



## FÁBRICA MAGNÉTICA DE LOS DIQUES PERMO-TRIÁSICOS DEL ÁREA DE LA ESPERANZA, MACIZO NORPATAGÓNICO, ARGENTINA.

Maximiliano R. Miguez<sup>1</sup>, Carmen I. Martínez Dopico<sup>2</sup>, Augusto E. Rapalini<sup>1</sup>,  
Mónica G. López de Luchi<sup>2</sup>, Tomas Luppo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> IGEBA Instituto de Geociencias Básicas y Aplicadas de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Universidad de Buenos Aires - CONICET, C1428EHA Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> INGEIS Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria, C1428EHA Buenos Aires, Argentina.

### RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares de un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en diques de composiciones ácidas y básicas que intrusionan a rocas del Complejo Plutónico La Esperanza (Provincia de Río Negro, Macizo Norpatagónico, Argentina), con el fin de entender su mecanismo de emplazamiento y posibles edades relativas. El mismo fue complementado con estudios de mineralogía magnética y petrografía. Se distinguen diversas facies composicionales y texturales en los diques. El portador magnético más destacado sería magnetita multi-dominio. Se observa una buena correlación entre la fábrica magnética y el rumbo de las estructuras, pudiéndose asignar esto a direcciones de flujo y ascenso magmático.

**Palabras Clave:** Fábrica magnética, ASM, Diques, Patagonia, Pérmico, Triásico, Sudamérica.

### ABSTRACT

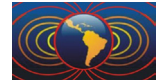
Preliminary results from anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) studies of acid and basic dikes intruding the La Esperanza Plutonic Complex (Rio Negro province, North Patagonian Massif, Argentina) are presented, with the purpose of understanding their emplacement mechanism and possible relative ages. These studies were complemented with magnetic mineralogy and petrographic analysis. Several types are distinguished, both compositional and textural. The most important magnetic carrier is interpreted to be multi-domain magnetite. A very good correlation is observed between the magnetic fabric of the dikes, and their attitudes, which is interpreted to reflect magmatic flow and emplacement kinematics.

**Keywords:** Magnetic fabric, AMS, Dikes, Patagonia, Permian, Triassic, South America.

### Introducción

El emplazamiento de cuerpos ígneos tabulares es un proceso complejo que depende de diversos factores, entre los que se destacan la composición y reología del flujo magmático, y el campo de esfuerzos regional. Estudios previos en enjambres de diques (Creixel *et al.* 2006, Rapalini, López de Luchi, 2000, entre otros) indican que la información sobre la fábrica magnética presente en las rocas, obtenida mediante la medición de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) puede contribuir al entendimiento acerca de la dinámica de emplazamiento de estos cuerpos.

