

ESTUDIO DE MAGNETISMO DE ROCAS EN SUCESIONES CENOZOICAS DE URUGUAY

Judith Loureiro, Andrés Rinderknecht & Leda Sánchez-Bettucci

Facultad de Ciencias, Instituto de Geología y Paleontología, Departamento de Geología, Área Geofísica-Geotectónica. Iguá 4225, Malvin Norte, CP. 11400. Montevideo, Uruguay. Tel: 059-5258618; Fax: 059-5258617

judith@fcien.edu.uy / rinderk@adinet.com.uy / leda@fcien.edu.uy

ABSTRACT

A study of the magnetic mineralogy of two Quaternary sections located at Canelones Department, Uruguay, was carried out. Both sites studied, San Luis and El Águila, show approximately four metres thick loess-palaeosol and fluvial sequences. The El Águila sequence was characterised by two palaeosols interbedded with one loess layer, and the San Luis sequence by only loess and fluvial layers at the bottom. The results of magnetic determination suggest a titanomagnetite and magnetite magnetic mineralogy and PSD particle size.

Key words: Quaternary, loess, palaeosols, rock magnetism, Uruguay.

RESUMEN

Se efectuó el estudio de la mineralogía magnética de dos secciones cuaternarias localizadas en el Departamento de Canelones. Los sitios estudiados, El Águila y San Luis, presentan alrededor de cuatro metros de loess, paleosuelos y sucesiones fluviales. La sucesión El Águila está caracterizada por dos niveles de paleosuelos con un loess intercalado. La sucesión de San Luis presenta un solo nivel de loess y niveles fluviales en la base. Los resultados sugieren que la mineralogía magnética esta dada por titanomagnetita y magnetita y corresponden al tamaño de grano PSD.

Palabras Claves: Cuaternario, loess, paleosuelos, magnetismo de rocas, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

Los sedimentos cuaternarios uruguayos fueron descritos por Antón y Goso (1974); Antón (1975); Goso (1985, 1986) y Panario (1988). El loess en este país tiene el mismo origen que aquel de la Argentina (Provincia de Corrientes y llanura chacopampeana), aunque presenta algunas diferencias en lo referente al tamaño de grano y mineralogía, que reflejan la variación en la distancia al área fuente, condiciones climáticas de depositación y potencial geomorfológico (Panario y Gutiérrez, 1999). Los depósitos de loess en Uruguay presentan variaciones laterales y su potencia varía entre 1 y 2 m (en superficie) hasta 47,5 m en una perforación en la localidad de San Carlos, Departamento de Maldonado (C. Goso *com. pers.*). Su distribución areal en Uruguay fue dada a conocer por Bossi et al. (1975). Los niveles loésicos fueron incluidos por Goso (1985) en las Formaciones Libertad I y Libertad II. La Formación Libertad I, asignada al Pleistoceno inferior (Panario y Gutiérrez, 1999), correspondería a un material eólico, generalmente masivo, poroso y fuertemente carbonatado.

Composicionalmente, se caracteriza por la presencia de illita (Bossi y Navarro, 1991) como mineral arcilloso dominante, que indicaría condiciones climáticas frías y secas (Goso 1985). La Formación Libertad II se encuentra enriquecida en montmorillonita, lo que sugiere condiciones climáticas más húmedas y cálidas que las que regían en la depositación de la Formación Libertad I (Goso, 1985).

Según Panario y Gutiérrez (1999) ambas formaciones fueron retrabajadas por agua; presentan estructuras edáficas prismáticas, concreciones calcáreas, películas de arcilla y otros rasgos indicativos de procesos de lixiviación característicos de horizontes B, por lo que se trataría de un loess retrabajado.

Por otra parte, Panario y Gutiérrez (1999) correlacionaron las formaciones cuaternarias del Uruguay con aquellas de Argentina, en particular la Formación Libertad I con la Formación Hernandarias y Formación Libertad II con la Formación Alvear. Asimismo, estos autores sugirieron que la repetición cíclica del par loess-paleosuelo sugiere que las condiciones climáticas fueron variables durante el Pleistoceno superior y Holoceno. Las sucesiones de paleosuelos intercalados con niveles loésicos presentan una gran cantidad de vertebrados fósiles de afinidad Lujanense.

Esta región ha sido sujeto de investigaciones geomorfológicas, arqueológicas y paleontológicas (Panario y Piñeiro, 1997).

Por otra parte se ha definido a la Formación Dolores (Goso, 1972; Antón y Goso, 1974) como "el último evento importante de Libertad" (*sic*) (Goso, 1985) -Libertad III- asociado a un momento glacial (Würm I). Panario y Gutiérrez (1999) señalaron que todos los depósitos loésicos desarrollados en el fondo de los antiguos valles fluviales y las acumulaciones loésicas de las cuencas cuaternarias fueron cartografiadas como Formaciones Dolores o Sopas. La Formación Dolores-Sopas (*sensu* Panario y Gutiérrez, 1999) incluye, según estos autores, coluviones y terrazas aluviales (*sic*) de edad que se remontaría al Pleistoceno superior. En esta unidad formacional fueron separados dos miembros: el basal, formado por sedimentos de canales fluviales con gravilla y cantos, clastosporte o matrizsoportada. La matriz puede variar de pelítica a arenosa. En otras partes, principalmente el curso inferior de los ríos aparece loess retransportado poco consolidado. Suelen encontrarse restos de mastofauna y malacofauna de edad mínima 43.000 a 45.000 años BP (Ubilla, 1999).

El segundo miembro está representado por sedimentos pobremente consolidados que recubren al anterior. Presenta evidencias de pedogénesis y además, son comunes las concreciones calcáreas y niveles de calcretas. Los procesos pedogenéticos dificultan la discriminación de loess (transporte eólico) del retrabajado. En este miembro es común la presencia de restos de mastofauna.

Desde el punto de vista paleontológico los depósitos correspondientes a las formaciones Libertad y Dolores se caracterizan por la presencia de restos de mamíferos. Los géneros *Toxodon*, *Glyptodon*, *Macrauchenia* y *Panochthus* son asignados por Bossi y Navarro (1991) a la Formación Libertad.

