



ISSN: 2007-9656

# LATINMAG LETTERS

Mayo 2012 - Volume 2 - Number 2

LL12-0201R

RESEARCH PAPER

Published on behalf of the Latin American Association of Paleomagnetism and Geomagnetism by the Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

## **Estudios demagnetismo de rocas aplicados a un horizonte edafizado del Cuaternario tardío en Bahía San Sebastián, Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina**

Ana María Walther  
Juan Francisco Vilas  
María Irene Raposo

13 pages, 8 figures

Latinmag Letters can be viewed and copied free of charge at:  
<http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/>

Papers contents can be reproduced meanwhile the source is cited



## **Estudios de magnetismo de rocas aplicados a un horizonte edafizado del Cuaternario tardío en Bahía San Sebastián, Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina**

Ana María Walther<sup>1\*</sup>, Juan Francisco Vilas<sup>1</sup>, María Irene Raposo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociencias Básicas Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA), Depto de Ciencias Geológicas, Fac. Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA) and Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ciudad Universitaria Pab II, 1428 Buenos Aires. Argentina

<sup>2</sup> Laboratório de Anisotropias Magnéticas e Magnetismo de Rocha do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - Brasil.

\* Corresponding author, Email: walther@gl.fcen.uba.ar

Recibido: Noviembre 2011; Revisado: 5 Enero 2012; Aceptado: 16 Enero 2012; Publicado: Mayo 2012

**Abstract.** A rock magnetic study on an edaphized Quaternary glacifluvial deposit in Bahía San Sebastián, Tierra del Fuego, Argentina, is presented. The dominant magnetic mineralogy in the cross-section is PSD and MD magnetite or titanomagnetite. A decrease in the concentration of ferrimagnetic minerals in the pedogenetic levels respect to the lower ones, with no evidence of edaphic processes, was observed. These results are similar to those obtained in the Pampean region of Argentina. No neo-formation of high coercivity fractions or superparamagnetic minerals was detected. Generation of these minerals occurs during dry seasons when amorphous gels produced during the humid phase are dehydrated and crystallized. From the obtained results it is estimated that edaphization took place in the Isotopic Stage 5<sup>1</sup>, during sub-Stage 5e.

**Keywords:** *Quaternary, Glacifluvial sediments, paleosoil, paleoclimate, enviromental magnetism.*

**Resumen.** Se presenta un estudio de magnetismo de rocas realizado en un depósito glacifluvial edafizado, de edad Cuaternaria, en Bahía San Sebastián, Tierra del Fuego, Argentina. Se determinó que la mineralogía magnética dominante en el perfil es magnetita y/o titanomagnetita tamaño de grano PSD y MD. Se observó una disminución en la concentración de minerales ferrimagnéticos en los niveles pedogenéticos con respecto a los niveles inferiores sin edafizar, similar comportamiento se obtuvo en los perfiles de la región pampeana de Argentina. No se detectó la formación de neominerales de alta coercitividad ni de magnetita superparamagnética. La generación de estos minerales se produce en los períodos de sequía, en los cuales los geles amorfos producidos durante la fase húmeda se deshidratan y cristalizan. A partir de los resultados se estima que la edafización tuvo lugar en el Estadío Isotópico 5<sup>2</sup>, durante el subestadio 5e.

**Palabras claves:** *Cuaternario, Sedimentos glacifluviales, paleosuelo, paleoclima, magnetismo ambiental.*

<sup>1</sup> <sup>18</sup>O isotopes; odd stages are warm and even are cold; number 1 is the present stage.

<sup>2</sup> Isotopía del <sup>18</sup>O, estadios nones son cálidos y pares fríos; el estadio 1 es el presente



## 1 Introduction

Los objetivos del trabajo fueron, efectuar una determinación detallada de los parámetros de la curva de histéresis en los sedimentos del perfil, caracterizando magnéticamente estos depósitos y una comparación de la señal magnética registrada en esta investigación con estudios previos realizados sobre diferentes paleosuelos, de la llanura Pampeana asignados a distintas edades.

El trabajo se realizó en el área de Bahía San Sebastián, al norte de la ciudad de Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina (Fig. 1). En la costa marítima de la bahía, se encuentran las morrenas laterales de la glaciación Río Cullen (drift Cabo Vírgenes) y la glaciación San Sebastián (drift Punta Delgada) (Rabassa et al., 2005). Estas dos alineaciones morrénicas muy bien definidas se hallan en ambos márgenes de la depresión Bahía Inútil-Bahía San Sebastián (Coronato et al., 2004).



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de muestreo.



La cronoestratigrafía determinada (Rabassa *et al.*, 2000) para estos depósitos glaciares es la siguiente: la glaciación Cabo Vírgenes menor de 1.07 Ma y mayor a 0.36 Ma, Estadío Isotópico 12, y la glaciación Punta Delgada en el Estadío Isotópico 10 (?).

Sobre ambas morrenas se encuentra el horizonte estudiado el cual esta compuesto por sedimentos glaci-fluviales edafizados. Le suprayace un horizonte más joven en el que se desarrolla el suelo actual.

Experiencias realizadas sobre sedimentos de loess intercalados con paleosuelos en la Formación Buenos Aires, depositada durante el Pleistoceno tardío, demuestran la presencia de magnetita detrítica de tamaño magnético MD o PSD, un empobrecimiento de magnetita y/o titanomagnetitas detrítica respecto a los niveles no edafizados y la generación de minerales de alta coercitividad, debida a procesos edáficos (Walther, 2005).

