20	1,010	-0,705
Z18	0,0215	334/41	15/8	84/21	62/10	193/42	62/11	1,024	-0,855
Z20	0,0198	164/59	26/3	316/28	26/7	53/12	7/4	1,018	0,636
Z21	0,0203	339/16	15/7	131/72	19/13	246/8	17/8	1,022	-0,003

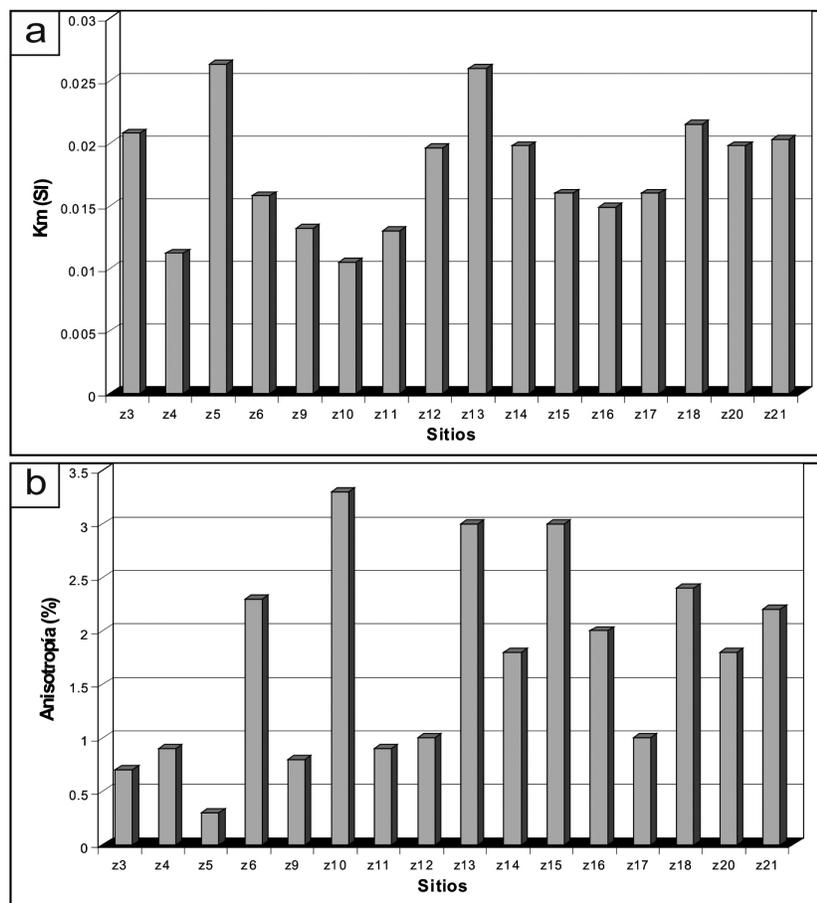


Figura 6: Valores de susceptibilidad media (Km, a) y del grado de anisotropía (Pj, b) por sitio de muestreo. Nótese que en todos los casos, la anisotropía es inferior al 3,5%.

paralela al plano del dique, mientras que en las inversas la lineación magnética se ubica perpendicular al mismo. En ambos

casos, los granos magnéticos se alinean con su eje de mayor elongación paralelo a las líneas de flujo magmático. Dado que

el eje de mayor elongación de los granos de magnetita tamaño DM (dominio múltiple, $DM > 1\mu m$) coincide con la lineación magnética, se considera que las fábricas magnéticas normales son generadas por esta fracción ferromagnética. Este tipo de fábricas se presentó en los sitios Z3, Z4, Z11, Z12, Z13, Z14, Z16, Z17 y Z20. En cambio, en los granos de magnetita tamaño DS (dominio simple, $DS < 1\mu m$) la lineación magnética coincide con el eje de menor elongación, lo que resulta en fábricas magnéticas inversas como las observadas en los sitios Z6, Z10, Z15, Z18 y Z21. En particular, el sitio Z15 presenta una clara mezcla de fábricas normales o intermedias e inversas. Finalmente, el sitio Z5 presentó una muy alta dispersión en la orientación de los ejes de ASM.

La presencia de fábricas normales e inversas podría deberse a que la fracción ferromagnética que domina la fábrica magnética está compuesta por más de una población de granos de magnetita de distintos tamaños, predominando en algunos casos los granos DS y en otros los DM. El comportamiento paleomagnético observado concuerda con estas observaciones. Estudios complementarios de magnetismo de roca permitirán confirmar esta afirmación.

La elevada inclinación que caracteriza la lineación magnética, observada en la mayoría de los diques con fábricas normales, sugiere que la dirección del flujo magmático dentro de los diques fue subvertical.