La mastofauna de la Formación Dolores está representada principalmente por: *Propaopus* sp., *Pampatherium* sp., *G. clavipes*, *Panochthus tuberculatus*, *Clamydotherium* sp., *Doedicurus* sp., *Mylyodon darwini*, *Arctodus pamparus*, *Smilodon populator*, *Palaeolama weddelli*, y *Macrauchenia patachonica* (Perea, 1988). Algunas de estas especies como *Mylyodon darwini* pueden indicar condiciones climáticas de mayor frío y aridez que el que existe hoy en las mismas latitudes, posiblemente vinculado al último glacial (Perea, 1988). Por otra parte, este autor postuló la isocronía de la Formación Dolores con la subedad Lujanense piso Lujanense superior de la Provincia de Buenos Aires.

Los estudios de magnetismo de rocas junto con la elaboración y estudio de perfiles detallados, como aquellos ya en progreso, representarán una signi-

ficativa contribución para la determinación de características paleoambientales en las sucesiones cenozoicas del Uruguay.

El uso de los parámetros de magnetismo de rocas contribuye a determinar la mineralogía magnética y el tamaño de partícula. Por otra parte, estos parámetros actúan como indicadores sensibles del clima y del medio ambiente depositacional. Es decir, marcan las condiciones ambientales reinantes en el momento de su sedimentación.

El objeto del presente trabajo es presentar los primeros resultados de los estudios de magnetismo de rocas, que luego podrán ser utilizados en la interpretación de la sucesión de cambios ambientales y/o climáticos ocurridos a lo largo de la depositación de los sedimentos cenozoicos del Uruguay.

Este trabajo es una contribución para el proyecto *Climatic and Human Changes in Latin America* auspiciado por la **National Science Foundation** (USA).

GEOLOGÍA

Las unidades aflorantes en la zona bajo estudio corresponden a las Formaciones Libertad, Chuy y Camacho.

A partir del estudio de las sucesiones sedimentarias y los perfiles levantados en la zona estudiada como también en afloramientos ubicados en el sudoeste de Montevideo (Barrancas Mauricio, Pto. Arazati, Balneario Kiyú; departamento de San José) fue posible separar a la Formación Libertad en distintas unidades informales:

- a) Paleosuelos
- b) Loess y loess retrabajado
- c) Depósitos fluviales y aluviales.

La Formación Chuy (Goso, 1972) se encuentra constituida fundamentalmente por depósitos arenosos de edad Pleistocénica (Sprechmann, 1978). El ambiente de sedimentación es marino a litoral con expresiones continentales fluviales (Goso et al., 1990).

Por último, aflora la Formación Camacho definida por Goso y Bossi (1966). Esta unidad está representada por sedimentos marinos y de ambiente marginal. El tope de esta unidad es considerada de edad Pleistoceno inferior-medio ("Edad-Mamífero" Ensenadense, Pleistoceno inferior y medio), mientras que la parte basal correspondería al Mioceno (Martínez, 1994).

Fueron estudiados y muestreados dos perfiles, localizados en los Balnearios San Luis (perfil homónimo) y Atlántida (El Águila), localizados, respectivamente, a aproximadamente 40 y 60 km de la ciudad de Montevideo (figura 1). El trabajo de campo incluyó la descripción de perfiles.

Perfil El Águila (figura 2)

El perfil El Águila está caracterizado de base a techo por una secuencia de depósitos fluviales (muestras 1 a 29) correspondientes a la Formación Chuy. Estas areniscas presentan laminación plano paralela con coloración ocre y verde. Lateralmente se observa estratificación entrecruzada. En este nivel es común la presencia de lentes arcillosos masivos y costras ferrificadas. La potencia de esta unidad es de aproximadamente 3 m. Suprayace en disconformidad la unidad loessica de la Formación Libertad (muestras 30 a 58). El límite superior de este nivel de loess está caracterizado por una costra ferrificada de 1 cm de espesor. Por encima se encuentra un paleosuelo, con estructura prismática (muestras 50 a 54). Este paleosuelo contiene abundante CaCO_3 . En discordancia erosiva ocurre una estructura de canal con estratificación plano paralela cuyo relleno está constituido por loess retrabajado.

Perfil San Luis (figura 3)

Desde la base al tope cuatro unidades diferentes fueron reconocidas:

- 1) fangos arcillosos continentales, correspondientes a la Formación Camacho (muestras 1 a 4);
- 2) en disconformidad erosiva se encuentran sedimentos arenosos muy finos a medios que contienen importantes cantidades de arcilla y limo fluvial de color marrón (muestras 5 a 12), correspondiente a la Formación Libertad.

La fauna asociada en este nivel es separada en dos grandes grupos siguiendo un criterio de tamaño corporal:

a) mitad inferior donde aparecen con frecuencia fragmentos fósiles de grandes mamíferos pertenecientes a los órdenes Xenarthra: (representado por los géneros *Glyptodon* y *Lestodon*); Artiodáctila (Cervidae indet.; y *Tayassu* sp.); Perissodactyla (Equidae indet.); y Notoungulata (*Toxodon* sp.). Esta mastofauna sugiere que el nivel en cuestión posee una afinidad Lujanense (Rinderknecht, 1998; Rinderknecht y Claramunt, 2000).

b) En la mitad superior se produce un cambio drástico en la fauna de vertebrados, encontrándose exclusivamente restos óseos de microvertebrados como anfibios leptodactílicos; reptiles pertenecientes a la familia Colubridae; así como aves de los órdenes Passeriformes y Piciformes. Por último en este nivel se encuentran representados roedores de la familia Caviidae (género *Galea*), y Cricetidae (género *Akodon*)

(Ubilla y Pardiñas, 1998; Ubilla y Rinderknecht, 2001).

3) Unidad loessica de la Formación Libertad. Corresponde a un loess masivo que se encuentra calcetizado en la parte superior.

La fauna asociada corresponde a restos mandibulares de roedores pertenecientes al género *Galea*.

4) Por último se encuentra desarrollado un horizonte edáfico B cámbico.

Es de destacar que entre los niveles 1 y 2 se localiza una planicie de abrasión (planicie Chuy) que estaría sugiriendo un límite de edad de 100,000 años (Panario *com. pers.*)

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de campo fueron sacadas utilizando tubos de cobre y bronce, y luego colocadas en bolsas de plástico. La distancia entre la toma de dos muestras consecutivas varía entre 10 y 15 cm. Mediciones de termorremanencia con VSM, y susceptibilidad magnética (k) fueron realizadas en el Instituto Astronómico y Geofísico, Laboratorio de la Universidade de São Paulo, Brasil.

La susceptibilidad magnética fue medida por medio del instrumento Bartington (MS2 WFP).