Estudios elaborados en sedimentos fluviales y lacustres de la Formación Luján correspondientes al Pleistoceno tardío y Holoceno, en la localidad de Luján, comprueban en el sector del perfil edafizado, un empobrecimiento en minerales ferrimagnéticos detríticos y una ausencia de neoformación de minerales de alta coercitividad (Vásquez *et al.*, 1998; Orgeira *et al.*, 2003).

Walther (2005) encuentra comportamientos similares en los sedimentos fluviales de la Formación Luján en el perfil del Arroyo Tapalqué. En este caso, el estudio se realizó sobre dos paleosuelos: uno sobre el Miembro Guerrero (Suelo Puesto Callejón Viejo), de edad 10,000 años AP (Figini *et al.*, 1998) y el otro desarrollado sobre el Miembro Río Salado (paleosuelo Puesto Berrondo) de edad 6,500 a 5,200 años AP (Figini *et al.*, 1998).

Por su parte Bidegain *et al.* (2001) arriban a similares conclusiones respecto al comportamiento magnético en sedimentos de loess, estudiados en los alrededores de la Ciudad de La Plata, lo que sugiere "disolución" de la magnetita como consecuencia de los fenómenos de "meteorización".

La disminución de la concentración de minerales de baja coercitividad es un comportamiento generalizado en todos los paleosuelos estudiados en la región pampeana, las reacciones fisicoquímicas que se producen en un sedimento durante la edafización generan una disminución de los minerales ferrimagnéticos detríticos preexistentes y si el clima presenta una estación seca muy marcada se produce la neoformación de minerales de alta coercitividad y/o se forma magnetita de grano superparamagnético (SP) (Walther *et al.*, 2004).

## 2 Estratigrafía

El perfil corresponde a una secuencia sedimentaria de espesor variable, que en el área de estudio tiene un desarrollo vertical de 1.15m. Se levantó un perfil de detalle teniendo en cuenta el espesor, granulometría y contacto de los bancos y de las estructuras sedimentarias y edáficas. La toma de muestra se realizó de base a techo y se efectuó una descripción macroscópica del perfil. En el mismo se diferenciaron 3 unidades sedimentarias informales.

La **unidad A** (Fig.2). Es la parte basal del perfil, se apoya discordantemente sobre un depósito de gravas y arenas gruesas, presenta una potencia de 0.52m. Esta unidad está integrada por arena limosa poco seleccionada, friable y se observan algunas estructuras prismáticas mal definidas. Corresponden a esta unidad las muestras 1-4. El límite superior es transicional.

La **unidad B** (Fig.2). Tiene un desarrollo vertical de 0.32m, es friable, está constituida por sedimentos

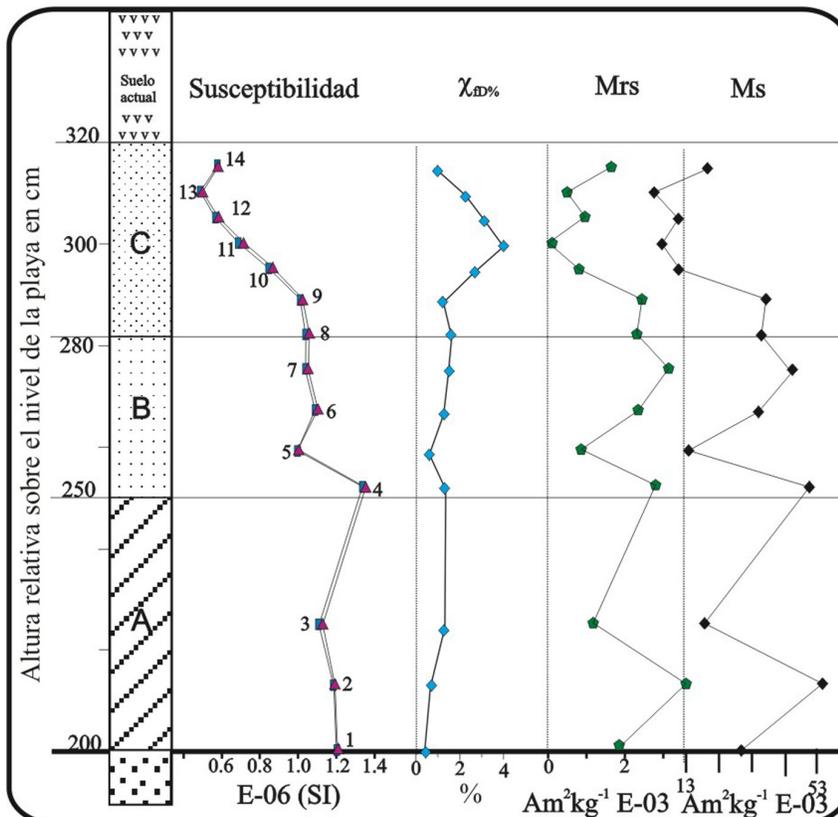


pobremente seleccionados de color castaño claro. Esta unidad posee mayor contenido de limos arcillosos que la unidad infrayacente. Presenta estructura en bloques prismáticos, abundante materia orgánica, son comunes los moldes de raíces con revestimientos de cutanes argilo y ferromanganosos. Los procesos edáficos se intensifican hacia el techo de la unidad donde se observa bioturbación. Corresponden a esta unidad las muestras 5-8. El límite superior es transicional.

La **unidad C** (Fig.2). Con un espesor de 0.31m, está compuesta por sedimentos areno-limo-arcillosos, de color castaño grisáceo, en el que se observan abundantes moldes de raíces revestidos con cutanes argilo y ferromanganosos. Presenta estructura en bloques prismáticos, abundante materia orgánica y el contenido de arcillas es mas abundante que en los niveles inferiores. El límite superior es claro y suave. Corresponden a esta unidad las muestras 9-14.