Paleomagnetismo

Comportamiento paleomagnético de los diques básicos: la mayoría de los diques básicos fue portadora de una remanencia magnética estable, definiéndose, en algunos casos, una única componente magnética (z), mientras que en otros casos se determinaron dos componentes. Éstas fueron claramente reconocidas como de baja coercitividad (componente b, definida entre 0-6/9mT) y de alta coercitividad (componente a, definida entre 9/12-120mT). La componente de baja coercitividad (b) es portadora del 50-80% de la remanencia natural, mientras que el restante 20-50% le corresponde a la componente a. Esta úl-

tima incluye al origen de coordenadas en los diagramas de Zijderveld (diagramas de desmagnetización ortogonal), indicando que se han removido exitosamente todas las componentes magnéticas presentes en la muestra (Fig. 8). Al analizar la consistencia direccional por sitio, la componente de baja coercitividad resultó ser aleatoria, y se interpreta como una posible magnetización remanente viscosa, adquirida por las muestras entre su recolección en el campo, transporte y manipulación en el laboratorio. En cambio, se encontró buena consistencia direccional en muchos de los sitios al analizar la componente de alta coercitividad. En la figura 8 se muestran los comportamientos magnéticos de una selección representativa de muestras. Las direcciones medias de cada sitio se calcularon aplicando estadística fisheriana (Fisher 1953) y se encontró consistencia en 10 de los 17 sitios correspondientes a diques básicos, registrándose ambas polaridades del campo magnético terrestre (2 diques reversos y 8 normales). El cuadro 3 resume la información de cada sitio y la figura 9a muestra sus direcciones características.

Test de la reversión: La figura 9a sugiere que las direcciones de inclinación positiva (polaridad reversa) son antípodas de las de inclinación negativa. El agrupamiento resultante luego de la inversión de los sitios reversos (Fig. 9b) ilustra que éstos no se diferencian visualmente en su posición de los de inclinación negativa. En la figura 10 se muestran la media de las direcciones normales y la de las direcciones reversas. La distancia angular entre las mismas es de $12,6^\circ$ (γ_0), y el ángulo crítico (γ_c) que permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias es de $21,8^\circ$. Esto indica un resultado positivo del test de la reversión, puesto que $\gamma_0 < \gamma_c$. Sin embargo, siguiendo la clasificación propuesta por McFadden y McElhinny (1990) el resultado debe ser considerado indeterminado, puesto que el ángulo crítico obtenido es superior a los 20° . La presencia de ambas polaridades en los diques estudiados sugiere que la adquisición de la remanencia comprendió un lapso relativamente largo de tiempo y que es altamente probable