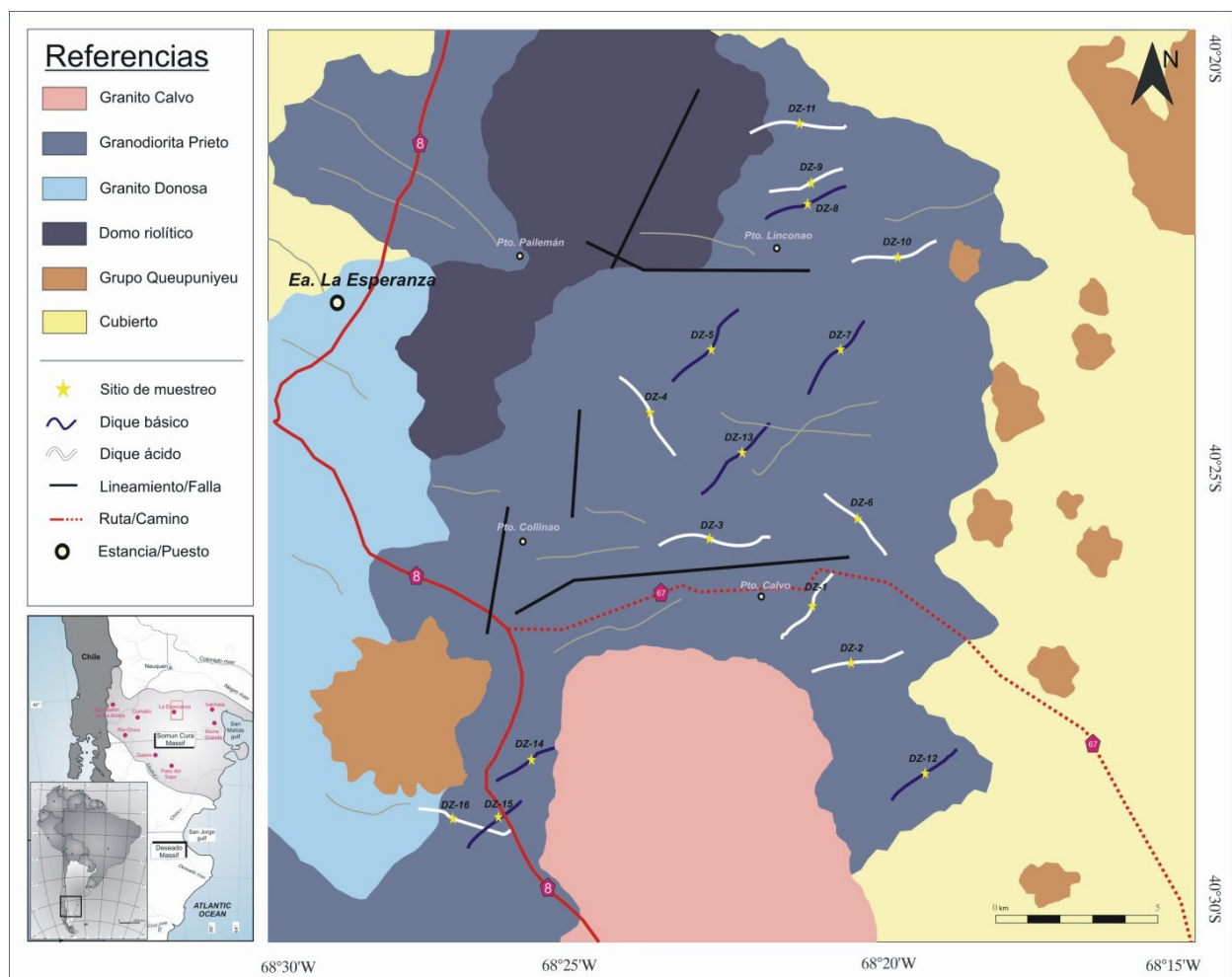
En el área de la Estancia La Esperanza (40° 24' 17.71" S; 68° 28' 50.12" W), provincia de Río Negro, Argentina, se distinguen una serie de unidades graníticas que forman parte del Batolito de Somuncurá, de edad Permo-Triásica (Rapela, Kay, 1988). Llambías y Rapela (1984) proponen una subdivisión en dos complejos eruptivos: Complejo plutónico La Esperanza, compuesto por la Granodiorita Prieto, Granito Giménez y Granito Donosa, y Complejo plutónico-volcánico Dos Lomas integrado por diques básicos,



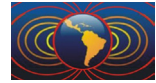
Ignimbrita riolítica Las Pampas, Domo Riolítico, Dacita Collinao, diques ácidos y Granito Calvo. Estos complejos representarían dos sub-ciclos dentro de un mismo ciclo eruptivo Neopaleozoico.

Esta zona es de particular interés ya que en ella afloran unidades que han sido datadas entre los 273 y los 250 Ma (Permo-Triásicas) por diversos autores como Pankhurst *et al.* (2006). Este es un período crítico en la evolución geodinámica del norte de la Patagonia (Pankhurst *et al.* 2006, Rapalini *et al.* 2010, Chernicoff *et al.* 2013).

El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados preliminares de un estudio de la petrografía y magnetofábrica de una serie de diques que, en el área de estudio, se emplazan en la Granodiorita Prieto (273 ± 2 Ma, U-Pb SHRIMP en zircón, Pankhurst *et al.* 2006) que representa el primer pulso intrusivo del Complejo Plutónico La Esperanza. Hacia el oeste de Estancia La Esperanza, estos diques intruyen también a otras unidades como la Dacita Collinao, y al Granito Donosa (265 ± 3 Ma, K-Ar en muscovita, Martínez Dopico, 2013) (fig. 1). Dentro del conjunto de diques, se observan dos tipos, con características petrográficas y magnéticas diferentes: aquellos de composición básica - intermedia, cuyos rumbos son predominantemente N40°E, y otros de composición ácida cuyos rumbos son predominantemente E-W. Los diques ácidos tienen espesores que oscilan entre 2 y 30 metros, mientras que los básicos no superan los 2 metros. Las corridas de estos cuerpos (en su mayor parte los ácidos) pueden llegar a ser de gran magnitud, alcanzando entre 2 y 8 kilómetros. El contacto entre los diques y sus respectivas cajas suele ser neto y muy bien definido, lo cual permitió su reconocimiento y seguimiento en el campo.



