

# RESTRICCIÓN PALEOMAGNÉTICA PARA LA EDAD DE LA FORMACIÓN MATASIETE

Mabel MENA

CONICET- INGEODAV, Departamento de Ciencias Geológicas, FCEyN, Universidad de Buenos Aire. Email: mena@gl.fcen.uba.ar

## RESUMEN

Se presentan los resultados de un estudio paleomagnético de la Formación Matasiete, integrante del Grupo Chubut. Se analizó la estabilidad de las remanencias magnéticas empleando desmagnetización por altas temperaturas y por campos alternos. Estas rocas presentan susceptibilidades magnéticas relativamente altas. Los especímenes estudiados portan componentes viscosas blandas y de bajas temperaturas de desbloqueo cuyas direcciones son estadísticamente coincidentes entre sí y con la dirección que corresponde a un campo dipolar axial y geocéntrico para esa localidad. La remanencia prácticamente desaparece al alcanzar 580°C indicando que la magnetita es el principal portador magnético. En todos los casos se aislaron componentes características con desviaciones angulares máximas <5°. Si bien las pruebas de estructura (*fold/tilt tests*) resultan indeterminadas dada las actitudes similares de los estratos, el aumento de la concentración de las direcciones de magnetizaciones remanentes características al aplicar la corrección por estructura sugiere que estas remanencias son pretectónicas. A partir de las magnetizaciones se calcularon los polos geomagnéticos virtuales, todos ellos de polaridad normal, y el polo paleomagnético (PP) para la Formación Matasiete (84.7°S, 161.2°E, número de muestras n=34, k=17.51, A<sub>95</sub>=6.1). La ubicación de este PP es equivalente a las de los PP de las Formaciones Cerro Barcino (112-125 Ma) y Los Adobes (112-130 Ma), aflorantes en Patagonia Central. Esta coincidencia en ubicación apoya la edad hauteriviana?-barremiana-aptiana, asignada en trabajos previos a la Formación Matasiete, sobre la base de asociaciones fosilíferas. Sin embargo la polaridad normal de todos los polos geomagnéticos virtuales sugiere que estas rocas se formaron durante el supercron cretácico normal por lo que se propone una edad aptiana para la Formación Matasiete.

Palabras clave: *Paleomagnetismo, Formación. Matasiete, Supercron cretácico normal, Aptiano.*

**ABSTRACT:** *Paleomagnetic constrain for the age of the Matasiete Formation.* The results of a paleomagnetic study performed over the Matasiete Formation, belonging to the Chubut Group, are presented. Alternating field and thermal demagnetization techniques were employed to analyze the stability of the magnetic remanence. The studied specimens have relatively high magnetic susceptibilities. They have soft viscous and low unblocking temperature components. These components are statistically coincident with each other and with the geocentric axial dipole field direction for the locality. The magnetic remanences were removed below 580°C, indicating that magnetite is the main remanence carrier. Characteristic remanent magnetization directions were determined by principal component analysis with a maximum angular deviation smaller than 5°. Given the similar attitudes of the strata, the fold-tests are indeterminate. When the structural correction is applied, the concentration of characteristic remanent magnetization directions increases. That increase suggests that these remanences are pre-tectonic. All virtual geomagnetic poles corresponding to the remanent magnetizations have a normal polarity. The paleomagnetic pole calculated in this study for the Matasiete Formation is located at 84.7°S, 161.2°E (n=34, k=17.51, A<sub>95</sub>=6.1). That position is statistically equivalent to those of the PPs from Cerro Barcino Formation (112-125 Ma) and Los Adobes Formation (112-130 Ma), outcropping at Central Patagonia. The coincidence of these paleomagnetic poles supports the Hauterivian?-Barremian-Aptian age assigned to the Matasiete Formation on the base of different fossiliferous associations. As the normal polarity of all virtual geomagnetic poles suggests that these rocks were deposited during the Cretaceous normal superchron, an Aptian age is proposed for the Matasiete Formation.

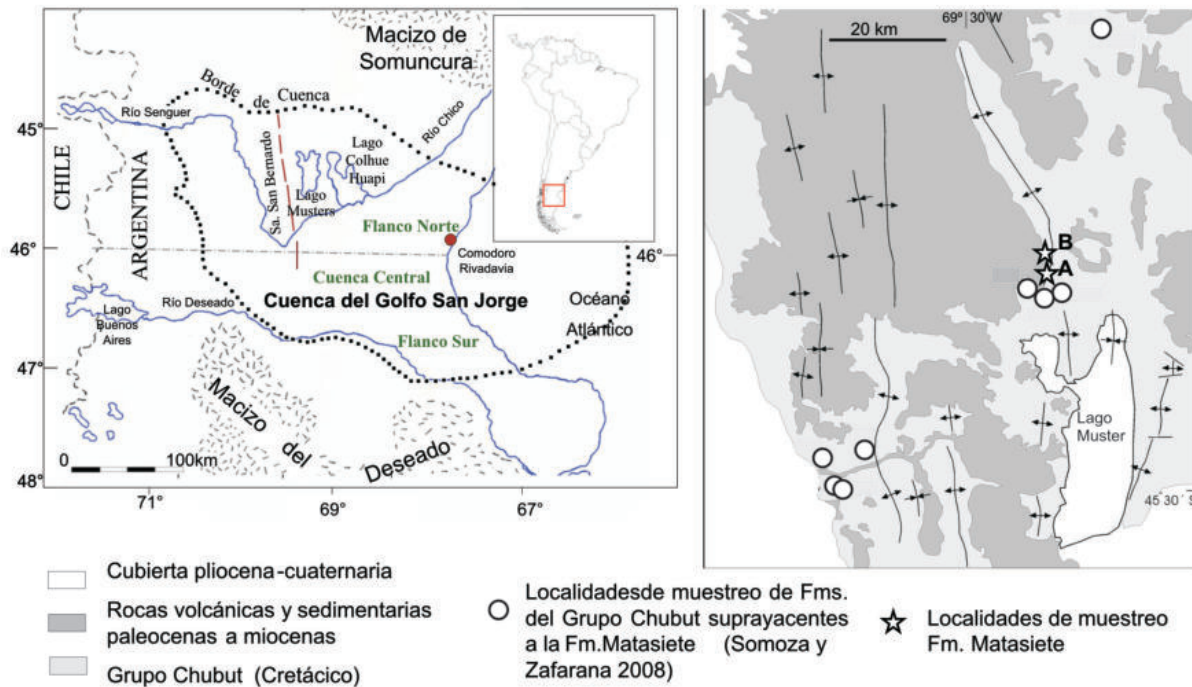
Keywords: *Paleomagnetism, Matasiete Formation, Cretaceous normal superchron, Aptian.*

## INTRODUCCIÓN

La Formación Matasiete, junto con las formaciones Pozo D-129 y Castillo, integra las tres secuencias deposicionales inferiores del Grupo Chubut, depositadas en la cuenca del Golfo San Jorge. Estas se-

cuencias se desarrollaron en un ambiente fluvial y lacustre con ciclos transgresivos y regresivos atribuibles a cambios en la extensión del lago, provocados climática y/o tectónicamente (Hechem *et al.* 1990). Las tres unidades afloran en la faja plegada de San Bernardo.

Los aspectos litoestratigráficos y ambientales de la Formación Matasiete se encuentran detallados en Paredes *et al.* (2007). La misma ha sido considerada de edad hauteriviana?-barremiana-aptiana sobre la base de diferentes asociaciones fosilíferas (Fitzgerald *et al.* 1990). En el cañadón



**Figura 1:** Mapa de ubicación de la zona de estudio y esquema geológico (modificado de Paredes *et al.* 2007). Se marcan con estrellas la ubicación de los perfiles A y B de donde se extrajeron las muestras orientadas de la Formación Matasiete y con círculos los sitios de muestreo de unidades del Grupo Chubut, suprayacentes a la formación, estudiadas en Somoza y Saffarana (2008).

Matasiete, ubicado al norte del lago Muster, (Fig.1) esta formación aflora como una potente secuencia de unos 650 m de espesor, en la que se han reconocido techo y base. La unidad suprayacente es la Formación Castillo, la cual apoya en forma concordante. Se ha sugerido una edad albiana a cenomaniana para esta última formación (Paredes *et al.* 2007). Somoza y Zaffarana (2008) realizaron un estudio paleomagnético de las unidades suprayacentes a la Formación Matasiete (Fig.1). Por otra parte, sobre la base de estudios de subsuelo, se ha sugerido que el paso de las unidades albianas (Formación Pozo D-129) a las aptianas (Formación Mina del Carmen) se desarrolló en forma gradual (Fitzgerald *et al.* 1990). En este trabajo se presentan los resultados de un estudio paleomagnético de la Formación Matasiete realizado en diecisiete sitios ubicados en afloramientos del cañadón homónimo.