Suprayacen a esta unidad sedimentos limo arenosos, friables, poco seleccionados de color gris oscuro en los que se desarrolla el suelo actual y que claramente corresponden a otro pulso de sedimentación posterior a la edafización estudiada en el presente trabajo.

Se obtuvieron 14 niveles sucesivos desde la base de la unidad A hasta el techo de la unidad C. La distancia entre niveles de muestreo es de 10 cm a 15 cm. En cada nivel se tomó todo el sedimento de una canaleta horizontal de 30 cm por 5 cm. En el laboratorio este material se secó, se homogeneizó y se cuarteó. Se prepararon varias muestras de cada nivel para cada uno de los diferentes parámetros medidos.



**Figura 2.** Variación estratigráfica de: susceptibilidad magnética específica medida a 470 Hz (triángulos rojos) y 4700 Hz (cuadrados azules); relación  $\chi_{fd\%}$ , magnetización de saturación (Ms) y magnetización remanente de saturación (Mrs). Magnitudes en función de la posición estratigráfica de los especímenes. Los valores de susceptibilidad (sistema SI) están expresados en  $m^3/kg$ .



### 3 Estudio de magnetismo de rocas

Cada uno de los parámetros se midió sobre más de una muestra de cada nivel (entre 2-4 según el ensayo), con el objetivo de comparar la coherencia interna de los resultados obtenidos y los datos analizados son el promedio de todas las mediciones de cada uno de los parámetros de cada nivel.

En el Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA) se efectuaron:

- a) Mediciones de la susceptibilidad magnética total en dos frecuencias con un susceptibilímetro Bartington MS2.
- b) Experimentos de adquisición de magnetización remanente isotérmica hasta un campo aplicado máximo de 1 Tesla con un magnetizador de pulsos "ASC Scientific" y un magnetómetro Molspin.
- c) Curvas de variación de la susceptibilidad con incremento de la temperatura y curvas de variación de la susceptibilidad magnética con la variación del campo aplicado se realizaron en un equipo AGICO MFK1-Kappabridges.

En el Laboratório de Anisotropias Magnéticas e Magnetismo de Rocha do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - BRASIL se midieron los ciclos de histéresis con un magnetómetro de vibración de muestra (vibrating sample magnetometer, VSM) Molspin. De estos ciclos se obtuvieron parámetros magnéticos tales como: magnetización de saturación ( $M_s$ ), magnetización remanente de saturación ( $M_{rs}$ ), fuerza coercitiva ( $B_c$ ), coercitividad de la remanencia ( $B_{cr}$ ) y susceptibilidad paramagnética ( $\chi_{pa}$ ).

La susceptibilidad magnética específica inicial ( $\chi$ ) se midió tanto en baja como en alta frecuencia (470 Hz y 4700 Hz). Con estos valores se calculó la susceptibilidad dependiente de la frecuencia ( $\chi_{fD\%} = [\text{susc}_{470 \text{ Hz}} - \text{susc}_{4.700 \text{ Hz}} / \text{susc}_{470 \text{ Hz}}] 100$ ).

La interpretación de los estudios de magnetismo ambiental provee información sobre la concentración, tamaño de grano y mineralogía magnética del material sedimentario estudiado.

En la Figura 2 se representan las fluctuaciones de la susceptibilidad magnética total en baja frecuencia (LF) y alta frecuencia (HF) y los valores de  $\chi_{fD\%}$  en función de la posición estratigráfica de las muestras. El parámetro ( $\chi_{fD\%}$ ) registró valores inferiores al 5% en todas las muestras. Si bien las muestras 10 a 12 presentan un leve incremento sus valores llegan como máximo al 4%; de estos datos no se puede inferir la existencia de una fracción superparamagnética (SP) significativa en las mismas (Bloemendal *et al.*, 1985, Thompson y Oldfield, 1986, entre otros).

Un rasgo significativo observado en el perfil de la Susceptibilidad ( $\chi$ ) (Fig.2) es la tendencia a valores decrecientes de la parte basal, unidad A, hacia la parte superior, unidad C. El mínimo observado en la  $\chi$  total, se corresponde con el sector más edafizado del perfil estudiado. Los valores del parámetro oscilan entre  $0.4 \times 10^{-6}$  y  $1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$  (Tabla 1). Los valores de la magnetización remanente de saturación fluctúan de  $4 \times 10^{-3}$  hasta  $3.5 \times 10^{-5} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$  disminuyendo de base a techo y los de magnetización de saturación varían entre  $3 \times 10^{-3}$  y  $43 \times 10^{-3} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ . En la Figura 2 se grafican los valores de magnetización de saturación y los de remanencia de saturación y se observa el fuerte correlato de los 3 parámetros ( $\chi$ ,  $M_{rs}$ ,  $M_s$ ), los valores



decrecen desde la unidad A hacia la unidad C. Este decremento de los valores, similar en los tres parámetros, es atribuible en primera instancia a una disminución de la concentración de minerales ferromagnéticos (considerados en sentido amplio: *s.l. sensu lato*) de A a C.

La coercitividad medida osciló entre 5 y 8.5 mT y la coercitividad de la remanencia varió entre 15 y 35 mT (Tabla 1). En la Figura 3 se graficaron las fluctuaciones de estos dos parámetros en función de su posición estratigráfica. En esta figura puede observarse que el valor de Bc se intensifica levemente en la unidad C. Mientras que los valores de Bcr presentan suaves oscilaciones atribuibles a pequeñas variaciones en la mineralogía o tamaño de grano magnético. El rango en el que fluctúan los valores de Bc y Bcr del material estudiado son los esperados para magnetitas y/o titanomagnetitas (Dekkers, 1988, Roberts *et al.*, 1995, Dankers, 1978).