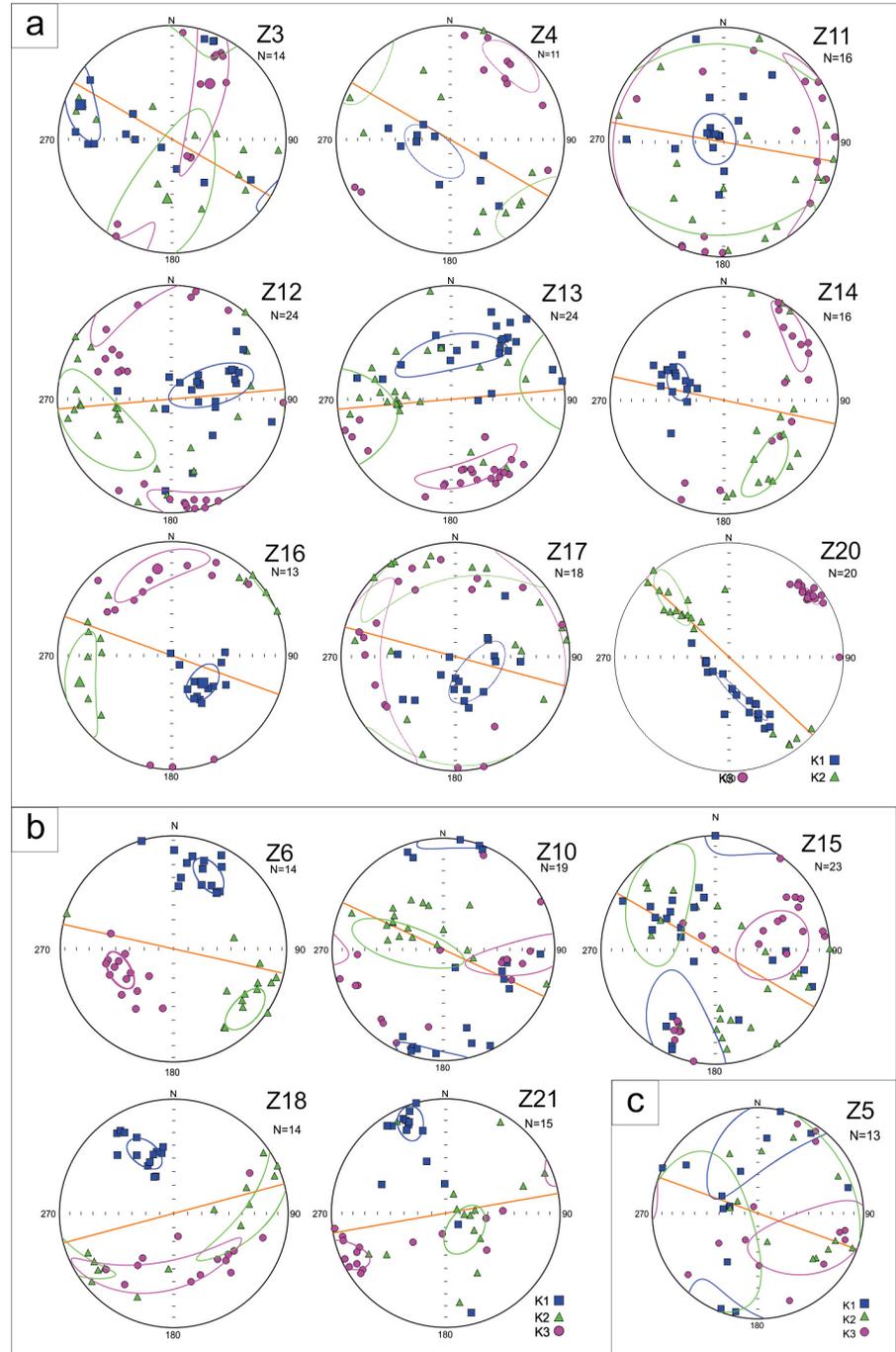


Figura 7: Fábricas magnéticas: a) Normales. b) Inversas. c) Aleatorias. En naranja se indica el rumbo del dique correspondiente a cada sitio de muestreo. La proyección estereográfica es equiareal y se realiza en la semiesfera inferior.

que la variación paleosecular del campo magnético terrestre haya sido adecuadamente promediada (véase Butler 1992).

Estudios complementarios de propiedades magnéticas: con el objetivo de determinar el mineral portador de la magnetización remanente de los diques básicos, se realizaron curvas de Adquisición de la Magneti-

zación Remanente Isotérmica (IRM, por sus siglas en inglés). Este método consiste en aplicar campos magnéticos intensos (de hasta 2T) a las muestras, mediante un magnetómetro de pulsos, y medir la magnetización remanente de saturación adquirida por los minerales magnéticos. El estudio se realizó sobre una selección

CUADRO 3: Se indican los valores de declinación e inclinación de la dirección media, radio del círculo de confianza al 95% (α_{95}), parámetro de concentración (k), cantidad de muestras analizadas (N) y empleadas para el cálculo del VGP (n), y latitud y longitud del polo geomagnético virtual (VGPLat y VGPLong) para cada sitio. (*) Se presenta el valor de α_{95} a modo orientativo, si bien el mismo carece de sentido con $n=2$. Los valores de declinación (Dec.) son azimutales y los de inclinación (Inc.) son positivos (negativos) si el vector apunta hacia abajo (arriba) del plano horizontal.

Sitio	Dec.(°)	Inc.(°)	α_{95}	k	N	n	VGP Lat.(°)	VGP Long.(°)
Z3	172,4	60,8	17,9	19	9	5	-79,7	338,8
Z4	30,9	-72	13,9*	323	12	2	-58,5	272,8
Z5	358,1	-60,6	16,1*	242	14	2	-81,8	315,2
Z9	12,6	-50,5	13,9	20	10	7	-79,1	206,6
Z13	178,3	65	9,6	50	16	6	-76,4	310,2
Z15	12,6	-52	7,2	41,5	19	11	-79,4	213,9
Z16	352,6	-32,5	7,4	81	15	6	-72,8	100,3
Z18	348,5	-38,6	5,3	210	14	5	-74,5	81,4
Z20	26,3	-47,3	6,2	69,4	19	9	-67	209,7
Z21	4,1	-54	5,7	94,4	14	8	-86,4	233,3

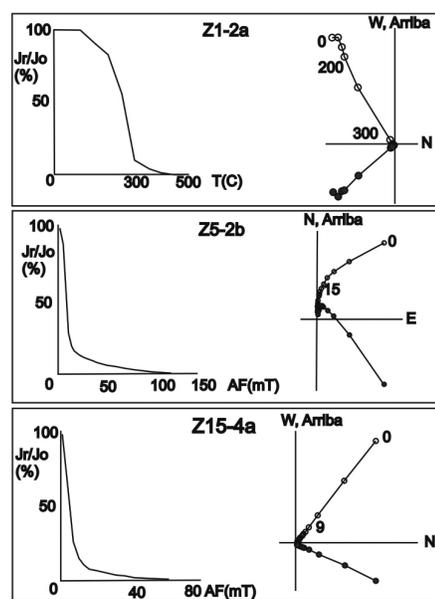


Figura 8: Diagramas de desmagnetización (izquierda) y de Zijderveld (derecha) de una selección de muestras. Los círculos negros indican proyección en el plano horizontal, y los blancos en el plano vertical. Los números indican valores en mT o °C de algunas etapas desmagnetizantes.

de 11 muestras correspondientes a 11 diques distintos, observándose un comportamiento prácticamente idéntico, como puede apreciarse en la figura 11.