### Muestreo

El muestreo paleomagnético se realizó en

17 sitios. Los sitios MT1 a MT11 se establecieron en afloramientos ubicados en un perfil paralelo al camino, unos 300 m al norte del puesto Matasiete, en coordenadas 45°8.3776' S, 69°17.952' W (perfil A, Fig.1). Los sitios MT13 a MT18 se establecieron en un afloramiento ubicado en una pequeña quebrada perpendicular al camino, unos 300 m al sur del Puesto Matasiete, en coordenadas 45°9,032' S, 69°17,952' W (perfil B, Fig.1). En cada sitio se extrajeron muestras cilíndricas de 2,54 cm de diámetro mediante una perforadora manual. Estos cilindros se orientaron respecto del norte y del plano horizontal mediante brújula solar y brújula magnética Brunton. En laboratorio, de cada cilindro se cortaron especímenes de 2,2 cm de altura.

El perfil A comienza con areniscas conglomerádicas con moldes de troncos, de colores castaños rojizos. Sobre estos niveles se ubican areniscas tobáceas medias con estratificación entrecruzada y sobre ellas areniscas tobáceas más finas con estratificación paralela. La serie de sitios va

de MT1, ubicado en el techo, a MT11 ubicado en la base de la secuencia aflorante. Los sitios MT11, MT10 y MT8 corresponden a bancos de areniscas finas de colores gris verdoso claro. MT7 y MT9 corresponden a bancos de areniscas medias de colores similares a las anteriores. MT5 y MT6 se ubicaron en bancos de areniscas muy finas de colores castaños muy claro. MT4 corresponde a una limolita tobácea de color gris blanquecino. MT3 se ubicó sobre un banco de arenisca media a gruesa de color castaño verdoso claro. MT2 corresponde a una limoarcilita tobácea de color gris verdoso muy claro y MT1 a una arenisca de grano fino de color gris castaño muy claro.

Toda la secuencia se presenta inclinando alrededor de 30° hacia el oeste. A efectos de corregir por estructuras las direcciones de remanencia, restaurando el plano de estratificación al plano horizontal original, se hicieron mediciones precisas de rumbo y buzamiento de los estratos (regla de mano derecha; Cuadro 1). En el perfil B afloran limolitas (MT13) y

**CUADRO 1:** Rumbo y buzamiento de los estratos donde se extrajeron las muestras

estratos	rumbo	buzamiento
MT1 a MT5	180°	31°
MT6 a MT10	180°	28°
MT11	182°	33°
MT13 a MT18	163°	29°

limoarcilitas tobáceas (MT14 a MT18) con laminación horizontal y colores gris verdosos muy claros.

En general los granos se hallan cementados por óxidos de hierro, ceolitas, calcita y cloritas. Esto hace que toda la secuencia presente coloraciones verdosas debido a la alteración clorítica y tonos castaños debido a la presencia local de abundantes óxidos de hierro.

## ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO

### Susceptibilidad magnética

Para este estudio preliminar se analizaron dos especímenes de cada sitio. A todos ellos se les midió su susceptibilidad magnética a baja y a alta frecuencia (470 Hz y 4700 Hz respectivamente) empleando un susceptibilímetro Bartington MS2 dual. Con el objeto de expresar las susceptibilidades en unidades másicas ( $X$ ) se determinó el peso de cada espécimen con una precisión de 5 mg.

Por otra parte se calcularon los valores del factor de dependencia de la susceptibilidad respecto de la frecuencia. Este factor relaciona los valores de susceptibilidad obtenidos aplicando dos frecuencias que difieren en un factor de 10 y se expresa como la diferencia porcentual entre las susceptibilidades a baja y alta frecuencia respecto a la susceptibilidad a baja frecuencia según:  $FDF = 100(X_{4700\text{Hz}} - X_{470\text{Hz}}) / X_{470\text{Hz}}$ . Los valores de susceptibilidad respecto de la frecuencia mayores que cero, especialmente cuando superan 10 %, sugieren la presencia de granos de magnetita con tamaños menores a los 30 nm, es decir granos con comportamiento superparamagnético (Maher y Taylor 1988, Maher y Thompson 1991).

Las rocas estudiadas presentan suscepti-

**CUADRO 2:** Valores de susceptibilidad másica  $X^*$ 

Perfil	sitio	espé- cimen	$X$ (af) .10 <sup>-7</sup> m <sup>3</sup> /kg	$X$ (bf) .10 <sup>-7</sup> m <sup>3</sup> /kg	FDF %	D MRN	I MRN	$J_0$ 10 <sup>-5</sup> Am <sup>2</sup> /kg	$J_0/X$ A/m
A	1	A	4,21	4,31	2,31	312,6	-50,0	1,21	28,14
		B	4,29	4,46	3,80	313,4	-42,3	1,27	28,47
	2	A	1,93	1,95	1,38	320,5	-59,7	0,27	14,03
		B	34,23	34,48	0,74	1,4	-52,6	4,01	11,64
	3	A	2,25	2,28	1,21	343,6	-52,9	0,67	29,44
		B	6,39	6,42	0,51	340,4	-67,0	2,00	31,11
	4	A	16,45	16,56	0,69	325,6	-49,0	2,23	13,45
		B	16,09	16,18	0,54	319,8	-47,9	1,99	12,32
	5	A	11,19	11,29	0,86	358,0	-57,3	1,83	16,23
		B	11,35	11,46	0,97	355,0	-59,7	2,02	17,60
	6	A	1,01	1,01	0,00	352,0	-61,6	0,10	10,05
		B	1,10	1,12	1,63	346,4	-59,1	0,10	8,88
	7	A	25,70	27,84	7,69	345,8	-12,6	38,01	136,51
		B	65,99	67,60	2,38	326,1	-25,9	14,64	37,73
	8	A	10,26	11,03	6,95	13,6	-60,6	12,53	113,61
		B	38,91	41,84	6,99	13,3	-47,3	15,09	36,08
	9	A	40,27	39,43	0,00	323,6	-59,8	8,16	20,68
		B	38,21	38,43	0,59	321,4	-54,0	8,38	21,80
10	A	5,81	7,16	18,93	332,5	-58,3	16,84	235,07	
	B	26,90	27,51	2,21	339,7	-54,7	17,63	64,09	
11	A	12,67	12,86	1,49	9,9	-57,3	3,24	25,22	
	B	29,73	29,84	0,38	7,6	-51,3	6,50	21,77	
B	13	A	4,92	5,05	2,45	320,1	-63,2	1,48	29,39
		B	4,64	4,79	3,15	328,2	-62,0	1,41	29,35
14	A	2,55	2,04	2,50	326,7	-53,6	0,93	45,79	
	B	2,68	2,88	6,89	339,1	-53,0	0,99	34,33	
15	A	1,00	1,04	4,46	324,5	-49,0	0,40	37,90	
	B	1,21	1,28	5,31	333,3	-50,2	0,38	29,55	
16	A	1,07	1,13	5,71	344,6	-57,5	0,41	36,57	
	B	0,99	1,06	6,19	346,7	-61,2	0,42	39,52	
17	A	0,99	1,08	8,92	333,5	-58,3	0,43	40,00	
	B	1,13	1,21	7,00	337,1	-64,2	0,50	41,36	
18	A	1,07	1,16	7,63	335,8	-56,8	0,53	45,25	
	B	1,12	1,21	7,35	326,0	-56,6	0,56	46,16	

\*) medidos a alta frecuencia (af) y a baja frecuencia (bf); factor de dependencia de la frecuencia (FDF %); Declinación (D), inclinación (I), e intensidad ( $J_0$ ) de la magnetización remanente natural (MRN) portada por los especímenes de la Formación Matasiete y relación entre la intensidad de la remanencia y la susceptibilidad másica ( $X$ ). Perfil A: sitios MT1 a 11; perfil B sitios MT13 a MT18.