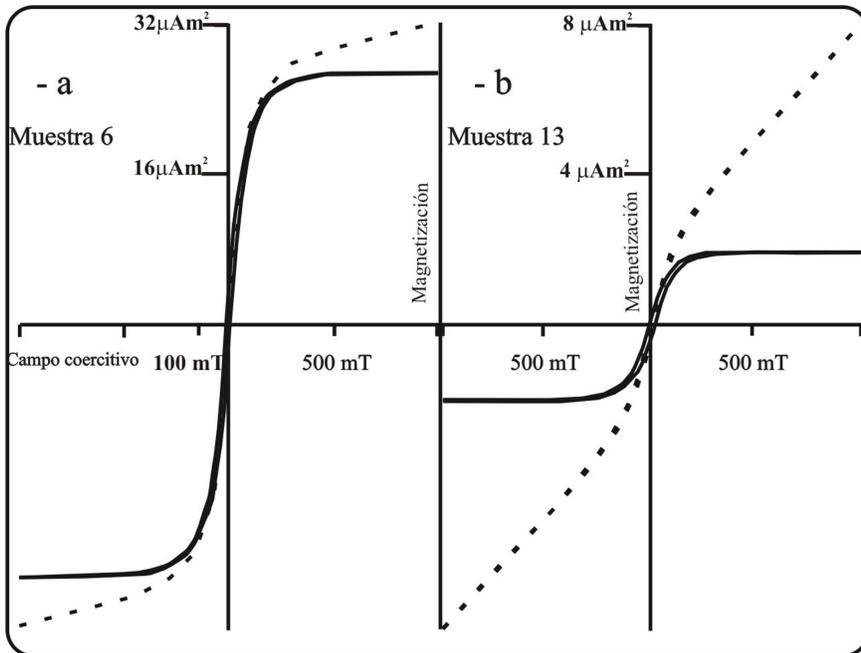
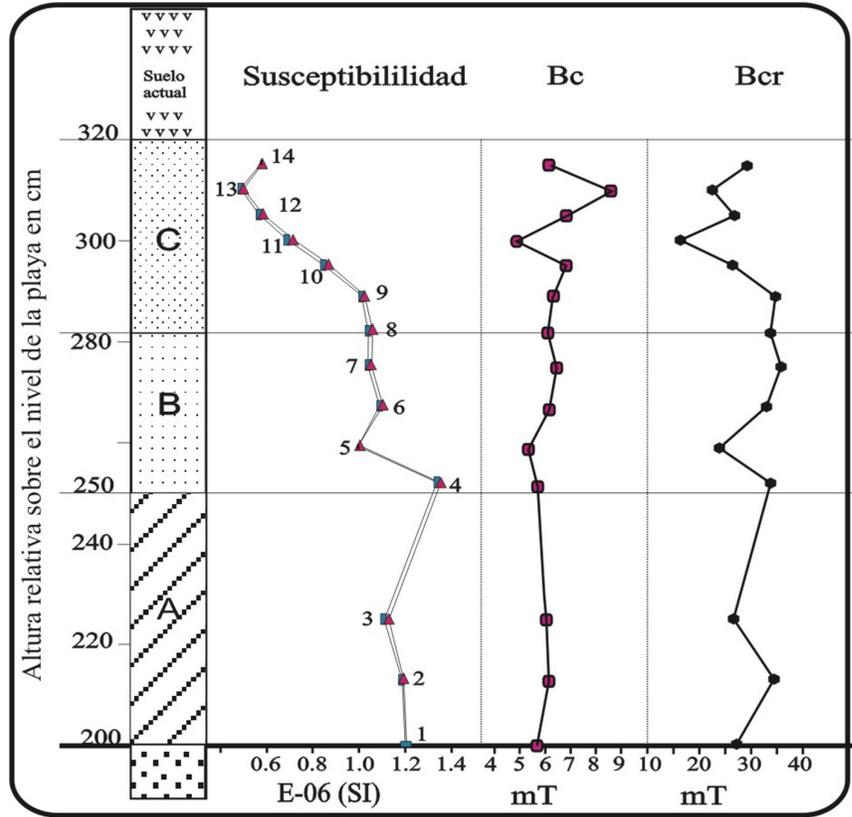
Todas las muestras presentan ciclos de histéresis angostos, propios de minerales de baja coercitividad (titanomagnetitas) y alcanzan la saturación a 300 mT. Sin embargo, hay una clara diferencia entre los ciclos de las muestras de los niveles 1-8 que presentan Ms mayores y coercitividades mas bajas (Fig. 4 a) y los ciclos de 9-14 que presentan Ms menores, coercitividades ligeramente mayores y alto contenido de minerales paramagnéticos (Fig. 4 b).

Nivel	Susceptibilidad	Susceptibilidad	Ms	Mrs	Bc	Bcr
	470 Hz (m <sup>3</sup> /kg)	4700 Hz (m <sup>3</sup> /kg)				
14	0.583E-06	0.577E-06	1.95E-02	1.65E-03	6.15	28.98
13	0.499E-06	0.488E-06	3.26E-03	5.04E-04	8.58	22.30
12	0.583E-06	0.564E-06	1.06E-02	9.49E-04	6.94	26.79
11	0.714E-06	0.685E-06	5.56E-03	3.51E-04	4.88	16.51
10	0.866E-06	0.843E-06	1.08E-02	7.98E-04	6.82	26.32
9	1.02E-06	1.01E-06	3.76E-02	2.43E-03	6.29	34.55
8	1.06E-06	1.04E-06	3.61E-02	2.30E-03	6.07	33.54
7	1.05E-06	1.04E-06	4.55E-02	3.13E-03	6.47	35.64
6	1.10E-06	1.09E-06	3.52E-02	2.34E-03	6.16	32.82
5	1.00E-06	0.995E-06	1.38E-02	8.66E-04	5.35	23.67
4	1.35E-06	1.34E-06	5.06E-02	2.77E-03	5.67	33.6
3	1.12E-06	1.11E-06	1.87E-02	1.17E-03	6.02	26.75
2	1.19E-06	1.19E-06	5.46E-02	3.57E-03	6.13	34.17
1	1.20E-06	1.20E-06	2.99E-02	1.82E-03	5.64	27.25