La baja coercitividad observada (las muestras alcanzan una magnetización de saturación al ser sometidas a campos inferiores a los 200mT), sumado a la forma general de la curva, es indicativo de la presencia de minerales ferrimagnéti-

cos (magnetita, o titanio-magnetita) como principales portadores de la magnetización y la ausencia de fracciones antiferromagnéticas. Esto resulta consistente con el comportamiento paleomagnético observado y descrito anteriormente.

Comportamiento paleomagnético de la roca de caja: las muestras correspondientes a la roca de caja de los diques (sitios Z1, Z2, Z8 y Z19) fueron desmagnetizadas aplicando altas temperaturas y mostraron una alta estabilidad de remanencia, aislándose por lo general una única componente, z, que incluye al origen de coordenadas (véanse direcciones medias por sitio en el Cuadro 4 y Figura 12).

Como puede verse, las componentes magnéticas definidas en las distintas muestras del sitio Z19, correspondiente a la Diorita Zapicán, registran ambas polaridades del campo magnético, y las mismas se agrupan satisfactoriamente luego de invertir las direcciones reversas. Esta dirección es claramente diferente de la presente en los diques, y no coincide con ninguna fanerozoica para el continente sudamericano (ej. McElhinny y McFadden 2000). Si bien se trata de un único sitio, la presencia de polaridades antípoda en el mismo sugiere que la dirección media observada podría representar la correspondiente al polo paleomagnético de 2100 Ma (edad de la Diorita Zapicán), para el terreno de Nico Pérez. En particular, y aún considerando

el carácter preliminar de los resultados, la dirección obtenida para la Diorita Zapicán (Dec: 256,3°, Inc: -46,0°; α_{95} : 10,5°) resulta cercana a la recientemente obtenida por Rapalini *et al.* (2014) para los Complejos Marincho y Mahoma en el terreno de Piedra Alta con una edad semejante de alrededor de 2,1 Ga (Dec: 276,1°, Inc: -63,1°, α_{95} : 10,3°). Estos resultados sugieren la conveniencia de realizar estudios paleomagnéticos de detalle en esta unidad a fin de ayudar a determinar la historia paleogeográfica paleoproterozoica del terreno de Nico Pérez. Las componentes magnéticas definidas en las muestras de granitoide del sitio Z8 resultaron ser inconsistentes al analizarlas en conjunto, no observándose ningún agrupamiento preferencial. En cuanto a los sitios Z1 y Z2, correspondientes a gneises y anfibolitas del basamento paleoproterozoico, se encontró un claro agrupamiento en ambos sitios, resultando uno de ellos de polaridad normal (Z1) y otro de polaridad reversa (Z2). Existe además cierta cercanía direccional entre los sitios, si bien se observa claramente que no son antípoda. La edad de estas rocas no está acotada adecuadamente, y como no existen datos paleomagnéticos más antiguos que el Neoproterozoico tardío para el terreno Nico Pérez (véase Rapalini y Sánchez Betucci 2008 y referencias ahí citadas), no es posible inferir la edad de la unidad a partir de la dirección de su remanencia magnética.

Origen de la magnetización remanente en los diques: las direcciones paleomagnéticas encontradas, tanto en la Diorita Zapicán como en los gneises y anfibolitas del basamento no coinciden con aquellas definidas para el enjambre de diques básicos estudiado. Esto sugiere que estas unidades no han sido afectadas en sus remanencias por la intrusión del enjambre de diques ni por ningún evento de remagnetización regional, posterior a su intrusión. Se considera entonces probable que los diques porten una remanencia de origen primario. Esto es consistente con el aspecto fresco de los diques, apreciado tanto macro como microscópicamente. *Polo paleomagnético de Nico Pérez:* se calcula