bilidades relativamente altas (Cuadro 2). Esto ocurre en especial en especímenes correspondientes a las mayores granulometrías y de colores castaños, típicos de la presencia de abundante óxidos de Fe. En general las susceptibilidades másicas ( $X$ ) del perfil A resultan algo mayores que las del perfil B. Los valores mayores de susceptibilidad con respecto a la frecuencia, indicativos de mayor contenido de minerales magnéticos con tamaños muy finos (comportamiento superparamagnético), se encuentran asociados a las

granulometrías más finas o a la presencia de paleosuelos. En los casos de presencia de paleosuelos, la alta susceptibilidad puede atribuirse a la presencia de altos contenidos de minerales magnéticos. El perfil B, de granulometría más fina, en general presenta mayores valores de susceptibilidad respecto de la frecuencia, indicativos de una presencia más importante de minerales magnéticos de tamaños con comportamiento superparamagnético (Cuadro 2). También son relativamente altos los valores de susceptibilidad respecto de la

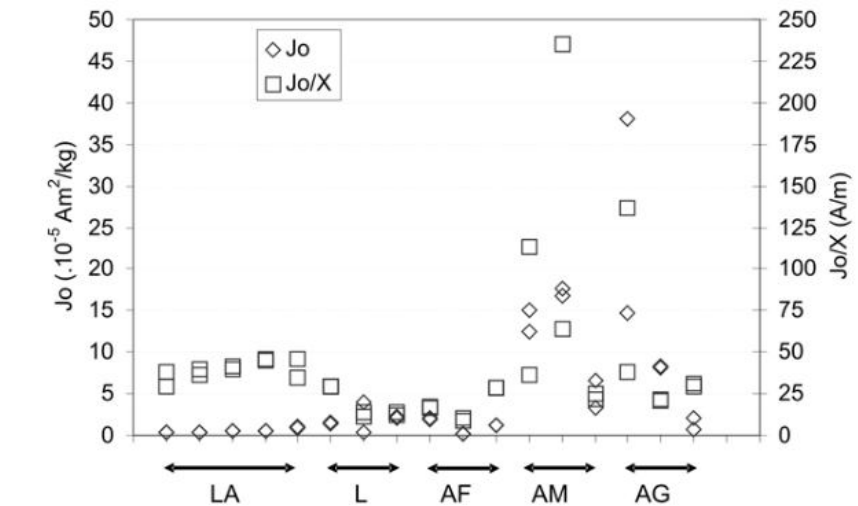
frecuencia de dos areniscas medias a gruesas (sitios MT7 y MT8). El valor más alto de susceptibilidad y relativamente apartado del conjunto, corresponde a uno de los especímenes del sitio MT10, ubicado en un banco de arenisca gruesa. La disparidad de valores de susceptibilidad respecto a la frecuencia y  $X$  entre los dos especímenes del sitio MT10 podría atribuirse a la presencia de pequeñas zonas con marcadas diferencias en concentración y tamaños de los minerales magnéticos en estas areniscas.

### Magnetización remanente natural

Se midió la magnetización remanente natural portada por cada espécimen empleando un magnetómetro criogénico 2G *Enterprise*. Los valores de declinación ( $D$ ), inclinación ( $I$ ) y de intensidad de la magnetización remanente ( $J_0$ ) obtenidos se presentan en el cuadro 2.

La distribución de intensidades de magnetización remanente natural de ambos perfiles es diferente. El perfil B presenta intensidades de valores similares y bajas respecto al conjunto de mediciones. Por el contrario, el perfil A muestra gran dispersión de valores (Cuadro 2). Pero si se agrupan los especímenes según su litología (Fig. 2) aparecen ciertas coincidencias: las granulometrías más finas presentan remanencias con menores intensidades mientras que las areniscas medias a gruesas presentan valores mayores y más dispersos. La relación entre intensidad de magnetización y susceptibilidad de ambos perfiles muestra las mismas diferencias. Mientras los sitios del perfil B, todos de parecida litología, presentan valores similares, los del perfil A, de granulometría más variada, presentan valores que parecen depender de su tamaño de grano (Fig. 2).

Mientras que la  $X$  depende de todos los minerales presentes y su abundancia relativa, la intensidad de la magnetización remanente depende de los minerales ferromagnéticos presentes, su abundancia relativa y su tamaño de grano. Por ejemplo las partículas magnéticas ultrafinas con tamaño comportamiento superparamag-



**Figura 2:** Intensidad de la magnetización remanente natural ( $J_0$ ) y relación entre  $J_0$  y susceptibilidad másica ( $X$ ) de los especímenes de la Formación Matasiete, agrupados por granulometrías. LA= limoarcilita, L= limolita, AF= arenisca fina, AM= arenisca media, AG= arenisca gruesa.

nético (típicamente  $<0.03 \mu\text{m}$  diámetro para magnetita) no presentan remanencia a temperatura ambiente aunque tengan un valor considerable de susceptibilidad (Maher y Thompson 1991). Esto puede explicarse porque en ellas la energía térmica domina sobre la magnética. Por el contrario, en partículas algo mayores con tamaños con comportamiento de dominio simple (SD, diámetros  $\approx 0.1 \mu\text{m}$  para magnetita y hasta  $15 \mu\text{m}$  para hematina; Dunlop y Özdemir 1997), la intensidad de remanencia es alta. Por encima de estos tamaños, al aumentar el diámetro de las partículas la intensidad de la remanencia decrece, siendo más baja para dominios pseudosimples (PSD) que para SD y mucho más débil para partículas multidominio (MD).

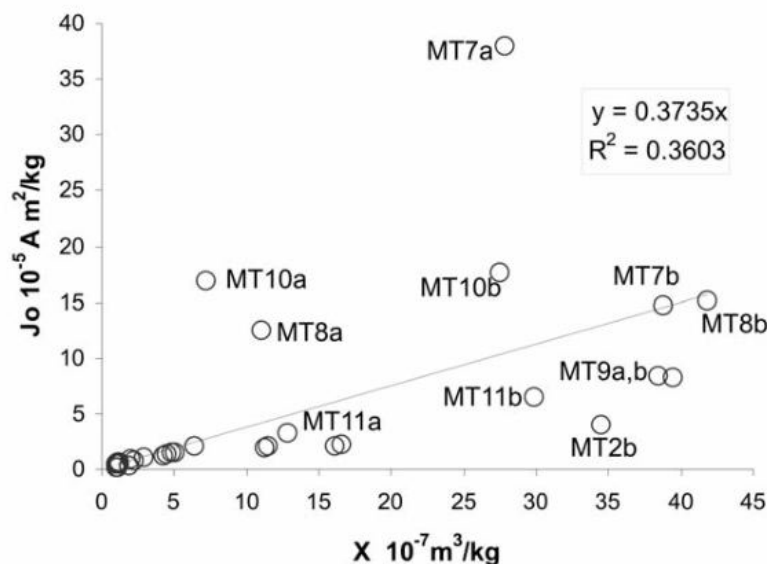
De lo anteriormente expuesto surge que, mientras las medidas individuales de magnetización o susceptibilidad solo reflejan concentración de minerales magnéticos, la relación entre intensidad de remanencia y susceptibilidad permite hacer inferencias sobre el tamaño de las partículas magnéticas presentes.

Teóricamente sería esperable que muestras con igual mineralogía y granulometría magnética, pero con distinta concentración de estos minerales, sometidas todas

al mismo campo magnético, tengan valores de  $J_0$  y  $X$  que se ajusten a una relación lineal. En la figura 3 se grafica la relación entre  $J_0$  y  $X$ , y la recta de mejor ajuste calculada por cuadrados mínimos. Más de la mitad de los especímenes se agrupan en el ángulo inferior izquierdo con un excelente ajuste a la línea de tendencia. Éstos corresponden al perfil B (sitios MT13 a MT18) y a los estratos de la parte superior del perfil A (sitios MT1 a MT6). Los especímenes que más se apartan de esta recta de tendencia corresponden a los sitios de mayor granulometría ubicados en la parte inferior del perfil A.