La mineralogía magnética fue investigada por medio de curvas de histéresis de alto campo en un Magnetómetro Vibrante (VSM, Molspin Ltda.). Para ese test las muestras fueron desagregadas, secadas y reducidas a submuestras de masa entre 0.6-0.9 g. Luego fueron sometidas a campos de hasta 1 tesla. Este campo pico es suficiente para saturar granos de titanomagnetita y titanomaghemita de todos los tamaños, pero no para minerales de alta coercitividad magnética como hematita, gohetita, etc.

Valores de fuerza de coercitividad (Hc), magnetización de saturación (Ms), y magnetización remanente o de saturación (Mrs) fueron determinados para cada ciclo de histéresis. La remanencia de coercitividad (Hcr) fue determinada por medidas de *back-field*.

Las curvas termomagnéticas fueron realizadas calentando los especímenes (de entre 2,9 y 4,6 g) hasta 700° C.

DETERMINACIONES MAGNÉTICAS

Propiedades de Histéresis

Todas las muestras están caracterizadas por una alta contribución de minerales paramagnéticos. Debido a esto, las curvas de histéresis debieron ser corregidas.

La relación Hcr/Hc (tabla 1) crece con el aumento del tamaño de grano de la mineralogía magnética,

mientras que la relación Mrs/Ms (tabla 1) decrece con el aumento del tamaño de grano de la mineralogía magnética (Day et al., 1977), tal como se observa en la figura 4 a y b.

La combinación de los parámetros de histéresis Mrs/Ms vs. Hcr/Hc señala que todas las muestras estudiadas caen dentro del rango de tamaño de grano PSD (dominio pseudo simple) a MD (multi dominio) (véase figura 5).

Particularmente, en el perfil El Águila las primeras ocho muestras (A30 a A37 con la excepción de las muestras A31 y A36) y las muestras A43 a A48 plotean en el campo de los MD, mientras que el resto lo hace en el campo de los PSD (véase figura 5a).

Los resultados obtenidos en la secuencia de San Luis muestran que la relación Msr/Ms vs. Hcr/Hc (Day et al., 1977) corresponde a un tamaño de partícula PSD para las muestras 5 a 37 (0,4 a 3,6 m), mientras que MD para las muestras 1 a 4 (0 a 0,4 m). Este último nivel corresponde a la Formación Camacho.

SUSCEPTIBILIDAD VS. TEMPERATURA

Durante los ensayos de termorremanencia, las muestras fueron calentadas hasta 700°C (temperatura superior a la de Curie para la magnetita, 580° C y para la hematita, 680° C). Durante este procedimiento fueron identificadas dos categorías de comportamiento.

El primer grupo muestra sólo una temperatura de Curie, alrededor de los 600° C (figuras 6 y 7).

El mayor decrecimiento de la susceptibilidad y la tendencia a ir a cero cerca de los 600° C sugiere una mineralogía magnética dominada por magnetita y/o titanomagnetita.

El segundo grupo presenta una caída alrededor de los 250–350°C y una tendencia a ir a cero entre los 600 y 700°C.

El incremento en susceptibilidad magnética entre la temperatura de base y 350°C es atribuido a una transformación química inducida térmicamente de los minerales de arcilla ricos en hierro a maghemita, que es estable a presión atmosférica por encima de 300 a 400°C y probablemente se empieza a convertir en hematita debido a la oxidación.

Una falta de reversibilidad podría ser observada en algunas de las muestras durante el enfriamiento. Esto indicaría que la magnetita (o parte de ella) ha sido resultado de la transformación de minerales no magnéticos o pobremente magnéticos en magnetita.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron, para ambos perfiles, que

el tamaño de partícula pertenece, en general, al campo de PSD y MD.

Las curvas de Histéresis muestran una importante participación de mineralogía paramagnética.

Los ploteos de termorremanencia sugieren que la mineralogía magnética está representada fundamentalmente por magnetita y/o titanomagnetita. Hacia el tope de la secuencia, en el perfil de San Luis, podría existir disolución de magnetita en el paleosuelo y por encima de éste un incremento en la concentración de la mineralogía ferromagnética. Asimismo, se ha observado un cambio notable en las propiedades magnéticas en el límite entre el nivel fluvial y loésico.

Es necesario el muestreo detallado de la sección para la determinación completa del comportamiento de las partículas magnéticas durante el evento edáfico.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (UDELAR) por el otorgamiento de fondos para (Leda Sánchez-Bettucci) realizar los estudios en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de San Pablo y en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Buenos Aires. Así también a la Dra. Marcia Ernesto, Directora del Instituto Astronómico y Geofísico de la Universidad de San Pablo por su invaluable apoyo en las tareas realizadas en su laboratorio y como árbitro de este trabajo. Al Dr. Endale Tamrat por la orientación y dirección en el trabajo realizado. Al Prof. Daniel Panario y al Lic. J.C. Fericola por su colaboración y discusión durante las tareas de campo.