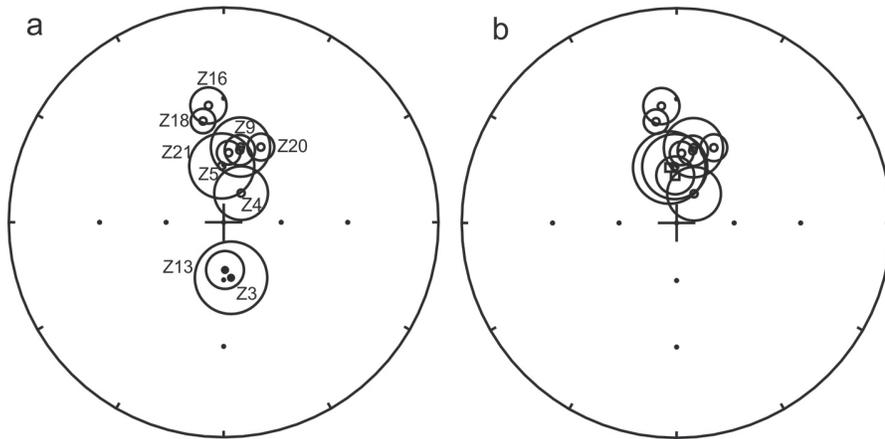


Figura 9: Direcciones medias por sitio de muestreo de los diques básicos de Nico Pérez, con sus respectivos círculos de confianza. a) antes de invertir los sitios con polaridad reversa. b) luego de la inversión. Las direcciones invertidas se identifican con símbolos cuadrados.

ló el polo geomagnético virtual de cada sitio de los diques, cuyas coordenadas se expresan en el cuadro 3, y promediando éstos se obtuvo el polo paleomagnético del enjambre de diques básicos de Nico Pérez - Zapicán. En dicho promedio se excluyó a los sitios Z4 y Z5 por presentar un bajo número de muestras (n=2, en cada caso). El polo paleomagnético calculado se ubica en 87°S; 197,3°E (A95=10,2°, n=8, k=30). Se analizó la posición del paleopolo obtenido respecto a la curva de deriva polar aparente de referencia de América del Sur, a fin de intentar aportar a la edad de la remanencia, interpretada como equivalente a la edad de intrusión de los diques. Se comparó la ubicación del mismo con la de polos de referencia de América del Sur (Fig. 13), postulados por diversos autores.

Como puede apreciarse en la figura 13a, el Polo Paleomagnético de los diques básicos de Nico Pérez (NP) coincide en su posición con el polo de referencia de 175 Ma, obtenido a partir de los basaltos de la Cuenca de Maranhao, Brasil, y es compatible con el de 146 Ma, proveniente de los diques de Río Grande do Norte, del NE de Brasil. Por otro lado, el paleopolo obtenido resulta compatible con los polos paleomagnéticos promedios para América del Sur calculados por Torsvik *et al.* (2008) en un rango de 130 a 180 Ma inclusive (Fig. 13b). La ubicación del paleopolo de los diques de Nico Pérez coin-

cide también con varios polos paleomagnéticos obtenidos en Argentina, como ser el de 131Ma obtenido a partir de los basaltos de la Formación Serra Geral, en la Cuenca Chaco-Paranaense, el de 155 Ma de la Formación El Quemado, el de 168 Ma del Grupo Chon Aike y el de 180 Ma de la Formación Marifil (Fig. 13c). Finalmente, al analizar las relaciones del polo paleomagnético obtenido con los polos promedios de América del Sur calculados por McElhinny y McFadden (2000, Fig. 13d) puede apreciarse que el mejor ajuste ocurre con el paleopolo de 165 Ma.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se realizó una caracterización geológica del enjambre de diques básicos de Nico Pérez, Departamento de Lavalleja, a través del mapeo de detalle de la ubicación de los mismos, del análisis petrográfico realizado en la unidad, y de la comprensión de sus relaciones estratigráficas y estructurales con las demás unidades presentes. Se llevó a cabo un estudio geocronológico Ar/Ar mediante desgasificado por etapas en cristales individuales de plagioclasa que arrojó una edad de 158±3 Ma, sugiriendo que la intrusión de los diques ocurrió en el Jurásico tardío.

Se realizó un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética, encontrándose muy bajos valores de anisotropía, lo

CUADRO 4: Se indican los valores de declinación e inclinación de la dirección media, radio del círculo de confianza al 95% (α_{95}), parámetro de concentración (k) y cantidad de muestras (n) para los sitios correspondientes a la roca de caja.