Los dos especímenes del sitio MT7, que corresponden a una arenisca gruesa, se ubican muy apartados entre sí. El espécimen MT7b, que se ubica sobre la recta de tendencia, presenta  $X$  alta, un valor de susceptibilidad respecto de la frecuencia bajo (2,4 %) y una intensidad de magnetización remanente natural inferior a la del MT7a (Fig. 3). Este último espécimen tiene  $X$  menor y un valor de susceptibilidad respecto de la frecuencia relativamente alto (7,7 %; Cuadro 2). Todo esto estaría indicando que ambos especímenes poseen abundante cantidad de minerales magnéticos, pero la concentración es mayor en MT7b, como se puede observar a partir





**Figura 3:** Relación entre la susceptibilidad másica  $X$  y la intensidad de la magnetización remanente natural (MRN) ( $J_0$ ). Se identifican los especímenes que se apartan del agrupamiento mayor.

del valor de  $X$ . Los tamaños de las partículas magnéticas en ambos también son diferentes. En MT7a debe haber una importante presencia de partículas de comportamiento superparamagnético (alta susceptibilidad respecto de la frecuencia) y posiblemente también de SD y PSD (alta  $J_0$  respecto de la predicha por la recta de tendencia), mientras que en MT7b es posible que preponderen los tamaños mayores PSD y MD dada su mayor susceptibilidad y menor  $J_0$ .

Las especímenes del sitio MT8, correspondientes al estrato infrayacente a MT7, también presentan parámetros magnéticos diferentes entre sí (Fig. 3). La situación es muy similar a la anterior: mientras MT8b se ubica muy cerca de la línea de tendencia, MT8a presenta una susceptibilidad menor y, aunque su  $J_0$  también es menor, es mayor a la esperable según la línea de tendencia. Los valores de susceptibilidad respecto de la frecuencia de ambos especímenes son similares ( $\approx 7\%$ ; Cuadro 2) e indicativos de una presencia importante de tamaños de comportamiento superparamagnético. Todo sugiere que la proporción de minerales magnéticos es menor en MT8a pero con alta proporción de partículas SD.

Siguiendo hacia la base de la secuencia, ambos especímenes del sitio MT9, una arenisca gruesa, presentan valores muy similares de  $J_0$  y  $X$  (Fig. 3) y susceptibilidad respecto de la frecuencia cercanos a cero (Cuadro 2). Su ubicación por debajo de la recta de tendencia sugiere la abundante presencia de partículas magnéticas con preponderancia de tamaños PSD y MD.

El sitio MT10 corresponde a un banco de areniscas medias. Ambos especímenes tienen  $J_0$  similares, están ubicados por encima de la recta de tendencia, pero presentan diferentes  $X$  (Fig. 3). Esto último indica una distribución no homogénea de minerales magnéticos en la roca. El espécimen de menor susceptibilidad (MT10a) presenta un valor alto de susceptibilidad respecto de la frecuencia (18,9%; Cuadro 2), mucho mayor que el del espécimen MT10b (2,2%; Cuadro 2). Todo indica un alto contenido de minerales magnéticos en ambos, aunque algo menor en el espécimen MT10a en el cual hay una presencia importante de partículas de comportamiento superparamagnético y una mayor relación de partículas SD a PSD y MD respecto del espécimen MT10b.

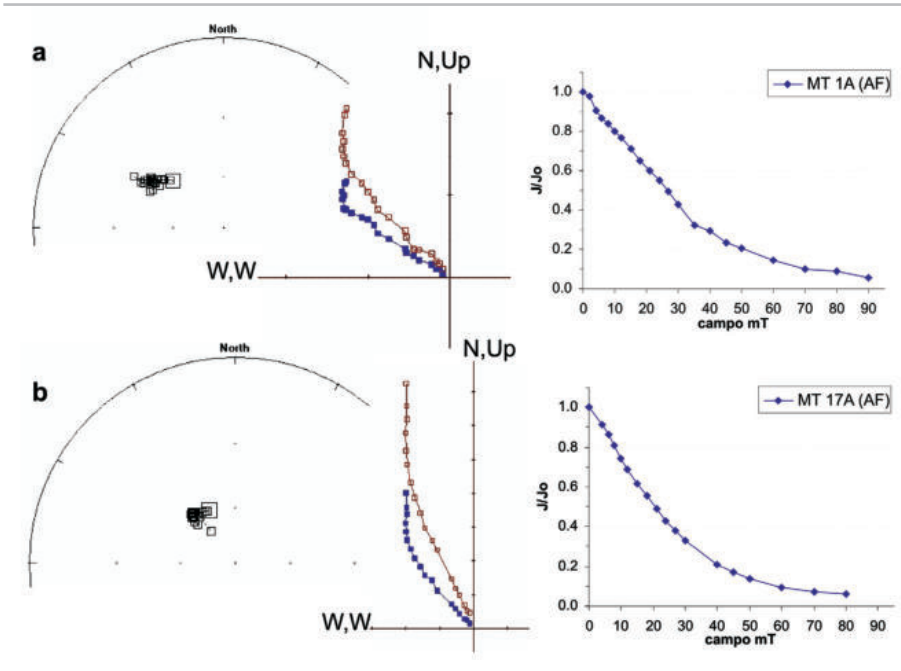
Los dos especímenes de la muestra MT11, correspondiente a un banco de areniscas

medias ubicado en la base del perfil, presentan  $X$  diferentes lo que indica que, como en el banco suprayacente, la distribución de minerales magnéticos no es homogénea. Las  $J_0$  de MT11 son menores que los de MT10 y se ubican por debajo de la recta de tendencia pero cercanos a ella. Los valores de susceptibilidad respecto de la frecuencia son muy bajos (1,5% y 0,4%, Cuadro 2) indicando escasa presencia de partículas de comportamiento superparamagnético. Todo sugiere una mayor proporción de partículas magnéticas de tamaños PSD y MD que la existente en MT10.

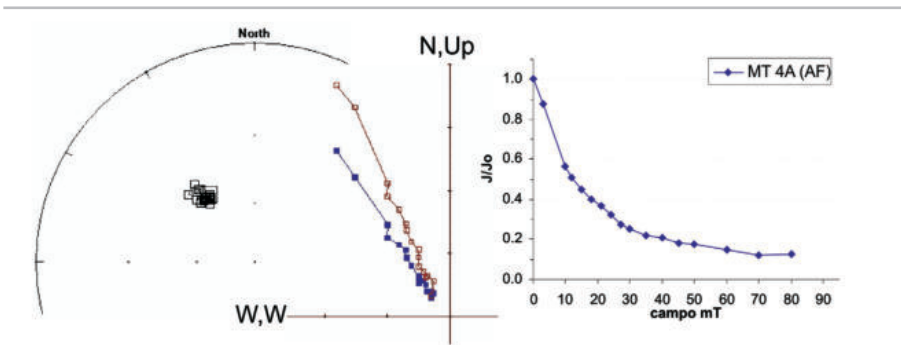
De las consideraciones anteriores surge que los estratos basales del perfil A tienen mayor concentración de minerales magnéticos que los estratos superiores y que los estratos del perfil B. Aunque estos estratos basales son los de mayor granulometría tendrían una mayor presencia de partículas finas de comportamiento superparamagnético y una mayor relación de partículas SD a PSD y MD, probablemente relacionada a la mala selección de los sedimentos. En los estratos restantes, de granulometría más fina, aunque varíe la concentración de minerales magnéticos parece mantenerse la relación entre los distintos tamaños de partículas magnéticas.

#### Estabilidad de las remanencias

Se analizó la estabilidad de las remanencias magnéticas portadas por estas rocas empleando técnicas de desmagnetización por altas temperaturas y por campos alternos linealmente decrecientes. Las mediciones de remanencias residuales y por campos alternos se efectuaron con un magnetómetro criogénico 2G. La desmagnetización por altas temperaturas se realizó con un horno Schonstedt. Mediante análisis de componentes principales se determinaron las componentes de remanencia y sus desviaciones angulares máximas. La desmagnetización por campos alternos se llevó a cabo en 20 etapas, entre 2 mT y 90 mT, con incrementos sucesivos entre ellas de 2 mT (de 2 a 12 mT), 3 mT (de 12 a 30 mT), 5 mT (de 30 a 50 mT) y



**Figura 4:** Estereogramas, proyección ortogonal (Zijderveld) y curvas de desmagnetización normalizada característicos de los especímenes de la Formación Matasiete desmagnetizados por AF. a) MT1A, perfil A; b) MT17A, perfil B. En los gráficos de Zijderveld los cuadrados vacíos (llenos) indican proyección sobre el plano vertical (horizontal). En los estereogramas los cuadrados vacíos (llenos) indican proyección sobre el hemisferio superior (inferior).