**Figura 1.** Mapa geológico. Unidades aflorantes y sitios de muestreo. En la esquina inferior izquierda se observa en detalle la ubicación de la zona estudiada.



Los diques ácidos varían entre granitos aplíticos y riolitas. Se distinguen al menos tres facies: granitos leucocráticos aplíticos, riolitas porfíricas a glomeroporfíricas de grano fino a grueso, y riolitas bandeadas. La facies de riolitas porfíricas contiene fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino inmersos en una matriz afanítica de composición semejante en la que, a ojo desnudo, se reconocen variaciones en la coloración en tonos rojizos y morados. Hay escasa o nula presencia de minerales máficos, y se reconocen cantidades accesorias de sericita. En cuanto a las riolitas bandeadas, su textura es afírica y el bandeamiento se evidencia por un cambio de coloración en tonos anarajandos en la matriz.

Los diques básicos son de color negro a gris, en su mayoría afaníticos, aunque se observan variedades porfíricas con mayor desarrollo de clinoanfíbol. La mayoría los sitios están compuestos por abundante hornblenda euhedral y plagioclasa, a excepción de los sitios DZ15 y DZ8, en los cuales solo se observa plagioclasa como mineral principal. En menor medida se observan minerales opacos (magnetita y otros óxidos). En general se evidencia una intensa alteración a clorita ocupando espacios intersticiales, epidota y/o carbonatos.

### Metodología

Se realizó un muestreo para el estudio de ASM y paleomagnetismo en 16 sitios, de los cuales se extrajeron entre 8 y 17 testigos cilíndricos de roca. Para esto se empleó una perforadora Stihl de motor a explosión. El área muestreada en cada sitio tiene una superficie mayor a 10 m<sup>2</sup> lo cual permite afirmar que se descartan los efectos de inhomogeneidades locales de las rocas. Los testigos fueron ubicados utilizando un dispositivo GPS y su orientación se realizó empleando brújula solar y brújula magnética.

La estrategia de perforación consistió en tomar muestras en los sectores de borde de los diques, a diferentes distancias del contacto con la roca encajonante, y sobre el centro de los mismos. Esto se realizó con la intención de poder establecer correlaciones entre la foliación magnética observada y el sector del dique. En los sitios DZ 14, 13, 12, 8 y 6 se muestreó conjuntamente la caja (Granodiorita Prieto).

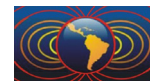
Los testigos obtenidos fueron rebanados con una sierra, obteniéndose así entre 2 y 3 especímenes por testigo, de 25.4 mm de diámetro y 22 mm de longitud cada uno. Se seleccionaron ciertos especímenes para ser molidos con un mortero de ágata. Las mediciones de la anisotropía de susceptibilidad magnética, y variación de susceptibilidad con la temperatura fueron realizadas empleando un equipo *Kappabridge MKF-1B* de la marca AGICO y los datos tensoriales y magnitudes asociadas fueron procesados empleando el software *ANISOFT 4.2*. Todo este equipamiento fue provisto por el Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel A. Valencio, perteneciente al Instituto de Geociencias Básicas y Aplicadas de Buenos Aires (IGEBA).

### Resultados y análisis

Se observan diferencias sustanciales de susceptibilidad media (K2) entre los diques de composición ácida y los de composición básica (Tabla 1). Estos últimos presentan valores más altos, que alcanzan los  $2.74 \times 10^{-2}$  SI, mientras que la K2 para los diques ácidos en ningún sitio supera los  $4 \times 10^{-4}$  SI. Al mismo tiempo se observan diques que presentan valores intermedios de susceptibilidad, entre  $4 \times 10^{-4}$  y  $8.8 \times 10^{-4}$  SI. En función a estos datos, se puede considerar entonces que los diques con K2 superior a  $5 \times 10^{-3}$  SI (DZ-8, 12, 13, 15) serían ferromagnéticos mientras que el resto de la colección de diques muestreados serían paramagnéticos (fig. 2).