Sitio	Decl. (°)	Incl. (°)	α_{95}	K	N
Z1	141,2	-58,7	5,9	105,05	7
Z2	264,6	54,4	19,2	10,89	7
Z19	256,3	-46,0	10,5	28,72	8

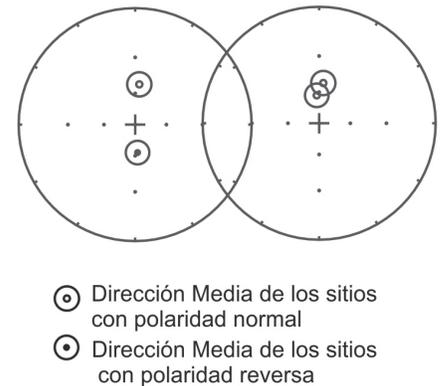


Figura 10: Test de la Reversión. A la izquierda se muestran los promedios de los sets de direcciones normales y reversas, con sus respectivos círculos de confianza. En la figura de la derecha se ha invertido el promedio de las direcciones reversas y se puede apreciar la distancia angular entre las medias.

que permitió concluir la presencia de una petrofábrica primaria, de origen magmático. Se reconocieron fábricas magnéticas normales e inversas, lo que podría estar dado por una población de granos de magnetita de variados tamaños (abarcando los rangos DS y DM). La elevada inclinación que caracteriza a la lineación magnética en las fábricas normales permite inferir que el flujo magmático dentro de los diques fue subvertical.

Se llevó a cabo un estudio paleomagnético en los diques básicos y litologías correspondientes a su roca de caja. Los diques registran ambas polaridades del campo magnético terrestre, lo que indica que la adquisición de la remanencia ocurrió en un lapso de tiempo lo suficientemente largo como para promediar las variaciones paleoseculares del campo magnético terrestre. La magnetización presentada por los diques se considera

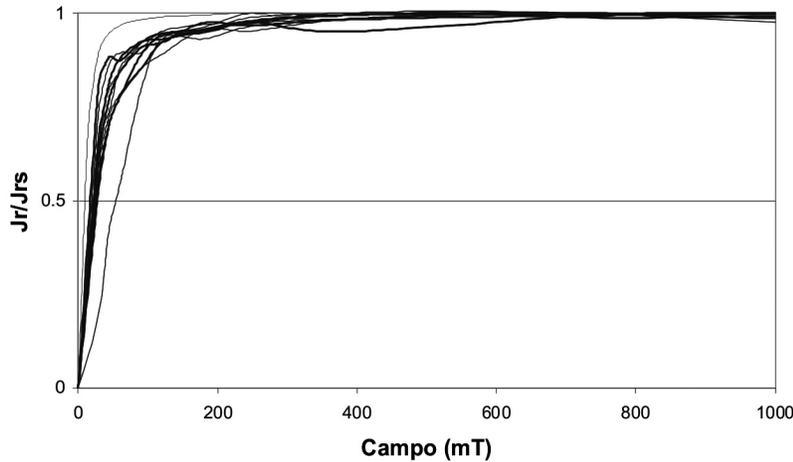


Figura 11: Curvas de Adquisición de la Magnetización Remanente Isotérmica (IRM) para los sitios Z3, Z4, Z5, Z6, Z9, Z15, Z16, Z17, Z18, Z20 y Z21.

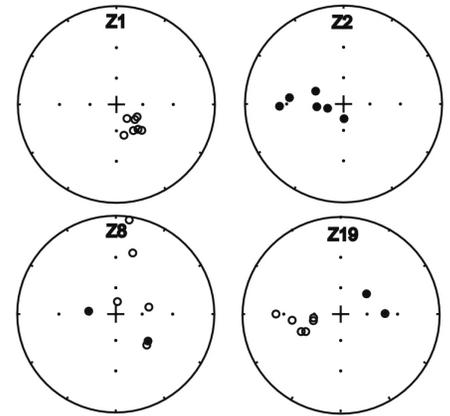


Figura 12: Direcciones de la componente magnética definida en distintas muestras en cada uno de los sitios correspondientes a la roca de caja.