**Figura 5:** Estereograma y proyección ortogonal (Zijderveld) de los vectores de remanencia magnética y curvas de desmagnetización normalizada para la desmagnetización por AF del espécimen MT4A, perfil A, de la Formación Matasiete

10 mT (de 50 a 90 mT). Luego de cada etapa se midió la dirección e intensidad de la remanencia residual (Fig. 4). Los datos obtenidos se procesaron empleando el programa IAPD (Torsvik *et al.* 2000). Prácticamente todos los especímenes procesados por AF, ya sea que provengan del perfil A o del B, portan componentes viscosas blandas, de alta intensidad relativa, removibles con campos inferiores a las 20 mT (Figs. 4a y 4b). Sólo MT4A resultó monocomponente (Fig. 5). Las

componentes blandas definidas tienen desviaciones angulares máximas  $<7^\circ$ , salvo MT18A que se definió con desviaciones angulares máximas  $= 13^\circ$  (Cuadro 3). En todos los casos se pudieron aislar componentes características. Para el perfil B, todas las componentes características fueron definidas con desviaciones  $<5^\circ$ . En cambio los vectores residuales de los especímenes del perfil A son algo más dispersos, pero, salvo MT6A (Desviaciones  $= 12^\circ$ ), permitieron defi-

nir componentes características con desviaciones angulares máximas  $<10^\circ$ . La declinación (D) e inclinación (I) de las componentes características, con sus respectivas desviaciones e intervalos de definición se resumen en el cuadro 3.

El comportamiento de todos los especímenes ante la desmagnetización por campos alternos fue muy similar, lo que puede verse cuando se grafican juntas las curvas de desmagnetización normalizada para ambos perfiles (Figs. 6a y 6c). Solo se apartan un poco del conjunto las curvas de MT3A y MT1A (Fig. 6a), ambas del perfil A, las que parecen tener un espectro de coercitividades más altas que el resto. La desmagnetización térmica se hizo en 13 etapas de 140, 180, 220, 270, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 570, 600 y 630°C. Al someter una roca a calentamiento en una atmósfera natural pueden producirse cambios químicos, especialmente oxidación, en algunos minerales. Para controlar esta situación se monitorearon posibles cambios mineralógicos midiendo los valores de susceptibilidad después de cada etapa de lavado y comparándolos con los iniciales. Las curvas de desmagnetización térmica muestran un amplio rango de temperaturas de desbloqueo (Figs. 6b y 6d). Esto podría sugerir una mineralogía magnética variada, pero en ese caso sería esperable que las curvas de desmagnetización mostraran quiebres en las pendientes marcando las temperaturas de Curie de los diferentes minerales. Por el contrario, las curvas de desmagnetización tienen pendientes casi constantes. Esto sugiere la presencia de solo una mineralogía pero con tamaños muy variados de partículas magnéticas, que incluyan desde partículas de tamaños muy finos, con bajos tiempos de relajación, y partículas SD y MD. En todos los casos la remanencia prácticamente desaparece al alcanzar la temperatura de Curie de la magnetita ( $\approx 580^\circ\text{C}$ ), lo cual sugiere que éste es el principal mineral ferromagnético. Probablemente estén presente titanomagnetitas mientras que la hematita está prácticamente ausente como portador de la remanencia magnética. Todos los especímenes tienen una com-

**CUADRO 3:** Direcciones de las componentes de remanencia magnética.\*

Desmagnetización por AF											
espéc.	Componente Blanda					Componente Dura					
MT	D	I	MAD°	n	intervalo nT	D	I	MAD°	n	intervalo nT	
1A	5,3	-61,8	5,8	6	0-10	303,8	-42,0	3,8	17	10-90,or	
2A	351,7	-66,0	6,9	5	4-12	322,3	-59,7	8,7	21	0-80,or	
3A	18,6	-66,4	2,3	6	0-10	311,0	-30,0	5,7	4	60-80	
4A						326,4	-50,6	3,1	18	0-80,or	
5A	13,0	-53,5	5,4	7	0-12	344,2	-61,8	7,1	15	12-80,or	
6A	359,3	-69,5	6,6	6	0-10	355,7	-53,1	12,0	19	3-80,or	
7A	346,8	-15,0	2,3	10	3-24	332,3	-24,5	6,4	11	24-80,or	
8A	17,1	-59,5	2,3	6	4-15	336,6	-53,2	5,4	9	30-80,or	
9A	330,4	-60,5	3,2	9	0-21	314,2	-57,3	3,8	12	21-80,or	
10A	335,5	-62,9	7,1	5	0-10	324,2	-59,0	3,9	12	21-80,or	
11A	26,6	-54,0	3,1	5	0-10	333,6	-55,7	9,2	9	20-80,or	
13A	328,7	-68,4	2,6	6	0-12	315,2	-56,6	4,8	15	12-80,or	
14A	338,7	-53,0	2,2	6	0-12	317,5	-53,9	3,4	15	12-80,or	
15A	347,4	-52,7	3,2	6	0-12	309,6	-46,0	3,3	15	12-80,or	
16A	8,2	-56,7	3,7	5	2-12	328,1	-54,5	4,8	14	12-80,or	
17A	359,5	-60,2	1,4	6	0-12	321,6	-54,6	2,3	14	12-80,or	
18A	353,9	-59,7	13,2	6	0-12	328,1	-53,5	2,3	15	12-80,or	
1B	356,0	-57,5	7,1	4	0-180	302,3	-35,6	5,9	13	180-630,or	
2B	15,8	-59,0	7,4	7	0-350	335,0	-24,0	13,7	9	350-630,or	
3B	17,9	-73,2	4,0	4	0-180	354	-76,2	5,9	9	180-400	
4B	344,7	-58,2	8,4	4	100-220	302,1	-50,4	12,7	12	220-630,or	
5B	9,6	-58,2	5,1	8	0-350	321,1	-53,8	14,9	10	300-630,or	
6B	330,8	-66,7	2,8	4	0-180	359,9	-46,9	14,5	13	180-630,or	
7B	326,5	-32,3	6,2	5	0-270	323,7	-14,6	8,7	8	270-570,or	
8B	25,1	-49,9	4,5	8	100-400	325,5	-42,2	13,6	6	400-570,or	
9B	343,2	-60,0	3,9	5	100-270	321,9	-49,2	4,5	11	270-630,or	
10B	343,7	-57,6	13,4	6	0-270	323,6	-46,9	8,5	11	270-630,or	
11B	27,8	-59,2	5,9	7	100-350	333,5	-57,6	13,4	8	270-630,or	
13B	10,8	-71,1	5,8	5	0-220	319,2	-52,2	7,9	11	220-600,or	
14B	9,4	-60,9	8,0	5	100-270	325,9	-48,6	9,9	9	270-570,or	
15B						317,6	-49,1	9,5	14	140-630,or	
16B	37,4	-56,9	10,4	6	0-270	314,8	-51,2	8,2	8	270-550,or	
17B	32,9	-64,2	7,6	6	0-270	306,8	-50,2	8,7	7	270-550,or	
18B	24,7	-61,9	14,8	4	0-180	313,9	-53,0	5,5	10	180-550,or	

\*) Obtenidas por análisis de componentes principales, mediante desmagnetización por AF y térmica. Se indica la máxima desviación angular (MAD), el número de etapas de desmagnetización que intervienen en el cálculo (n) y el intervalo en el cual se definió cada componente. Las componentes definidas incluyendo el origen en el cálculo se distinguen con la sigla "or".

po-nente de remanencia de baja temperatura de bloqueo, que resulta eliminada con temperaturas de 350°C o inferiores. Las direcciones de estas componentes fueron determinadas con análisis de componentes principales. La mayoría está caracterizada por máximas desviaciones angulares menores a 10° (Cuadro 3). Eliminada dicha componente, la mayoría de los especímenes presentó un comportamiento indicador de la presencia de una componente estable que decae hacia el origen (magnetización remanente carac-

terística). Después de alcanzar la temperatura de Curie de la magnetita (μ580°C) las direcciones se vuelven erráticas y la intensidad de la remanencia residual de cada espécimen se vuelve despreciable respecto de su intensidad inicial J<sub>0</sub> (Figs.7a y 7b).