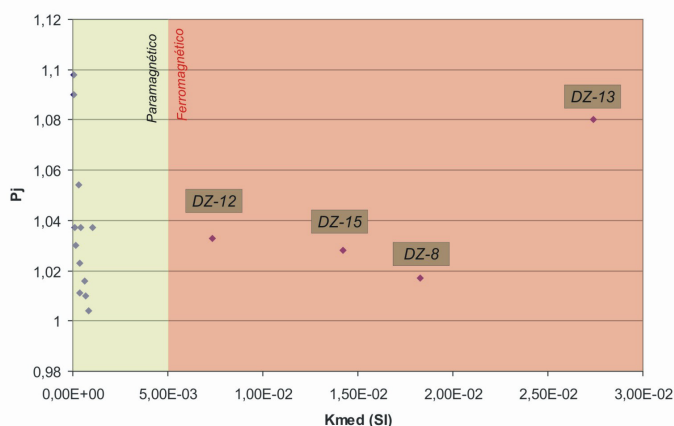
En la mayoría de los casos se observa una fábrica donde el eje mayor (K1) se encuentra totalmente vertical. Esta disposición es más marcada aún en los diques ácidos (DZ-1, 2, 3, 4, 11, 16) donde se encuentran inclinaciones que superan ampliamente los 70°. Los ejes K2 y K3 en general son similares y están frecuentemente intercambiados formando elipsoides prolados y oblatos (Tabla 1).

Se encuentra una relación estrecha entre el rumbo de la estructura y los ejes principales de susceptibilidad (fig. 3). Esta característica se presenta en los sitios DZ-2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, tanto ácidos como básicos.



Sitio	n	K media (SI)	Parámetros AMS				Vectores principales												Facies
			L	F	Pj	T	Kmax (K1)				Kmed (K2)				Kmin (K3)				
							Dec	Inc	á95x	á95y	Dec	Inc	á95x	á95y	Dec	Inc	á95x	á95y	
DZ1	11	5,61E-05	1,043	1,053	1,098	0,101	318,6	73,4	8,3	3,4	144,8	16,5	34,7	3,9	54,3	1,7	35,1	3,5	RB
DZ2	10	1,42E-04	1,017	1,019	1,037	0,054	298,1	75,2	9,1	5,9	74,9	10,9	21,8	7,5	166,8	9,9	21,9	7,5	RFG
DZ3	12	5,77E-05	1,031	1,056	1,09	0,28	321,3	74	10,7	4,1	221,9	2,7	32	5,7	131,2	15,8	31,4	6,1	RFG
DZ4	10	3,61E-04	1,016	1,005	1,023	-0,496	149,5	79,2	27,9	12,3	246,4	1,3	47	17,7	336,6	10,7	44,7	11	A
DZ5	11	6,05E-04	1,007	1,009	1,016	0,14	64,2	40,4	14,5	5,6	215,4	45,8	15,1	5,2	321,2	14,8	10,4	5,7	BP
DZ6	10	3,50E-04	1,006	1,005	1,011	-0,075	28,4	5,9	40,1	11,6	158	80,8	45,1	20,7	297,7	7	38,5	10,6	RFG
DZ7	15	8,54E-04	1,003	1,001	1,004	-0,56	269,2	84,4	47,5	17,7	40,1	3,7	58,7	39,5	130,4	4,2	56,1	17,4	BA
DZ8	16	1,83E-02	1,001	1,014	1,017	0,806	254,6	34,8	29,4	2,4	136,7	34	29,4	2,7	16,2	37	4	2,8	BP
DZ9	11	3,91E-04	1,015	1,022	1,037	0,183	203,7	3,8	9,7	5	296,4	35,7	19,4	6,5	108,5	54	19	3,6	RFG
DZ10	13	8,20E-05	1,005	1,029	1,037	0,699	116,4	43,8	37,4	6,4	249,9	35,7	37,3	9,8	359,6	25,1	10,5	5,9	RB
DZ11	11	1,37E-04	1,016	1,014	1,03	-0,041	337,7	77,5	19,7	14,2	87,5	4,3	42	14,5	178,4	11,7	40,9	14,1	RFG
DZ12	8	7,35E-03	1,014	1,019	1,033	0,153	278,1	46,6	15,9	3,2	45,1	29,6	30,1	9,3	153,1	28,5	30,7	9,7	BA
DZ13	11	2,74E-02	1,019	1,057	1,08	0,498	341,6	20,6	9,4	7,2	234,6	37,9	8,4	2,8	93,6	44,9	8,5	3	BA
DZ14	12	6,71E-04	1,002	1,008	1,01	0,558	268,3	78,7	24	9,8	12,1	2,7	23,9	18,3	102,6	11	19,2	8,2	BP
DZ15	15	1,42E-02	1,017	1,011	1,028	-0,223	49,7	48,4	12	6,2	310,5	8,1	28,2	6,8	213,5	40,4	27	6,9	BP
DZ16	9	3,09E-04	1,032	1,02	1,054	-0,224	159,8	79,9	22,7	4,7	296,6	7,4	43,8	20,3	27,5	6,8	43,2	4,8	RFG