REFERENCIAS

- ANTÓN, D. & GOSO, H. 1974. **Estado actual de los conocimientos sobre el cuaternario en el Uruguay**. *Annales do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, V 3: 151-157.
- ANTÓN, D. 1975. **Evolución Geomorfológica del Norte de Uruguay. Dirección de Suelos y Fertilizantes, MGAP.** 28 pp. Carta geomorfológica, Montevideo.
- BOSSI, J. & NAVARRO, R. 1991. **Geología del Uruguay**. V2: 463-970. Publicación de la Universidad de la República, Montevideo.
- BOSSI, J., FERRANDO, L., FERNÁNDEZ, A., ELIZALDE, G., MORALES, H., LEDESMA, J.J., CARBALLO, E., MEDINA, E., FORD, I. & MONTAÑA, J. 1975. **Carta Geológica del Uruguay a escala 1:1.000.000**, Edición de los autores, Montevideo.
- DAY, R., FULLER, M. & SCHMIDT, V. A. 1977. **Hysteresis properties of titanomagnetites Grain - size and compositional dependence**. *Phys. Earth. Planet. Inter.* 13: 260-267.
- GOSO, H., 1972. **Cuaternario. Publicación interna de la Dirección de Suelos. Ministerio de Agricultura y Pesca.** Informe Técnico, 32 pág. (inédito).
- GOSO, H. 1985. **El Cuaternario. Jornada de Geología y Estratigrafía del Cuaternario.** *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, 2: 10-20.
- GOSO, H. 1986. **El Cuaternario. Jornada de Geología y Estratigrafía del Cuaternario.** *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, 3: 12-17.
- GOSO, H. & BOSSI, J. 1966. **Relevamiento geológico del departamento de San José. Instituto Geológico del Uruguay.** Informe Técnico, 40 pp. (inédito).
- GOSO, H., NAHOUM, B., ANIDO, C., ORDEIX, J., GOSO, C., MUZIO, R. & BEHAK, L. 1990 **Estudio geotécnico de las torres de las nuevas líneas de alta tensión en Montevideo.** 1° Congreso Uruguayo de Geología. Resúmenes Ampliados. 2: 83-87. Montevideo. Uruguay.
- MARTÍNEZ, S. 1994. **Bioestratigrafía (Invertebrados) de la Formación Camacho (Mioceno, Uruguay).** Tesis de doctorado. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 346 pp. Buenos Aires
- PANARIO, D. 1988. **Geomorfología del Uruguay. Propuesta de un marco estructural y un esquema de evolución del modelado del relieve Uruguayo.** Publicación de la Facultad de Humanidades y Ciencias, Serie: Avances de Investigación, 32 pp. Montevideo.
- PANARIO, D. & GUTIÉRREZ, O. 1999. **The Continental Uruguayan Cenozoic: An Overview.** *Quaternary International*, 62: 75-84.
- PANARIO, D. & PIÑEIRO, G. 1997. **Vulnerability of oceanic dune systems under wind pattern change scenarios in Uruguay.** *Climate Research* Vol. 9, No. 1-2 : 67-72 Oldendorf / Luhe
- PEREA, D. 1998. **Xenarthra Del Neógeno Del Uruguay: La Biozona De Stromaphoropsis Kragl.(Glyptodontidae), Edad-Mamífero Huayqueriense.** Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias (inédito), 140 pp.
- RINDERKNECHT, A. 1998. **Nuevos microvertebrados fósiles para el Pleistoceno superior del Uruguay (Amphibia, Reptilia, Aves).** *Comunicaciones Paleontológicas del Museo Nacional de Historia Natural de Montevideo*, 2(30): 133-144, lám.1.
- RINDERKNECHT, A. & CLARAMUNT, S. 2000. **Primer registro de *Colaptes Vigors*, 1826, para el Pleistoceno del Uruguay (Aves: Piciformes: Picidae).** *Comunicaciones Paleontológicas del Museo Nacional de Historia Natural de Montevideo* 2(32): 157-160, fig. 1.
- UBILLA, M. & PARDIÑAS, U.. 1998. **Sigmodontinos (Mammalia, Rodentia) fósiles de Uruguay. VII Congreso Argentino de Paleontología y**

Bioestratigrafía, Resúmenes (Bahía Blanca, 4-9.10.1998), pág. 147.

- UBILLA, M. & RINDERKNECHT, A. 2001
Consideraciones sobre el género *Galea* Meyen, 1831 (Rodentia, Caviidae). Su registro en el Pleistoceno de Uruguay y Bolivia, y descripción de una nueva especie extinguida. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (sección Biológica), 96(3-4): 111-122. Madrid.
- UBILLA, M. 1999. **Dataciones radiocarbónicas (14C) para la Fm. Dolores (Río Santa Lucía; Depto. De Canelones y Ayo. Gutierrez Chico; Depto. De Río Negro) y comentarios sobre la fauna de vertebrados asociados.** Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 6: 48-54.

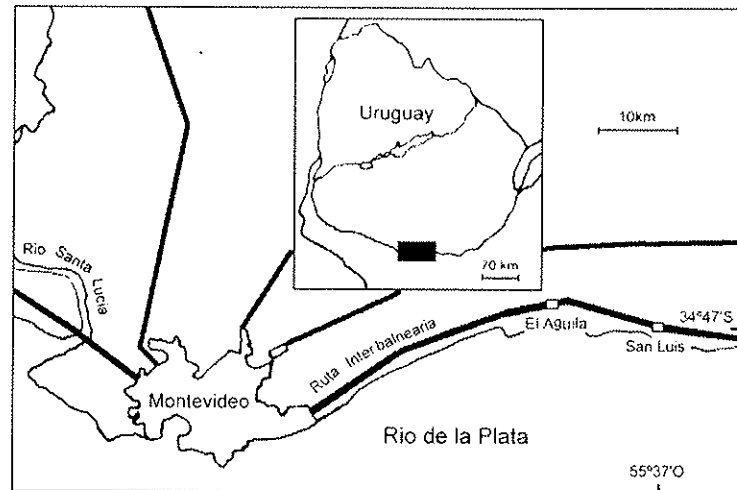


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona estudiada.
 Figure 1. Localization map of the studied zone.