Las direcciones de magnetizaciones remanentes características de cada espécimen, determinadas por análisis de componentes principales, tienen mayor dispersión que las determinadas por campos alternos. Solo en un caso la desviación angu-

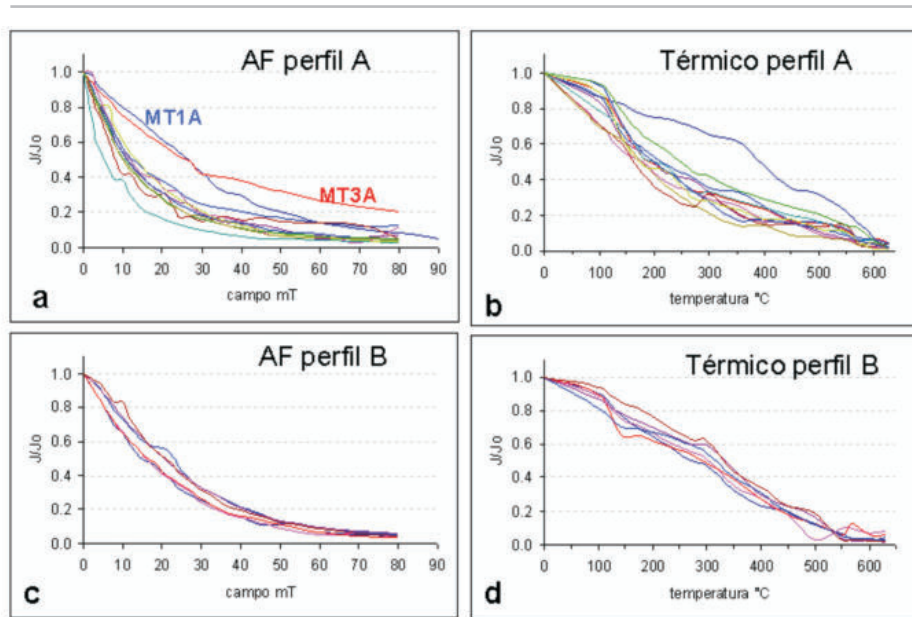
lar máxima fue menor de 5°, en diez especímenes las magnetizaciones remanentes características se definieron con desviaciones angulares máximas entre 5° y 10° y en los seis restantes entre 10° y 15° (Cuadro 3).

### Distribución de las direcciones de remanencia

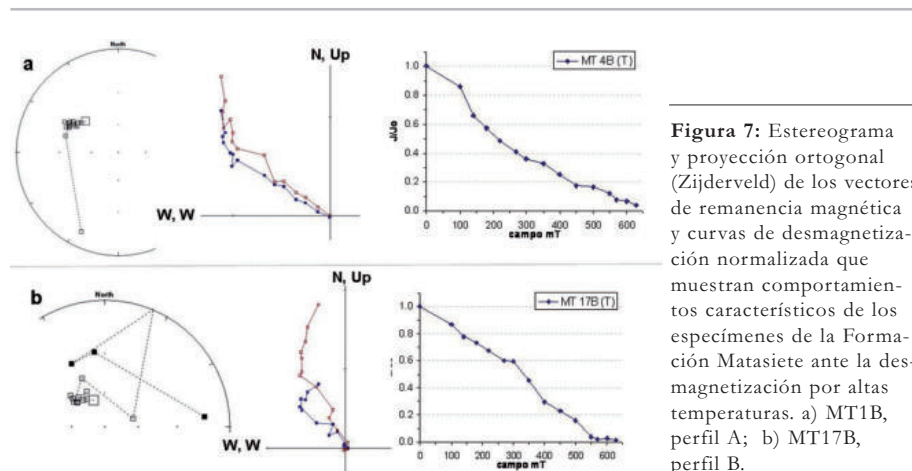
Todas las componentes de remanencia de estas rocas tienen inclinaciones salientes (signos negativos). Las direcciones de remanencia determinadas por desmagnetización térmica están más dispersas que las determinadas por campos alternos. Por otra parte también es más dispersa la distribución de las magnetizaciones remanentes características de altas fuerzas coercitivas, respecto de las componentes blandas. Lo mismo ocurre con la distribución de las magnetizaciones remanentes características de alta temperatura respecto de las de baja temperatura de bloqueo (Fig. 8).

Se calcularon las direcciones medias de los cuatro grupos de remanencias definidos, bajo la suposición que éstas provienen de distribuciones fisherianas. En el cuadro 4 se presentan D e I de estas direcciones junto con los parámetros de Fisher estimados.

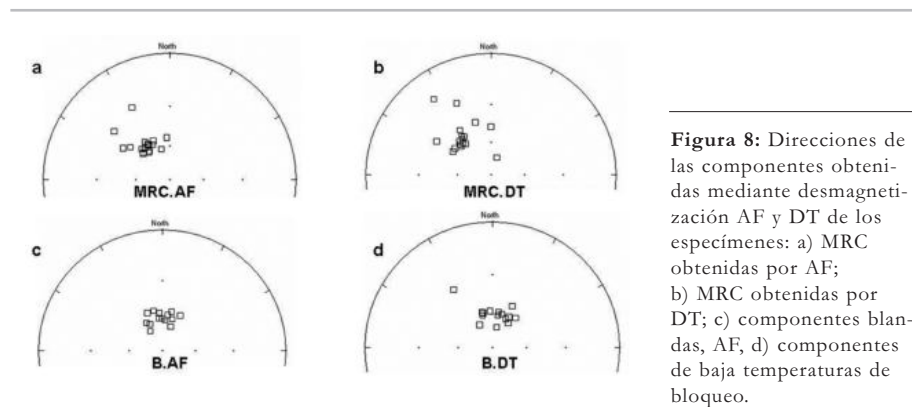
La dirección media blanda y la media de bajas temperaturas de bloqueo pueden considerarse estadísticamente indistinguibles ya que el círculo del 95 % de confianza de cada una incluye a la otra media. Además ambas son estadísticamente coincidentes con la dirección que tendría un campo dipolar axial y geocéntrico en esa localidad (Cuadro 4; Fig. 9). Lo mismo ocurre entre las direcciones medias de las magnetizaciones remanentes características definidas por campos alternos y por desmagnetización térmica (Fig. 9). Las cuatro medias están alejadas de la dirección del campo magnético actual en el sitio de muestreo (determinada según el modelo de *International Geomagnetic Reference Field* (IAGA 2006). Por otra parte ambas magnetizaciones se encuentran también alejadas del campo dipolar axial y geocéntrico. Dada la coincidencia direccional de las



**Figura 6:** Curvas de desmagnetización normalizadas de los especímenes: a) del perfil A tratados por AF; b) del perfil A con desmagnetización térmica; c) del perfil B tratados por AF; d) del perfil B con desmagnetización térmica



**Figura 7:** Estereograma y proyección ortogonal (Zijderveld) de los vectores de remanencia magnética y curvas de desmagnetización normalizada que muestran comportamientos característicos de los especímenes de la Formación Matasiete ante la desmagnetización por altas temperaturas. a) MT1B, perfil A; b) MT17B, perfil B.



**Figura 8:** Direcciones de las componentes obtenidas mediante desmagnetización AF y DT de los especímenes: a) MRC obtenidas por AF; b) MRC obtenidas por DT; c) componentes blandas, AF, d) componentes de baja temperaturas de bloqueo.

componentes se promediaron las direcciones obtenidas por campos alternos y por desmagnetización térmica para obtener una dirección característica media in situ y una dirección media secundaria in situ. Ambas direcciones medias quedan definidas con círculos de confianza pequeños, en ambos casos menores a 5° (Cuadro 4).

Cuando se aplica la corrección por estructura, llevando los estratos a la paleohorizontal, se produce un leve aumento del parámetro de concentración de las magnetizaciones remanentes características, mientras que ocurre justo lo contrario con las componentes secundarias. Esto podría estar indicando que las magnetizaciones fueron adquiridas en forma previa a la tectónica mientras que las componentes secundarias son posteriores a la inclinación de los estratos. Pero ni el aumento, en el caso de las magnetizaciones remanentes, ni la disminución, en el caso de las secundarias, resultan significativos, dado que no superan los valores críticos de la distribución F al 95 % de confianza, con los correspondientes grados de libertad (Cuadro 4).

El resultado indeterminado de este test de plegamiento puede deberse en gran parte a que los estratos muestreados tienen actitudes similares. Por este motivo no tiene sentido aplicar tests de plegamiento más elaborados, pues en todos los casos se encontrarán similares problemas de indeterminación.

Por otra parte, la aplicación de corrección por estructura aleja las direcciones de remanencias secundarias (BB) de la posición del campo dipolar en el sitio (Cuadro 4). Esto argumenta a favor de considerar las direcciones secundarias como postectónicas. En este caso la edad de la remanencia secundaria debe ser menor a Terciario medio ya que la tectónica que produjo la elevación de la Sierra de San Bernardo se debe a la compresión andina.