**Tabla 1.** Mediciones de AMS, donde n representa el número de especímenes, K media:  $K_m = (K_1 + K_2 + K_3)/3$  es la susceptibilidad media en unidades SI, L y F son la lineación y foliación magnéticas, Pj es el grado de anisotropía ( $K_1 / K_2$ ),  $T = [2 \ln (K_2 / K_3) / \ln (K_1 / K_2)] - 1$  es el parámetro de forma (Jelinek, 1981), Dec, Inc a95x, a95y son datos estadísticos de declinación e inclinación media por sitio. Abreviaciones de las facies: RB- Riolítica bandeada, RFG- Riolítica de grano fino a grueso, A- Aplítica, BP- Básica porfírica, BA- Básica africa.



**Figura 2.** Susceptibilidad media (K2) versus grado de anisotropía (Pj) para los sitios muestreados.

También aparecen posibles fábricas inversas en sitios ácidos y básicos (DZ-13, 6). Actualmente se están realizando estudios de microscopía de reflexión en conjunto con ensayos de mineralogía magnética (curvas termomagnéticas de altas y bajas temperaturas) para conocer con más detalle la naturaleza de los portadores magnéticos e interpretar este fenómeno. Las primeras curvas termomagnéticas de bajas temperaturas confeccionadas en diques básicos (fig. 4) muestran la presencia de una abrupta disminución de la susceptibilidad a partir de los  $-150^{\circ}C$ , efecto conocido como transición de Verwey (Worm, 1998), lo cual es indicador de la presencia de magnetita multidominio.

### Discusión

Los datos de fábrica magnética, petrográficos y de campo obtenidos indican que los diques presentes en la zona estudiada pueden dividirse según su comportamiento magnético en ferromagnéticos y paramagnéticos. Esta distinción presenta una correlación con las evidencias mineralógicas estudiadas tanto por microscopía como por variación de la susceptibilidad con la temperatura. Experimentos de variación de la susceptibilidad a altas temperaturas y técnicas de desmagnetización por campos alternos (AF) se están desarrollando para complementar este estudio.