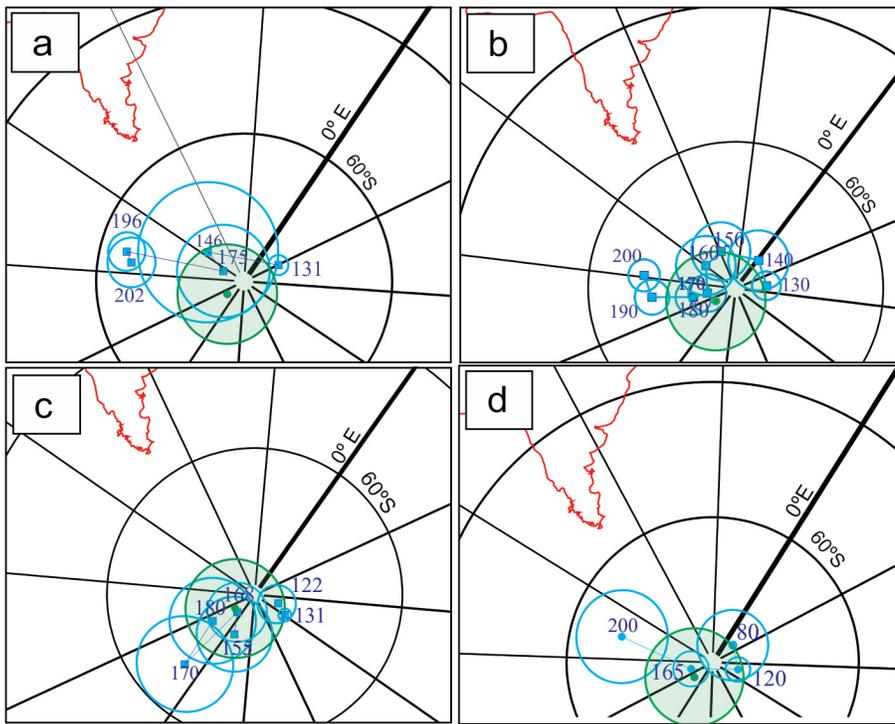


Figura 13: Ubicación del PP-NP (color verde) y polos de referencia de América del Sur (celeste). a) polos seleccionados de la plataforma sudamericana (Torsvik *et al.* 2008). b) promedios globales en coordenadas de América del Sur (Torsvik *et al.* 2008). c) y d) Selección polos Sudamérica (Tamrat y Ernesto 2006; McElhinny y McFadden 2000, respectivamente).

primaria, y de origen térmico, debido a la ausencia de deformación, metamorfismo y/o alteración significativa en los diques. A esto se suma el hecho de que la dirección magnética encontrada difiere considerablemente de aquellas observadas para las distintas litologías de la roca de caja. El mineral portador de la magnetización es, probablemente, (titano)magnetita. El

polo paleomagnético del enjambre de diques básicos de Nico Pérez-Zapicán se ubica en 87°S; 197,3°E (A95=10,2°, n=8, k=30). La posición del mismo es compatible con la de diversos polos de referencia para América del Sur entre el Jurásico Medio y el Jurásico Superior. El intervalo de confianza obtenido (A95) posibilita que el mismo se solape con

otros polos de referencia de variada edad, en un rango de 130 a 180 Ma. En todos los casos, con su incerteza, el resultado paleomagnético es consistente con los resultados de la datación geocronológica y confirma que el enjambre de diques de Nico Pérez - Zapicán es de edad mesozoica, probablemente jurásica (ca. 160 Ma), y no neoproterozoica como fuera asumida anteriormente (Rivalenti *et al.* 1995). Por otro lado, la presencia de polaridades normales y reversas en los diques asegura una edad mayor a los 118 Ma para los mismos, edad de comienzo del Supercrón Normal del Cretácico (Gradstein *et al.* 2012).

En función de las evidencias geocronológicas, petrográficas y paleomagnéticas expuestas en este trabajo, se postula 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 distensivos que culminaron con la apertura del océano Atlántico Sur.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Besse, J. y Courtillot, V. 2002. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *Journal of Geophysical Research* 107: 1-31.
 Bossi, J., Ferrando, L., Montaña, J., Campal, N., Morales, H., Gancio, F., Schipilov, A., Piñeyro, D. y Sprechman, P. 1998. Carta Geológica del Uruguay, escala 1:500.000. Geodito-