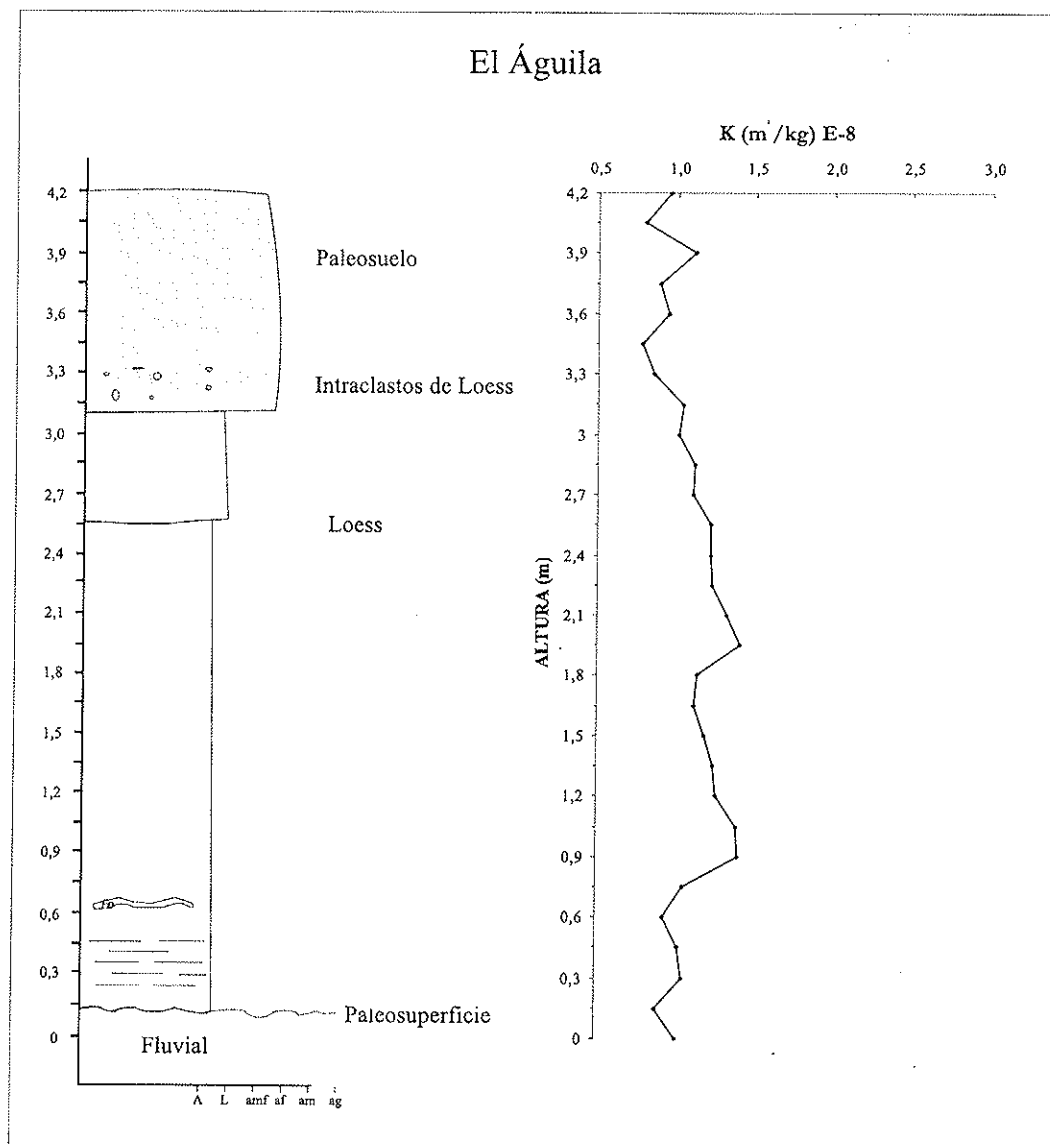


Figura 2. Perfil y curva de susceptibilidad magnética de la localidad de El Águila.
 Figure 2. Profile and magnetic susceptibility curve at El Águila locality

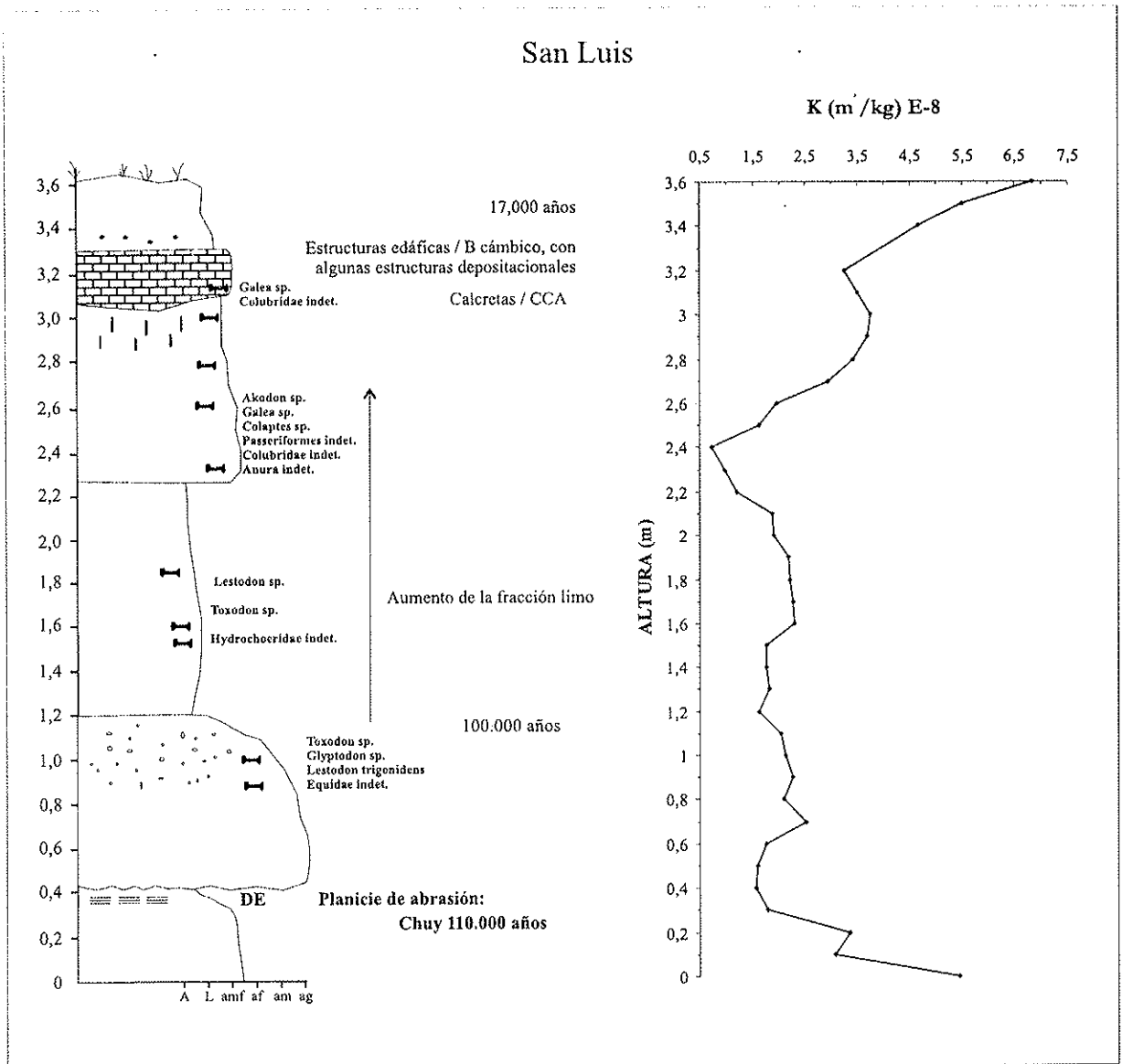


Figura 3. Perfil y curva de susceptibilidad magnética de la localidad de San Luis