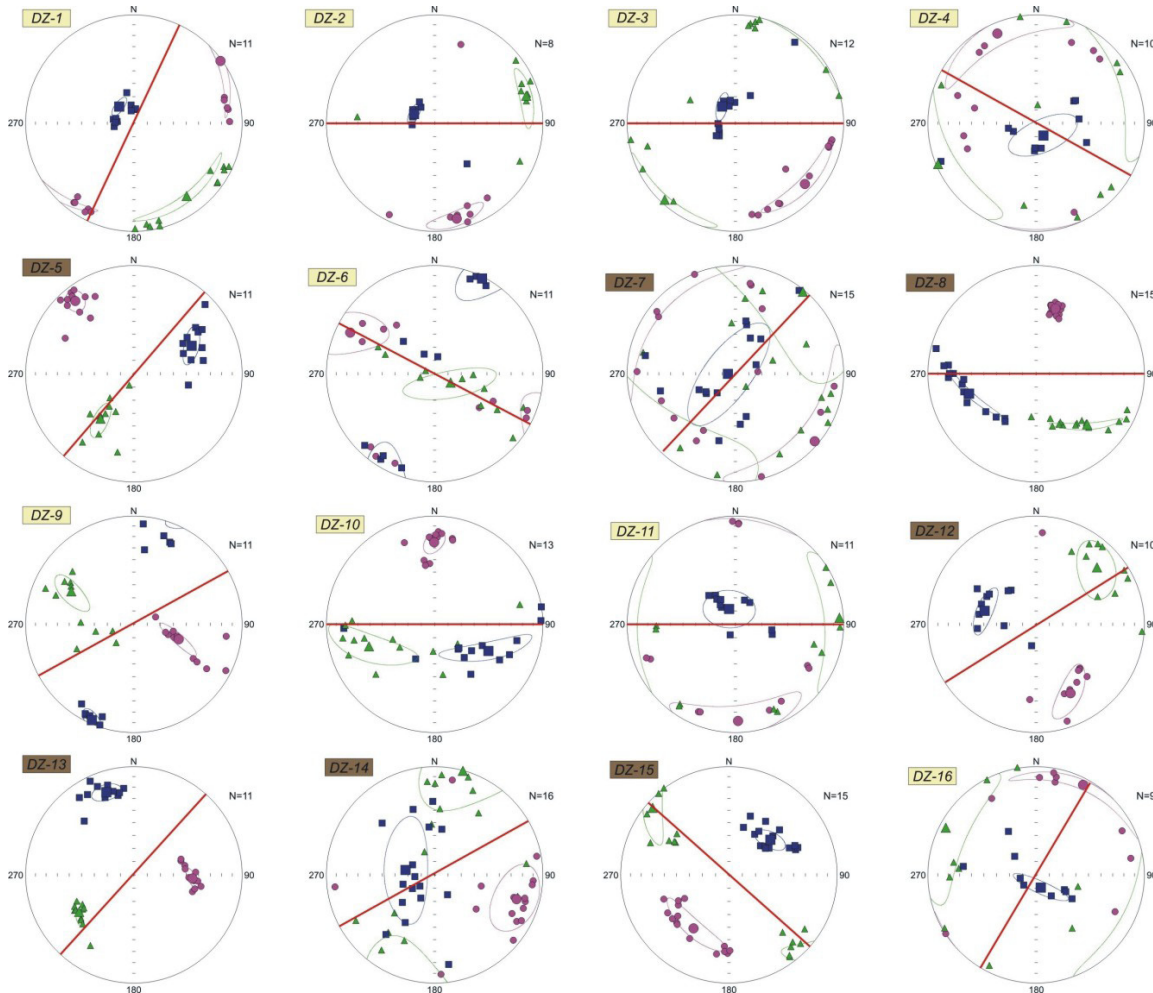
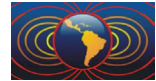


Figura 3. Elipsoide de susceptibilidades en proyección estereográfica equiareal. La línea roja corresponde al rumbo de la estructura. En color claro se indican los diques ácidos y en oscuro los básicos.