**Tabla 1.** Valores de susceptibilidad másica a dos frecuencias (470 Hz y 4700 Hz), magnetización de saturación (Ms), magnetización remanente de saturación (Mrs), fuerza coercitiva (Bc) y fuerza coercitiva de la remanencia (Bcr) para cada nivel de muestreo del perfil estudiado.



**Figura 3.** Variación estratigráfica de: susceptibilidad magnética específica medida a 470 Hz (triángulos rojos) y 4700 Hz, (cuadrados azules); campo coercitivo (Bc), fuerza coercitiva de la remanencia (Bcr). Magnitudes en función de la posición estratigráfica de los especímenes.



**Figura 4.** Ciclos de histéresis de muestras representativas de cada grupo. Las figuras con líneas punteadas corresponden a los ciclos sin corregir la contribución paramagnética y las figuras de línea continua corresponden a los ciclos corregidos.

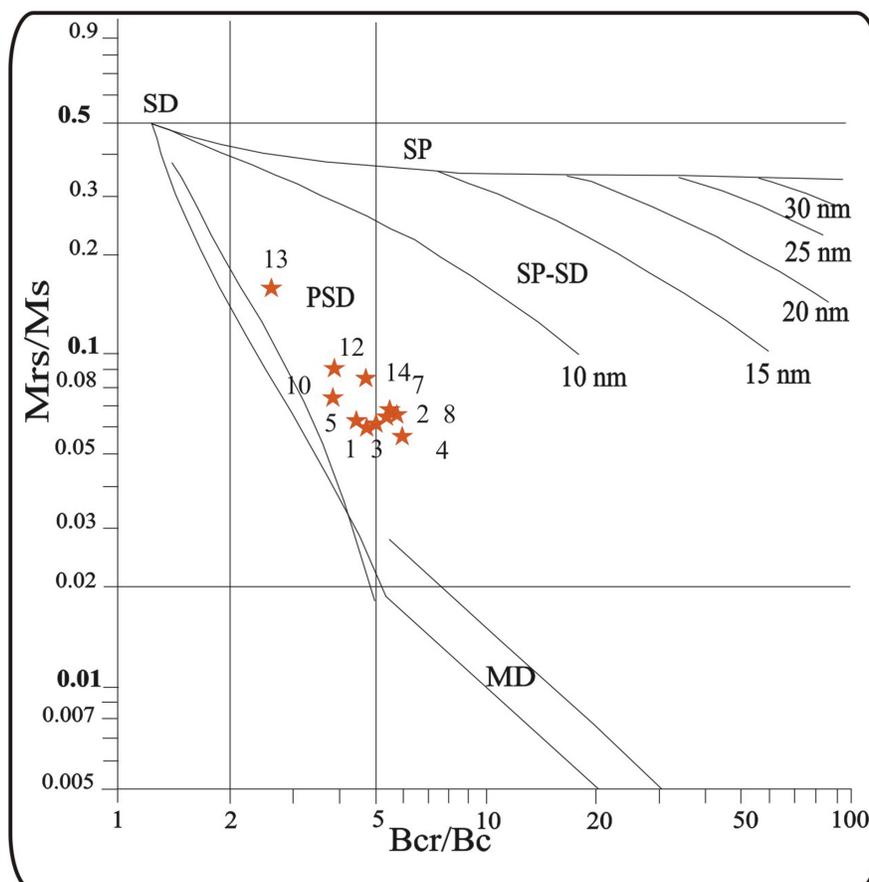
Para el análisis se ha utilizado un diagrama de Day *et al.* (1977) modificado por Dunlop (2002) el cual es válido para un agregado unimodal de magnetita. Siendo los minerales ferrimagnéticos los dominantes en la secuencia, se han representado las relaciones  $M_{rs}/M_s$  vs  $B_{cr}/B_c$ , en el mismo diagrama. En la Figura 5 se observa que los valores de las muestras estudiadas coinciden en los campos de tamaño de partículas pseudo dominio simple (PSD).