Figure 3. Profile and magnetic susceptibility curve at San Luis locality

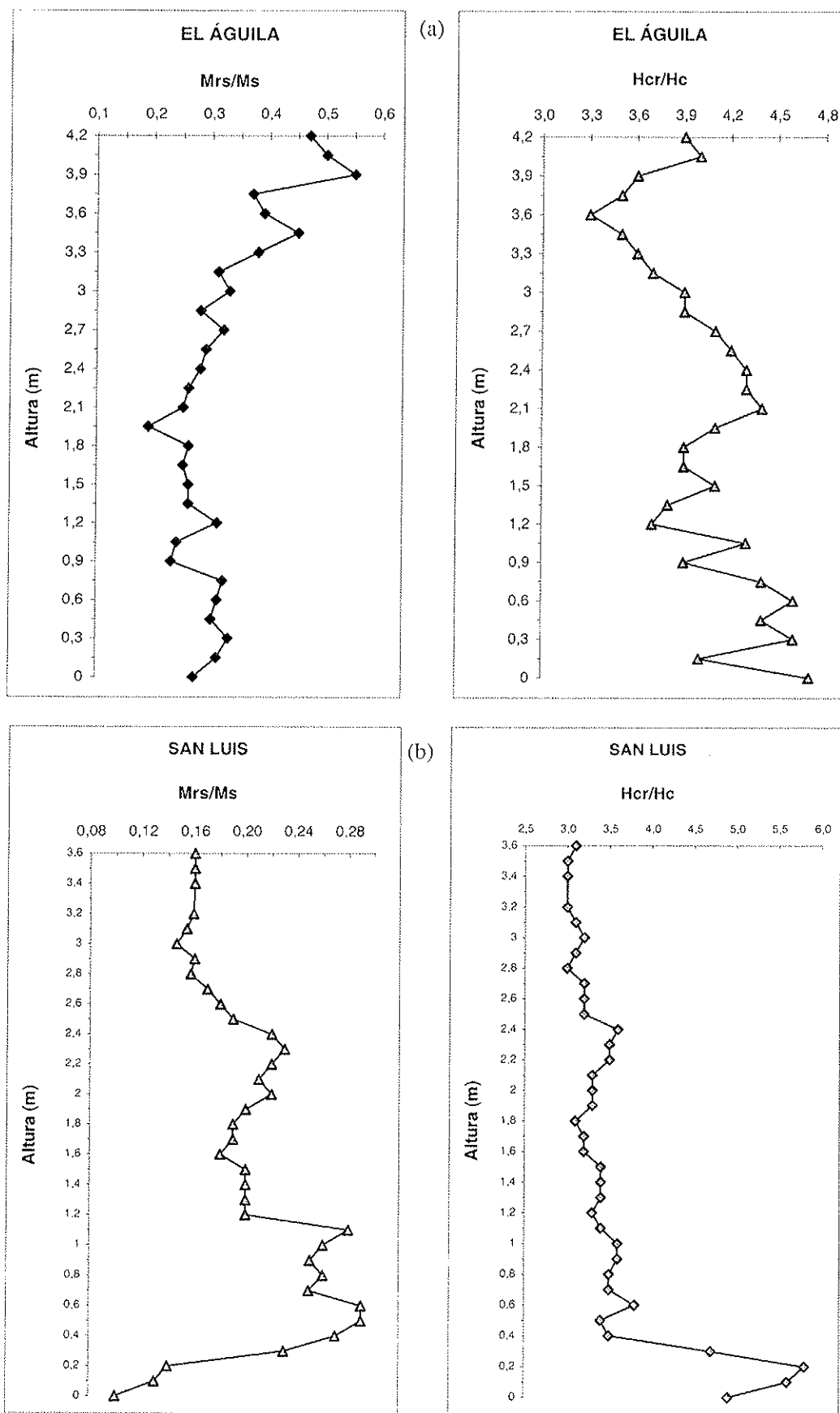


Figura 4. Variación de las relaciones Mrs/Ms y Hcr/Hc en los perfiles de (a) El Águila y (b) San Luis
 Figure 4. Variation of Mrs/Ms and Hcr/Hc ratios in the profiles of (a) El Águila and (b) San Luis