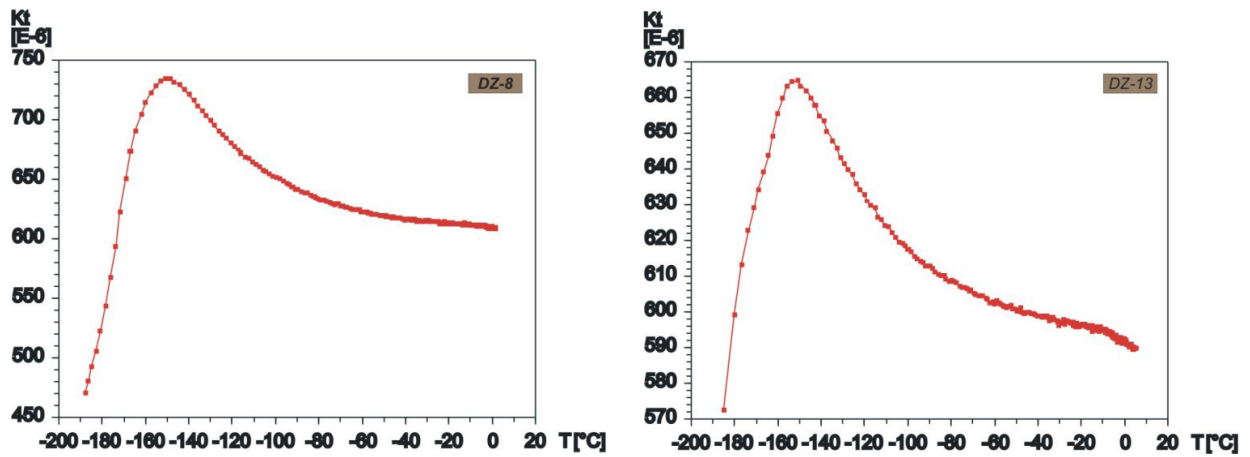


Figura 4. Curvas termomagnéticas de bajas temperaturas para los sitios DZ-8 y DZ-13 (básicos). La transición de Verwey se observa en torno a los  $-150^{\circ}\text{C}$  (120K).



El predominio de planos de foliación magnética verticales, y la buena relación observada entre esta y el rumbo de los diques relevados demuestra que las anisotropías de susceptibilidad magnética analizadas reflejan claramente las condiciones de emplazamiento de estos cuerpos. Se propone un modelo en el cual la fábrica indica el ascenso magmático y su dirección de flujo. El portador magnético principal para los diques básicos se trataría de magnetita dominio múltiple, mientras que en los diques ácidos esta se encontraría total o parcialmente ausente. El hecho de que la magnetita sea multidominio permite afirmar que las fábricas magnéticas son normales lo cual es un dato imprescindible para su interpretación.

### Agradecimientos

Este estudio forma parte de la Tesis de Licenciatura del primer autor, y es amparado por la Universidad de Buenos Aires y del proyecto UBACyT PICT (2011-2014) 100597. Se agradece a los colegas del Laboratorio de Paleomagnetismo "Daniel A. Valencio" e INGEIS por su continuo apoyo y asistencia.

### Referencias

- Chernicoff, C. J., Zappettini, E. O., Santos, J., McNaughton, N. J., Belousova, E., 2013. Combined U-Pb SHRIMP and Hf isotope study of the Late Paleozoic Yaminué Complex, Rio Negro Province, Argentina: Implications for the origin and evolution of the Patagonia composite terrane, *Geoscience frontiers*, 4, 37-56.
- Creixell, C., Parada, M. A., Morata, D., Roperch, P., Arriagada, C., Pérez de Arce, C., 2006. Syntectonic emplacement of the Middle Jurassic Concón Mafic Dike Swarm, Coastal Range, central Chile (33° S), *Tectonophysics*, 425, 101-122.
- Jelinek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks, *Tectonophysics*, 79, 63-67.
- Llambías, E. J., Rapela, C.W., 1984. Geología de los complejos eruptivos de La Esperanza, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39, 220-243.
- Martínez Dopico, C., 2013. Geología, petrogénesis y condiciones de emplazamiento de los granitoides permo-triásicos del área de La Esperanza, Macizo Norpatagónico: Inferencias sobre la construcción del borde SO del Gondwana. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina, Buenos Aires, 530.
- Pankhurst, R. J., Rapela, C. W., Fanning, C. M., Márquez, M., 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia, *Earth-Sci. Rev.*, 76, 235-257.
- Rapalini, A. E., López de Luchi, M., Martínez Dopico, C., Lince Klinger, L., Giménez, M., Martínez, P., 2010. Did Patagonia collide with Gondwana in the Late Paleozoic? Some insights from a multidisciplinary study of magmatic units of the North Patagonian Massif, *Geológica Acta*, 8, 349-371.
- Rapalini, A. E., López de Luchi, M., 2000. Paleomagnetism and magnetic fabric of Middle Jurassic dykes from Western Patagonia, Argentina, *Phys. Earth Planet. Int.*, 120, 11-27.
- Rapela, C. W., Kay, S. M., 1988. Late Paleozoic to recent Magmatic evolution of Northern Patagonia, *Episodes*, 11, 175-182.
- Worm, U. H., 1997. On the superparamagnetic-stable single domain transition for magnetite, and frequency dependence of susceptibility, *Geophys. J. Int.*, 133, 201-206.