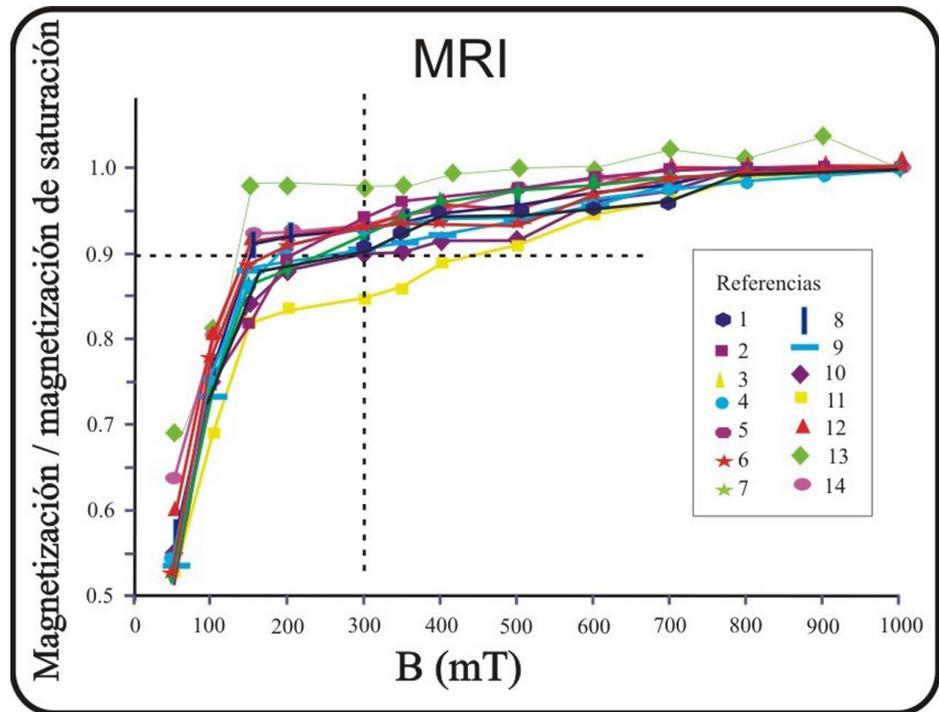
Las curvas de MRI (Fig. 6) muestran que los minerales magnéticos presentes adquirieron el 90 % de la magnetización de saturación antes de los 300 mT. Este comportamiento es característico de los minerales de baja coercitividad como magnetitas y titanomagnetitas. La muestra del nivel 11 presenta un comportamiento levemente diferente. A 300 mT adquirió el 85 % de la magnetización remanente de saturación, este nivel se encuentra en la zona de mayor alteración pedogenética del perfil. Se descarta la presencia de un mineral antiferromagnético presente en cantidades detectables ya que su ciclo de histéresis alcanzó la saturación a 300 mT. Es posible que los granos de los minerales magnéticos se encuentren maghemitizados o que haya una pequeña proporción de granos con comportamiento superparamagnético ya que es la muestra que presenta mayor relación  $\chi_{FD\%}$ . A baja temperatura se puede producir la oxidación de la magnetita a maghemita ( $\gamma \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) por meteorización subaérea o subácea alterando la superficie de los minerales.

Del análisis de los ciclos de histéresis, y de las curvas termomagnéticas, no es posible identificar la presencia de minerales antiferromagnéticos en ninguno de los niveles de la secuencia.

Las curvas de variación de la susceptibilidad con la temperatura son irreversibles. Durante el calentamiento se produjo una alteración de la fase mineralógica principalmente a magnetita. Las muestras exhiben temperaturas de Curie ( $T_c$ ) entre los  $450^\circ$  y  $580^\circ$  C, que indican la presencia de minerales ferrimagnéticos (titanomagnetitas con distinta sustitución isomórfica del Fe por Ti o por otro catión divalente) (Fig. 7).



**Figura 5.** Representación de los cocientes de los parámetros de la curva de histéresis ( $M_{rs}/M_s$  y  $B_{cr}/B_c$ ) en un diagrama de Day *et al.* 1977 modificado según Dunlop 2002.



**Figura 6.** Curvas de adquisición de MRI (campo máximo aplicado  $B = 1$  T). En la misma se observa que las curvas obtenidas adquirieron el 90 % de su magnetización a 300 mT, esto implica que corresponden a minerales de baja coercitividad.

Las curvas de variación de la susceptibilidad con campo son ligeramente convexas típicas de titanomagnetita (Fig.8).

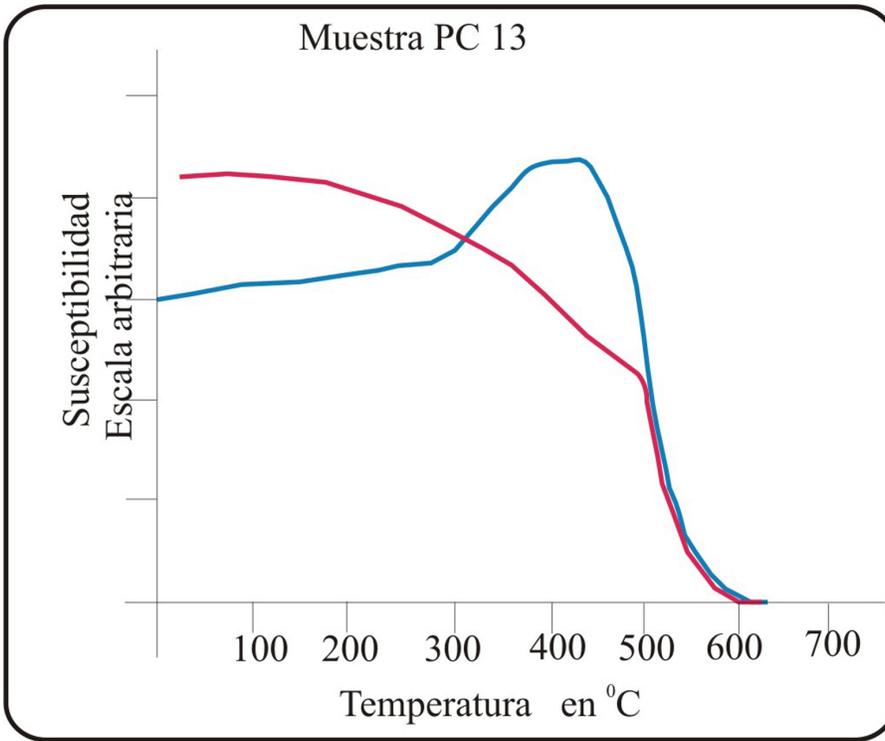
#### 4 Discusión

La influencia del clima es un factor de primer orden en la formación de un suelo. Tanto la actividad química como la biológica se incrementan al aumentar la temperatura y humedad.