A partir de estas consideraciones y sobre la base del mejor agrupamiento en las magnetizaciones remanentes características cuando los estratos se llevan a la paleohorizontal, puede asumirse como muy



**CUADRO 4:** Direcciones medias de los cuatro grupos de remanencias definidos y direcciones en el sitio de muestreo del CMT actual.\*

Medias	D °	I °	N	k	alfa95		
blanda	357,6	-60,1	14	58,5	5,2		
baja Tb	7,7	-60,3	15	26,1	7,6		
MRC AF	324,2	-51,7	17	38,5	5,8		
MRC DT	323,9	-48,2	17	23,1	7,6		
campo actual	8,5	-43,8					
campo GAD	0,0	-63,6				Test M	$F_{2(N-1);2(N-1);0.05}$
MRC is	324,0	-49,5	34	28,76	4,7	kcE/kis = 1,0469	1,5036
MRC c/CE	5,3	-59,7	34	30,11	4,6		
BB /is	2,8	-60,3	29	35,68	4,5	kis/kcE = 1,0948	1,5579
BB c/CE	43,8	-49	29	32,59	4,8		

\*) (Según el modelo de IGRF 2006, IAGA) y del campo dipolar axial y geocéntrico (GAD). Dirección característica media (MRC) y dirección media secundaria (BB: blanda y de baja temperatura de bloqueo) in situ (/is) y direcciones medias calculadas después de corregir por estructura (c/CE). D= declinación, I= inclinación, N= números de direcciones que intervienen en el cálculo, k= parámetro de concentración de Fisher,  $\alpha_{95}$ = semiángulo del cono del 95% de confianza alrededor de la dirección media. . Test M (McElhinny, 1964).

**CUADRO 5:** Declinación (D) e Inclinación (I) de las direcciones de MRC.

sitio esp.	Direcc.		PGV		sitio esp.	Direcc.		PGV	
	D	I	Lat °S	Long °E		D	I	Lat °S	Long °E
1 A	332	-67	-70,6	357,1	9 B	6	-63	-85,7	193,9
1 B	322	-62	-62,9	11,0	10 A	21	-68	-74,8	231,2
2 A	29	-68	-69,9	228,3	10 B	358	-60	-85,0	91,0
2 B	352	-37	-64,6	93,0	11 A	31	-61	-67,5	203,9
3 A	329	-53	-63,6	35,8	11 B	34	-62	-65,7	208,4
3 B	70	-52	-35,8	213,2	13 A	6	-62	-85,3	179,1
4 A	12	-62	-81,2	192,5	13 B	2	-58	-83,4	124,3
4 B	346	-74	-72,8	314,7	14 A	3	-60	-85,2	139,1
5 A	42	-59	-58,9	205,9	14 B	2	-52	-77,4	118,4
5 B	14	-66	-79,9	224,1	15 A	345	-58	-77,1	45,6
6 A	32	-50	-61,3	181,9	15 B	356	-57	-81,9	87,6
6 B	31	-43	-57,9	172,3	16 A	11	-55	-77,3	155,5
7 A	347	-38	-63,9	82,2	16 B	357	-59	-84,2	87,3
7 B	335	34	-56,3	64,4	17 A	7	-58	-81,7	152,0
8 A	19	-59	-75,0	86,4	17 B	348	-63	-81,5	21,0
8 B	359	-57	-82,4	104,7	18 A	10	-55	-77,8	152,5
9 A	10	-71	-77,9	262,7	18 B	359	-61	-86,8	97,1

\*)Corregidas por estructuras, de cada espécimen (esp.) de la Formación Matasiete, con la ubicación en latitud y longitud de sus correspondientes Polos geomagnéticos virtuales (PGV).

probable que estas remanencias estables sean pre-tectónicas aunque no se tenga confirmación estadística.

Bajo esta consideración se calcularon los polos geomagnéticos virtuales (Cuadro 5) y el polo paleomagnético de la unidad. El polo paleomagnético calculado para la Formación Matasiete resulta ubicado a latitud 84,7°S y longitud 161,2°E, siendo

sus parámetros de Fisher,  $n=34$ ,  $K=17.51$ ,  $A_{95}=6.1$ , (PP M7, Cuadro 6; Fig. 10).

La posición del polo paleomagnético de Matasiete (M7) definido en este estudio es acorde con las de polos paleomagnéticos coetáneos (Cuadro 6, Fig. 10), lo que apoya la hipótesis de que la remanencia encontrada es pre-tectónica. La posición del polo paleomagnético M7 es cercana a

un polo paleomagnético previo obtenido para esta formación (MS, Barredo 1992), al del Grupo Sierra de Los Cóndores (SC), provincia de Córdoba, (115-133 Ma) (Geuna y Vizán 1998), y a los PP de la Formación Serra Geral (SG1, Mena 1996; SG2, Alva-Valdivia *et al.* 2003 y SG3, Ernesto *et al.* 1990). Por otra parte el polo paleomagnético M7 es casi coincidente con los de las Formaciones Cerro Barcino (CB, Somoza 1994) y Los Adobes (LA, Geuna *et al.* 2000), aflorantes en Patagonia Central y con edades de 112-125 Ma y 112-130 Ma respectivamente. (Cuadro 6; Fig. 10).

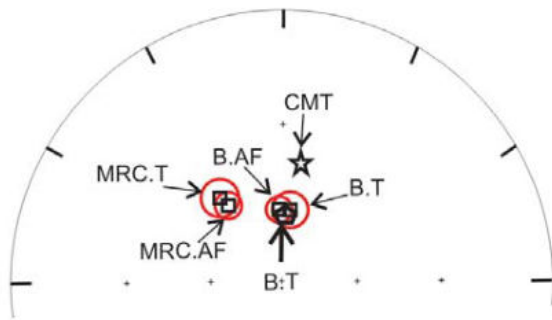
Cuando se consideran todos los polos paleomagnéticos antes mencionados con sus respectivos círculos de confianza (Cuadro 6) se encuentra que el círculo de confianza del polo paleomagnético M7 incluye a los polos CB, LA, y SG1, SG2 y SG3, quedando solo afuera el de Sierra de los Cóndores. Por otra parte el polo paleomagnético de la Formación Matasiete sólo se encuentra incluido en los círculos de confianza de CB y LA, lo que sugiere que estas tres últimas formaciones deben tener edades similares.

Pero la edad de la Formación Matasiete resulta acotada si se tiene en cuenta que todos los polos geomagnéticos virtuales calculados tienen polaridad normal. Resulta poco probable que, si estas rocas se formaron en épocas donde ocurrieron cambios de polaridad, en un muestreo representativo de más de 350 m de potencia, sólo se hayan registrado remanencias correspondientes a campos de polaridad normal. Por el contrario es mucho más probable que estas rocas se hayan formado durante un lapso en el que el campo magnético terrestre no sufrió cambios de polaridad. Dentro del rango de edades consideradas se ubica un lapso de estas características, conocido como supercron cretácico normal, el cual se extendió aproximadamente entre los 125 y los 84 Ma (Ogg y Smith 2004). Todas estas consideraciones restringen el lapso en que se desarrolló esta unidad al intervalo 125-112 Ma, por lo que se propone una edad aptiana para la Formación Matasiete.

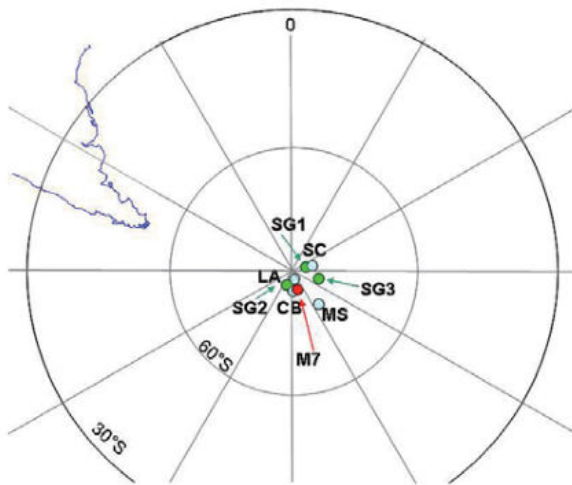
**CUADRO 6:** Ubicación del Polo Paleomagnético (PP) obtenido para la Formación Matasiete y PP de unidades coetáneas.\*

unidad	sigla	Lat. sitio	long. sitio	PP lat S	PP long E	A95	edad Ma	Referencias
Fm. Matasiete	M7	-45,1	-69,3	84,7	161,2	6,1	112-116	Este trabajo
Fm. Matasiete	MS	-45,0	-69,0	79,0	138,6	8,8	112-116	Barredo 1992
Sa Condores	SC	-31,5	-64,4	86,0	75,9	3,3	115-133	Geuna y Vizán 1998
Fm. Co Barcino	CB	-43,5	-69,0	84,9	180,8	5,6	112-125	Somoza 1994
Fm. Los Adobes	LA	-43,5	-69,0	87,0	159,0	3,8	112-130	Geuna <i>et al</i> , 2000
Basaltos de Serra Geral	SG1			86,9	79,5	5,2	130-135	Mena 1996
	SG2	-26,1	-52,8	85,7	197,9	2,6	132-133	Alva-Valdivia <i>et al</i> , 2003
	SG3	-26,0	-52,0	85,0	108,0	1,1	132-133	Ernesto 1990

\*) Se indica la unidad formacional a la que corresponde cada PP, la latitud S y longitud W de los sitios de muestreo, la latitud S y longitud E de los PP, el parámetro de Fisher A95, la edad estimada de cada unidad en Ma y la cita correspondiente.