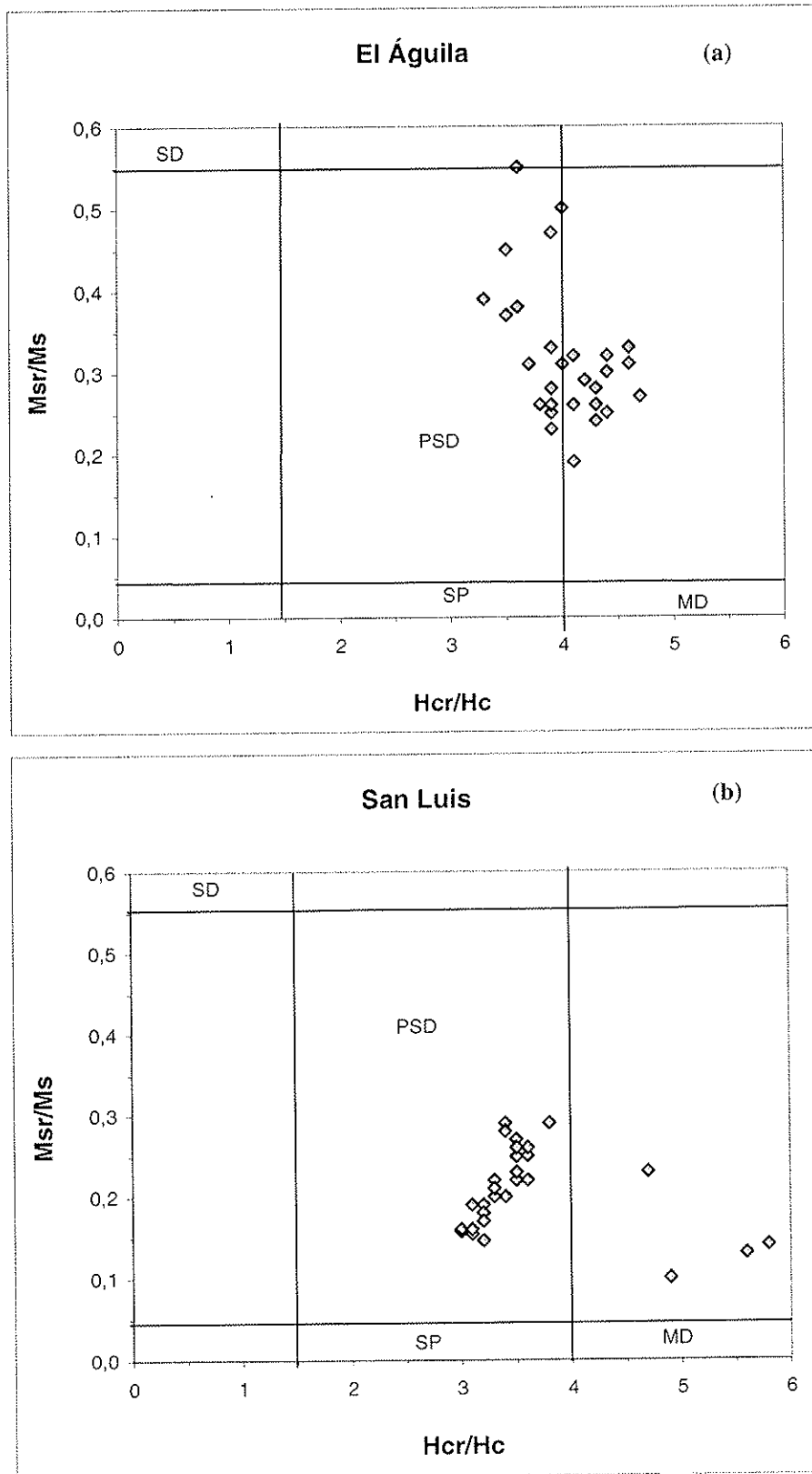


Figura 5. Relaciones M_{sr}/M_s vs H_{cr}/H_c (Day *et al.*,1977) mostrando la granulometría de la mineralogía magnética . (a) El Águila y (b) San Luis

Figure 5. M_{sr}/M_s vs H_{cr}/H_c ratios (Day *et al.*,1977) showing the magnetic mineralogy grain size . (a) El Águila y (b) San Luis

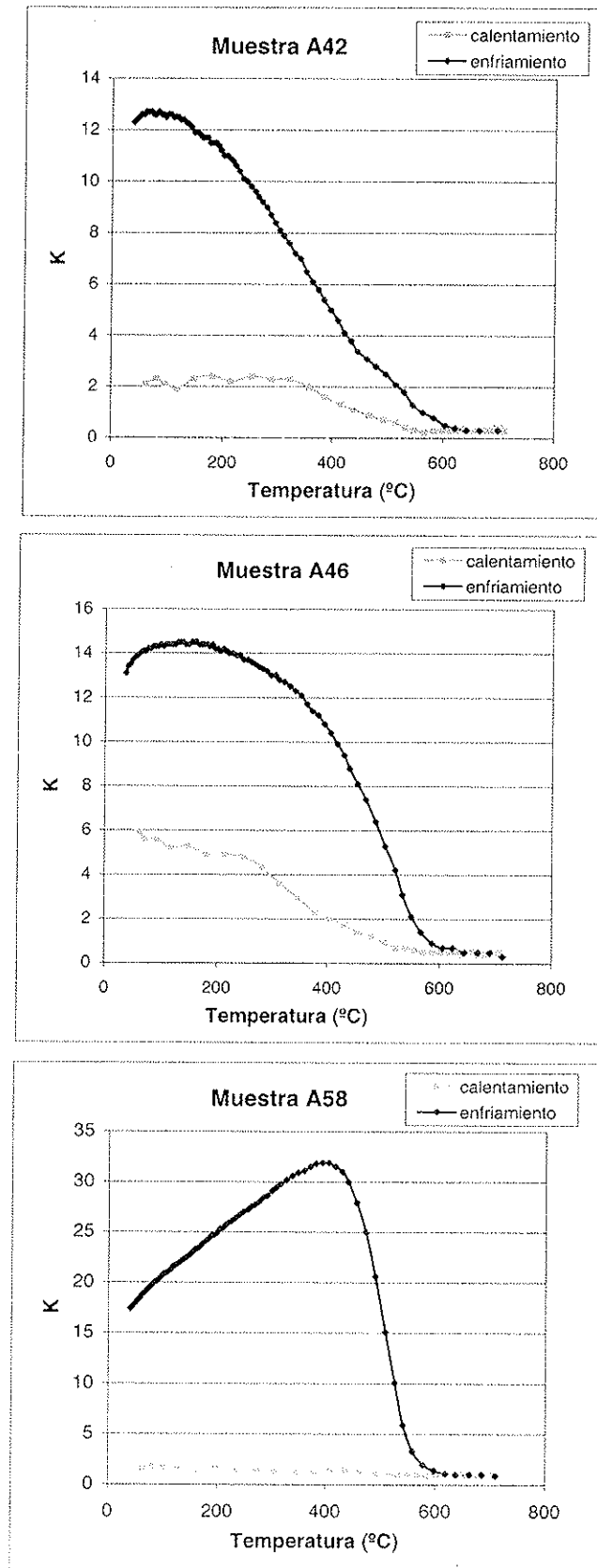


Figura 6. Gráficos de termoremanencia : susceptibilidad (k) vs Temperatura (°C). Grupo 1.
 Figure 6. Thermoremanent plots: magnetic susceptibility (k) vs Temperature (°C). Group 1.

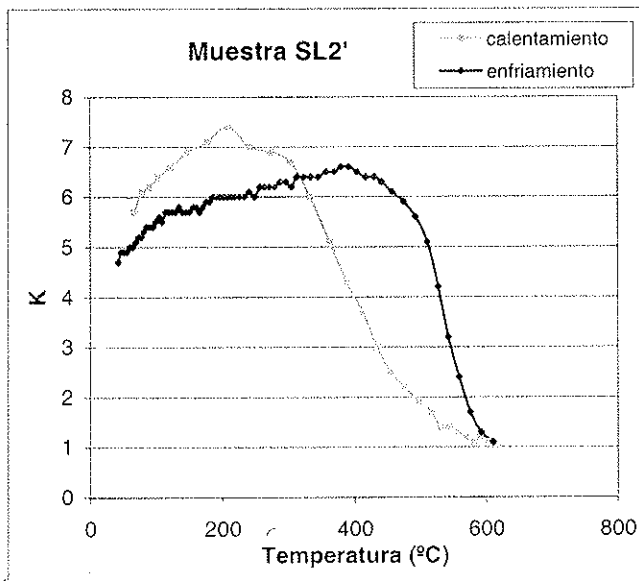
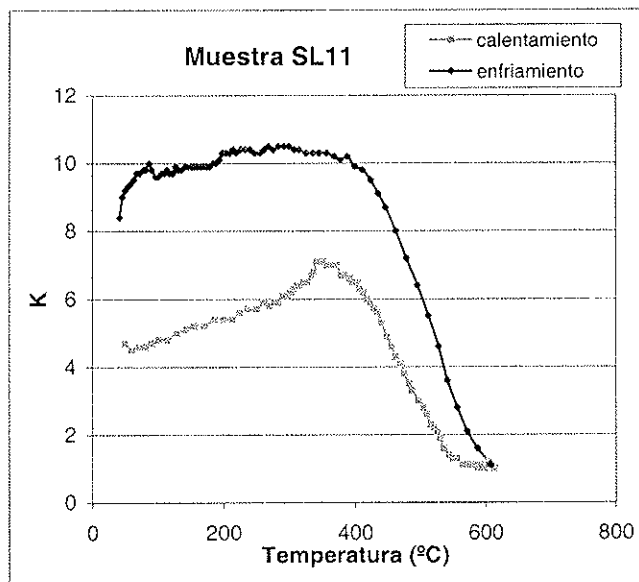
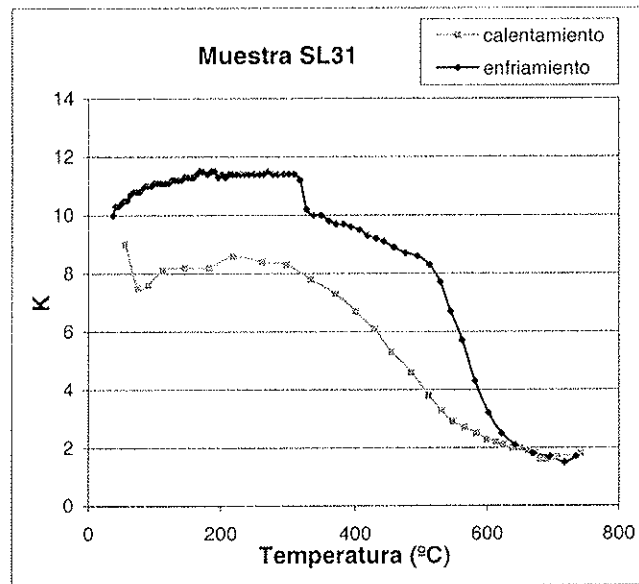