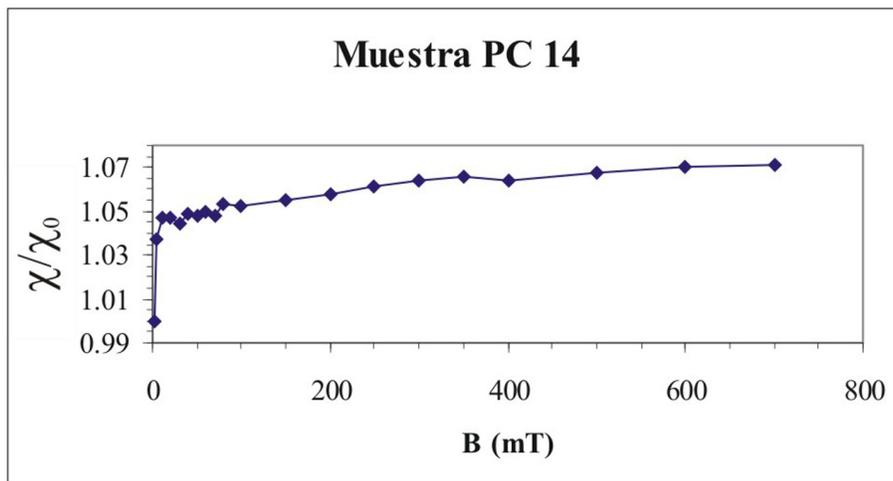
Si bien los portadores magnéticos constituyen una fracción minoritaria dentro de las rocas y los sedimentos, su sensibilidad a cambios químicos, los vuelven excelentes detectores de cambios ambientales (Verosub y Roberts, 1995).

En todo el perfil estudiado se observa la presencia de materia orgánica, moldes de raíces revestidos por cutanes y estructuras prismáticas, pero estas características son escasas en la unidad A, se intensifican en la unidad B y son muy abundantes en la unidad C.

El horizonte edafizado (C) presenta un decremento de los parámetros magnéticos ( $\chi$ ,  $M_s$ ,  $M_{rs}$ ) de base a techo. Asimismo se deduce, de la interpretación de los ciclos de histéresis, que la cantidad de minerales paramagnéticos aumenta considerablemente en estos horizontes (Fig. 4 b). Dadas las características intrínsecas de la susceptibilidad total, las variaciones observadas no pueden interpretarse unívocamente. No es posible atribuir a una sola causa las disminuciones observadas en la Figura 2. Estas podrían deberse a una menor concentración de la fracción ferrimagnética, a cambios mineralógicos, ó a una variación en el tamaño de grano de la citada fracción.



**Figura 7.** Curva termomagnética. Curva roja calentamiento. Curva azul enfriamiento.



**Figura 8.** Variaciones de la susceptibilidad normalizada vs. el campo aplicado.

Como la relación  $\chi/M_{rs}$  permanece constante implica que no hay variaciones significativas en el tamaño de grano a lo largo de la secuencia. Las caídas observadas en el  $M_s$  y  $M_{rs}$  se atribuyen a una disminución en la cantidad de minerales ferrimagnéticos presentes en los citados sectores.

Los valores de  $B_c$  y  $B_{cr}$  corresponden a minerales ferrimagnéticos y las pequeñas variaciones detectadas no indican la presencia de minerales antiferromagnéticos.

El decremento de los tres parámetros magnéticos ( $\chi$ ,  $M_s$  y  $M_{rs}$ ) es atribuible entonces, en primera instancia, a un proceso de disminución gradual de la cantidad de partículas ferrimagnéticas detríticas.



El aumento de la susceptibilidad paramagnética en los niveles superiores, implica un aumento relativo de los minerales arcillosos concentrados pedogenéticamente.

La fracción de granos con comportamiento SP es aquella cuyo diámetro es  $< 30$  nm. Los valores de  $\chi_{\%FD}$  inferiores al 5% en todas las muestras, no permiten inferir la existencia de una fracción superparamagnética (SP) significativa en la secuencia.

Del análisis de los parámetros estudiados no se observa la presencia de minerales magnéticos de alta coercitividad. La neoformación de minerales antiferromagnéticos ocurriría por deshidratación de los geles amorfos creados durante los procesos de edafosíntesis, cuando el clima presenta una importante fase seca. Posiblemente el hierro ferroso producto de los procesos de alteración química de los minerales, principalmente por hidrólisis y óxido-reducción, se lixivió del perfil ó aún permanece en él como hidróxidos amorfos, ya que no hubo en el área suficientes y prolongados periodos de sequía durante los cuales se deshidrataran y cristalizaran.

El comportamiento magnético de la secuencia estudiada estaría reflejando en el paleosuelo una disminución de la fracción ferrimagnética detrítica (magnetita y / o titanomagnetitas) con respecto al material sedimentario sin edafizar, producido por los procesos pedogenéticos que la afectaron.

## 5 Conclusiones

Se detecta en el paleosuelo, mediante el estudio de los parámetros magnéticos, una disminución de los minerales ferrimagnéticos en los niveles pedogenéticos con respecto a los niveles inferiores sin edafizar. Los procesos edáficos que actuaron durante el desarrollo del suelo son los responsables de dicha pérdida.

Este comportamiento se observa tanto en sedimentos eólicos como fluviales de diferente edad, en la llanura Pampeana.

No se detectó la neoformación de nanopartículas de magnetita y/o maghemita (tamaño de grano magnético denominado superparamagnético, SP). No se detectó la formación de neominerales antiferromagnéticos (hematita o goethita).