- res SRL, Montevideo, 145 p.
- Bossi, J., Preciozzi, F., y Campal, N. 1993. Predevoniano en el Uruguay I: Terreno Piedra Alta. Montevideo, Dirección Nacional de Minería y Geología 1: 1-50.
- Bossi, J., y Campal, N. 1991. Granitos negros filonianos del Uruguay: resultados de las investigaciones. Boletín de Investigaciones de la Facultad de Agronomía, 72 p.
- Butler, R. F. 1992. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geological Terranes. Blackwell Scientific Publications, 319 p., Boston.
- Dunlop, D.J. y Özdemir, O. 1997. Rock Magnetism: Fundamentals and frontiers, Cambridge University Press, 573 p., Cambridge.
- Fisher, R.A. 1953. Dispersion on a sphere. Proceedings Royal Society of London 217: 295-305.
- Gaucher, C., Sprechmann, P. y Schipilov, A. 1996. Upper and Middle Proterozoic fossiliferous sedimentary sequences of the Nico Pérez terrane of Uruguay: Lithostratigraphic units, paleontology, depositional environments and correlations. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 199: 339-367.
- Gradstein, F., Ogg, J., Schmitz, M. y Ogg, G. 2012. The Geologic Time Scale 2012. Elsevier: 1144 p., Amsterdam.
- Hamilton, L.H., 1992. The oldest abundant volcanic glass on Earth. Australian Journal of Earth Sciences 39: 55-59.
- Halls, H.C., Campal, N., Davis, D.W., y Bossi, J. 2001. Magnetic studies and U-Pb geochronology of the Uruguayan dyke swarm, Río de la Plata craton, Uruguay: Paleomagnetic and economic implications: South American Journal of Earth Sciences 14: 349-361.
- Jelinek, V. 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. Tectonophysics 79: 63-67.
- Kelley, S. 2002. Excess argon in K-Ar and Ar-Ar geochronology. Chemical Geology 188: 1-22.
- Kirschvink, J.L. 1980. The least-squares and plane and the analysis of paleomagnetic data. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 67: 669-718.
- Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Piccirillo, E.M., Girardi, V.A.V., Civetta, L. y Petrini, R. 1995. Petrology of the Proterozoic mafic dykes swarm of Uruguay and constraints on their mantle source composition. Precambrian Research, 74: 177-194.
- Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M., Aubourg, C. y Jackson, M. 2004. Magnetic fabrics: methods and applications - an introduction. Geological Society of London, Especial Publications 238: 1-551, Londres.
- McFadden, P.L. y McElhinny, M.W. 1990. Classification of the reversal test in palaeomagnetism. Geophysical Journal International 103: 725-729.
- McElhinny, M.W. y McFadden, P.L. 2000. Paleomagnetism Continents and oceans, International Geophysics series 73: 227-280.
- Novo, R. 2011. Estudio Magnetométrico de Diques Máficos en la zona de Zapicán y Nico Pérez. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de la República (inéedita), 130 p., Uruguay.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S. y Wemmer, K. 2011. The Río de la Plata craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. International Journal of Earth Sciences 100: 201-220.
- Preciozzi, F., Sportuno, J., Heinzen, W. y Bossi, P. 1985. Carta Geológica del Uruguay a la escala 1/500.000. Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo.
- Rapalini, A. y Sánchez Bettucci, L. 2008. Widespread remagnetization of late Proterozoic sedimentary units of Uruguay and the apparent polar wander path for the Río de la Plata craton. Geophysical Journal International 174: 55-74.
- Rapalini, A.E., Sánchez Bettucci, L., Badgen, E. y Vásquez, C.A. 2014. Paleomagnetic Study on mid-Paleoproterozoic rocks from the Río de la Plata Craton: Implications for Atlantica. Gondwana Research, en prensa.
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Molesini, M., Petrini, R., Girardi, V.A.V., Bossi, J. y Campal, N. 1995. Petrology of Late Proterozoic mafic dikes in the Nico Pérez region, central Uruguay. Mineralogy and Petrology 55: 239-263.
- Rochette, P., Fillion, G., Mattéi, J.L. y Dekkers, M.J. 1990. Magnetic transition at 30-40 Kelvin in pyrrhotite: insights into a widespread occurrence of this mineral in rocks. Earth and Planetary Science Letters 98: 319-328.
- Sánchez Bettucci, L., Peel, E. y Oyhantçabal, P. 2010. Precambrian geotectonic units of the Río de la Plata craton. International Geology Review, 52: 32-50.
- Sharkov, E.V., Trubjin, N.V., Kraisivkaya, I.S., Bogatikov, O.A., Mokhov, A.V., Zolotykh, E.B., Ladygin, V.M., Chistyakov, A.V. y Evseeva, K.A. 2002. The Oldest Volcanic Glass in the Early Paleoproterozoic Boninite-type Lavas Karelian Craton: Results of Instrumental Investigations. Doklady Earth Sciences 390: 389-393.
- Sharkov, E.V., Trubkin, N.V., Krassivskaya, E.S., Bogatikov, O.A., Mokhov, A.V., Chistyakov, A.V. y Evseeva, K.A. 2004. Structural and Compositional Characteristics of the Oldest Volcanic Glass in the Early Paleoproterozoic Boninite-Like Lavas of Southern Karelia. Petrology 12: 227-243.
- Tamrat, E. y Ernesto, M. 2006. Paleomagnetic constrains on the age of the Botucatu Formation in Rio Grande do Sul, southern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 78: 591-605.
- Tarling, D.H. y Hrouda, F. 1993. The Magnetic Anisotropy of Rocks. Chapman and Hall 217 p., Londres.
- Teixeira, W., Renne, P.R., Bossi, J., Campal, N. y D'Agrella Filho, M.S. 1999. Ar40-Ar39 and Rb-Sr geochronology of the Uruguayan dike swarm, Río de la Plata Craton and implications for Proterozoic intraplate activity in western Gondwana. Precambrian Research 93: 153-180.
- Torsvik, T. H., Briden, J. C. y Smethurst, M. A. 2000. Super-IAPD Interactive analysis of paleomagnetic data. www.geodynamics.no/software.htm.
- Torsvik, T.H., Müller, R.D., Van der Voo, R., Steinberger, B. y Gaina, C. 2008. Global Plate Motion Frames: Toward a Unified Model. Reviews of Geophysics 46: 1-44.

Recibido: 7 de julio, 2013

Aceptado: 3 de abril, 2014