**Figura 9:** Estereograma mostrando la ubicación de las direcciones medias, con sus respectivos círculos de confianza, de las componentes blandas obtenidas mediante desmagnetización AF (B.AF), de las componentes de baja temperaturas de bloqueo obtenidas por desmagnetización térmica (B.T) y de las direcciones medias características definidas por AF (MRC.AF) y por desmagnetización térmica (MRC.T). La estrella (CMT) indica la dirección del campo magnético actual en el sitio de muestreo y el círculo inferior indicado por una fecha (GAD) la dirección correspondiente a un campo dipolar axial y geocéntrico.



**Figura 10:** Ubicación en el Hemisferio Sur del PP obtenido para la Formación Matasiete (M7) y ubicación de PP coetáneos. SC: Sierra de los Cóndores; LA: Los Adobes; CB: Cerro Barcino; MS: Matasiete previo (Barredo 1992); SG1, SG2, SG3: Serra Geral (Cuadro 5).

### CONCLUSIONES

La Formación Matasiete está caracterizada por valores relativamente altos de susceptibilidad másica, siendo especialmente elevados los de los estratos basales, con granulometría más gruesa, donde la presencia de minerales ferromagnéticos es mayor. Los estudios efectuados indican que los valores de susceptibilidad están dominados por la presencia de magnetita y titanomagnetitas, para las que puede asumirse un origen detrítico, directamente relacionado a la intensa actividad volcánica en la zona, contemporánea con la depositación de estos sedimentos.

Las rocas de la Formación Matasiete portan remanencias estables. Se diferenciaron una componente primaria pretectónica y una componente secundaria postectónica, ambas bien agrupadas estadísticamente. La componente secundaria debe tener edad menor al Terciario medio ya que la tectónica que afecta esta unidad se debe a la compresión andina ocasionada por la subducción a lo largo del margen oeste de América del Sur, que produjo la elevación de la Sierra de San Bernardo. La dirección media de esta componente de remanencia estadísticamente coincidente con la dirección que tendría un campo dipolar axial y geocéntrico en esa localidad. Dada la ausencia de remanencias con polaridad reversa, esta componente puede corresponder a una edad Brunhes.

La componente primaria pretectónica corresponde a un polo paleomagnético ubicado a latitud 84,7°S y longitud 161,2°E,

siendo sus parámetros de Fisher,  $n=34$ ,  $K=17.51$ ,  $A95=6.1$ . La posición del polo paleomagnético de Matasiete obtenido (M7), estadísticamente coincidente con la de los polos paleomagnéticos de las Formaciones Cerro Barcino (Somoza 1994) y Los Adobes (Geuna *et al.* 2000), (112-125Ma y 112-130Ma, respectivamente), aflorantes en Patagonia Central, confirma la coetaneidad de estas tres unidades. Pero la edad de la Formación Matasiete resulta acotada si se tiene en cuenta que todos los polos geomagnéticos virtuales calculados tienen polaridad normal. Esta característica sugiere que estas rocas se formaron durante un lapso en el que el campo magnético terrestre no sufrió cambios de polaridad. Este intervalo se correspondería con el supercron cretácico normal, el cual se extendió aproximadamente entre los 125 y los 84 Ma (Ogg y Smith 2004). Todas estas consideraciones restringen el lapso en que se desarrolló esta unidad al intervalo 125-112 Ma, por lo que se propone una edad aptiana para la Formación Matasiete.

#### AGRADECIMIENTOS

La autora agradece la ayuda del Dr. Guillermo Ré y del Dr. Juan F. Vilas durante el muestreo. Asimismo se agradece las sugerencias aportadas por los árbitros, Dres. Haroldo Vizán y Juan Carlos Bidegain. Este trabajo fue realizado con el financiamiento del CONICET y de la Universidad de Buenos Aires (Proyecto UBACYT X466). Las mediciones magnéticas fueron llevadas a cabo en el IN-GEODAV, Dpto. de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Alva-Valdivia, L.M., Goguitchaichvili, A., Urrutia-Fucugauchi, J., Riisager, J., Riisager, P. y

- Ferreira-Lopes, O. 2003. Paleomagnetic poles and paleosecular variation of basalts from Paraná Magmatic Province, Brazil: geomagnetic and geodynamic implications. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 138: 183-196.
- Barredo, S. 1992. Estudio Paleomagnético de las Sedimentitas Cretácicas de las Formaciones Castillo y Matasiete en la Comarca del Cañadón Homónimo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (inédito), 128 p.
- Dunlop, D. y Özdemir, O. 1997. *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*. Cambridge University Press. U.K. 573 p.
- Ernesto, M., Pacca, I.G., Hiodo, F.Y. y Nardy, A. 1990. Paleomagnetism of the Mesozoic Serra Geral Formation, Southern Brazil. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 64: 153-175.
- Fitzgerald, M. G., Mitchum, R. M., Uliana, M. A. y Biddle, K. T. 1990. Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74(6): 879-920.
- Geuna, S.E. y Vizán, H. 1998. New Early Cretaceous Paleomagnetic pole from Cordoba Province (Argentina): revision of previous studies and implications for the South American database. *Geophysical Journal International* 135: 1085-1100.
- Geuna, S. E., Somoza, R., Vizán, H., Figari, E. G. y Rinaldi, C. A. 2000. Paleomagnetism of Jurassic and Cretaceous rocks in Central Patagonia: a key to constrain the timing of rotations during the breakup of southwestern Gondwana? *Earth and Planetary Science Letters* 181: 145-160.
- Hechem, J.J., Homocv, J.F. y Figari, E.G. 1990. Estratigrafía del Chubutiano (Cretácico) en la Sierra de San Bernardo, cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 173-176, San Juan.
- IAGA 2006. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, [www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html](http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html).
- Maher, A.B. y Taylor, R.M. 1988. Formation of ultrafine-grained magnetite in soils. *Nature* 330: 328-371.
- Maher, A.B. y Thomson, R. 1991. Mineral magnetic records of the Chinese loess and paleosols. *Geology* 19: 3-6.
- McElhinny, M. 1964. Statistical significance of the fold test in paleomagnetism. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 8: 338-340.
- Mena, M. 1996. Estudio Paleomagnético de los Basaltos de Serra Geral, (Misiones). 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 489.
- Ogg, J.G. y Smith, A.G., 2004. The geomagnetic polarity time scale. En Grandstein, F. Ogg, J. y Smith, A. (eds.) *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press: 384-408. Cambridge.
- Paredes, J.M., Foix, N., Colombo Piñol, F., Nillni, A., Allard, J.O. y Marquillas, R.A. 2007. Volcanic and climatic controls on fluvial style in a high-energy system: The Lower Cretaceous Matasiete Formation, Golfo San Jorge basin, Argentina. *Sedimentary Geology* 202: 96-123.
- Somoza, R., 1994. South American reference pole for the mid-cretaceous further constraints in the interpretation of Andean Paleomagnetic data. *Geology* 22: 933-936.
- Somoza, R. y Zaffarana, C. 2008. Mid-Cretaceous polar standstill of South America, motion of the Atlantic hotspots and the birth of the Andean cordillera. *Earth and Planetary Science Letters* 271: 267-277.
- Torsvik, T.H., Briden, J.C. y Smethurst, M.A. 2000. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, en <http://www.ngu.no/geophysics>.

Recibido: 22 de setiembre, 2009

Aceptado: 7 de abril, 2010