La ausencia de estos minerales se asocia con períodos de clima cálido sin una fase estacional seca.

El avance glacial, Drift Cabo Vírgenes, ocurrido durante el Estadío Isotópico 12 y el avance, Drift Punta Delgada, acaecido durante el Estadío Isotópico 10, son anteriores a la depositación de esta unidad. El siguiente avance glacial en la zona de estudio fue el Drift Primera Angostura, el cual se estima ocurrió durante el Estadío Isotópico 6, por lo tanto, es probable que estos sedimentos se depositaran antes de este período y se edafizaran en algunos de los períodos de calentamiento que siguieron, probablemente en el Estadío Isotópico 5, durante el subestadío 5e, que fue el más extenso y el de mayor temperatura.



## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado en el marco del proyecto de investigación PIP N° 5782 AMBITEC. Los autores desean agradecer a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y al CONICET. Al personal de la Estación Astronómica de Río Grande, Tierra del Fuego, por su apoyo logístico durante la campaña. Los autores quieren expresar su agradecimiento a los señores árbitros Dr. Marcos A. E. Chaparro, Dr. Manuel Calvo Rathert y al señor editor Dr. Augusto Rapalini por los valiosos comentarios y sugerencia, los cuales ayudaron a mejorar el manuscrito.

## References

- Bidegain, J. C., van Velzen, A. J., Rico, Y., 2001. Parámetros magnéticos en una secuencia de loess y paleosuelos del Cenozoico tardío en la cantera de Gorina, La Plata: su relevancia en el estudio de los cambios paleoclimáticos y paleoambientales, *Revista de la Asociación geológica Argentina*, 56 (4), 503-516.
- Bloemendal, J., Barton, C. E., Radhakrishnamurthy, 1985. Correlation between Rayleigh loops and frequency-dependent and quadrature susceptibility: Application to magnetic granulometry of rocks, *Journal Geophysics*, 90, 8789-8792.
- Coronato, A., Meglioli, A., Rabassa, J., 2004. Glaciations in the Magellan Straits and Tierra del Fuego, southernmost South America, en: Ehlers, J., Gibbard, P. L. (editors). Quaternary Glaciations- Extent and Chronology, Part III: South America, Asia, Africa, Australasia, Antarctica, *Developments in Quaternary Science*, 2, 45-48.
- Day, R., Fuller, M., Schmidt, V. A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13, 260-267.
- Dankers, P. H. M., 1978. *Magnetic properties of dispersed natural iron-oxides of known grain-size*, Tesis Doctoral Rijksuniversiteit te Utrecht, Netherlands, Inédito, 143 p.
- Dekkers, M. J., 1988. *Some rock magnetic parameters for natural goethite, pyrrhotite and fine grained hematite*, Geologica Ultraiectina, N 51 Ph. D. Thesis, University of Utrecht, 231 p.
- Dunlop, D. J., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Bcr/Bc) 2. Application to data for rocks, sediments, and soils, *Journal of Geophysical Research*, 107 (B3) 10.1029-2001 JB000487.
- Figini, A., Huarte, R., Carbonari, J. Tonni, E. P., 1998. Edades C-14 en un perfil del arroyo Tapalqué, Provincia de Buenos Aires, Argentina Contribución a la cronología de acontecimientos faunísticos ambientales. *Actas del 10º Congreso Latinoamericano de Geología y 6º Congreso Nacional de Geología Económica*, 1, 27-31.
- Orgeira, M. J.; Walther, A. M.; Tófaló, R.; Vásquez, C. A.; Berquó T., Favier Dubois, Bhoneil, H., 2003. Environmental magnetism in fluvial and loessic Holocene sediments and paleosols from the Chacopampean Plain (Argentina). *Journal of South American Earth Science*, 16, 259-274.



- Rabassa, J., Coronato, A., Bujañesky, G., Salemme, M., Roig, C., Meglioli, A., Heusser C., Gordillo, S., Roig, F., Borrromei, A., Quattrocchio, M., 2000. Quaternary of Tierra del Fuego, Southernmost South America: an updated review. *Quaternary International*, 68-71, 217-240.
- Rabassa, J., Cononato, A. M., Salemme, M., 2005. Chronology of the late Cenozoic Patagonian glaciations and their correlation with biostratigraphic units of the Pampean region (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 20, 81-103.
- Roberts, A. P., Yulong Cui Y., Verosub, K. L., 1995. Wasp-waisted hysteresis loops: Mineral magnetic characteristics and discrimination of components in mixed magnetic systems. *Journal of Geophysical Research*, 100 (B9) 17909-17924.
- Thompson, R., Oldfield, F., 1986. *Environmental Magnetism*, Allen and Unwin, London, 227 p.
- Vásquez, C. A., Walther, A. M., Orgeira, M. J., Di Tommaso, I., Alonso, S., Lippai, H., Vilas, J. F., 1998. Magnetic properties and environmental conditions: Study of a paleosol of Chacopampean plain (Argentina), *Quaternary of South America and Antartic Peninsula*, 11, 195-206.
- Verosub, K. L., Roberts, A. P., 1995. Environmental magnetism: Past, present, and future, *Journals Geophysics Research*, 100, 2175-2192.
- Walther, A. M., Orgeira, M. J., Lippai, H. F., 2004. Magnetismo de rocas en sedimentos cenozoicos tardíos en San Antonio de Areco provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (3), 433-442.
- Walther, A. M., 2005. *Magnetismo ambiental aplicado al estudio geológico y paleoclimatológico de secuencias sedimentarias cenozoicas tardías de la llanura Pampeana*. Tesis de doctorado Universidad De Buenos Aires, Argentina. Inédito.