Figura 7. Gráficos de termoremanencia : susceptibilidad (k) vs Temperatura (°C) Grupo 2.
Figure 7. Termoremanent plots: magnetic susceptibility (k) vs Temperature (°C) Group 2.

| Altura (m) | Muestra | Kpa/K | Kfe/K | Ms (Am ² /kg) | Hc (mT) | Mrs/Ms | Hcr/Hc | Mrs (Am ² /kg) | Hcr (mT) | Xf E-6 | Masa (kg) E-3 | Xf/masa | K E-8 (m ³ /kg) | k/Ms E-9 (m ³ /Am ³) |
|---------------|---------|-------|-------|--------------------------|---------|--------|--------|---------------------------|----------|--------|---------------|---------|----------------------------|---|
| 0 | 50 | 22 | 78 | 3.25 | 11.2 | 0.27 | 4.7 | 0.9 | 52.0 | 10.8 | 13.39 | 0.807 | 1.01 | 3.12 |
| 0.15 | 31 | 23 | 77 | 3.02 | 12.9 | 0.31 | 4.0 | 0.9 | 52.0 | 7.8 | 11.05 | 0.706 | 0.89 | 2.94 |
| 0.30 | 32 | 22 | 78 | 2.65 | 12.5 | 0.33 | 4.6 | 0.9 | 58.0 | 11.2 | 13.39 | 0.837 | 1.05 | 3.97 |
| 0.45 | 33 | 23 | 77 | 2.96 | 12.5 | 0.30 | 4.4 | 0.9 | 54.6 | 11.3 | 13.91 | 0.812 | 1.02 | 3.45 |
| 0.60 | 34 | 20 | 80 | 2.87 | 12.9 | 0.31 | 4.6 | 0.8 | 59.6 | 9.7 | 13.14 | 0.738 | 0.93 | 3.23 |
| 0.75 | 35 | 24 | 76 | 2.79 | 13.3 | 0.32 | 4.4 | 0.9 | 52.4 | 10.7 | 12.78 | 0.837 | 1.05 | 3.77 |
| 0.90 | 36 | 24 | 76 | 5.25 | 12.5 | 0.23 | 3.9 | 1.1 | 54.2 | 10.7 | 9.64 | 1.110 | 1.39 | 2.66 |
| 1.05 | 37 | 22 | 78 | 5.33 | 12.9 | 0.24 | 4.3 | 1.3 | 55.4 | 14.9 | 13.51 | 1.103 | 1.39 | 2.60 |
| 1.20 | 38 | 27 | 73 | 3.38 | 14.8 | 0.31 | 3.7 | 1.1 | 54.5 | 9.4 | 9.43 | 0.997 | 1.25 | 3.71 |
| 1.35 | 39 | 26 | 74 | 4.50 | 14.1 | 0.26 | 3.8 | 1.1 | 52.9 | 10.7 | 10.88 | 0.983 | 1.24 | 2.75 |
| 1.50 | 40 | 29 | 71 | 4.00 | 14.8 | 0.26 | 4.1 | 1.0 | 60.7 | 8.5 | 9.02 | 0.942 | 1.18 | 2.96 |
| 1.65 | 41 | 28 | 72 | 4.32 | 14.5 | 0.25 | 3.9 | 1.1 | 56.1 | 11.5 | 12.97 | 0.887 | 1.11 | 2.58 |
| 1.80 | 42 | 22 | 78 | 4.74 | 12.3 | 0.26 | 3.9 | 1.1 | 48.2 | 12.6 | 13.92 | 0.905 | 1.14 | 2.40 |
| 1.95 | 43 | 16 | 84 | 7.70 | 9.9 | 0.19 | 4.1 | 1.4 | 40.4 | 15.4 | 13.79 | 1.117 | 1.40 | 1.82 |
| 2.10 | 44 | 20 | 80 | 4.71 | 11.1 | 0.25 | 4.4 | 1.2 | 49.3 | 12.0 | 11.39 | 1.053 | 1.32 | 2.81 |
| 2.25 | 45 | 21 | 79 | 4.33 | 11.4 | 0.26 | 4.3 | 1.1 | 49.4 | 14.6 | 14.89 | 0.980 | 1.23 | 2.85 |
| 2.40 | 46 | 23 | 77 | 4.01 | 12.2 | 0.28 | 4.3 | 1.0 | 52.8 | 9.0 | 9.26 | 0.972 | 1.22 | 3.05 |
| 2.55 | 47 | 22 | 78 | 3.62 | 12.3 | 0.29 | 4.2 | 1.0 | 51.5 | 10.5 | 10.83 | 0.970 | 1.22 | 3.37 |
| 2.70 | 48 | 23 | 77 | 3.36 | 13.0 | 0.32 | 4.1 | 0.9 | 53.5 | 12.8 | 14.54 | 0.880 | 1.11 | 3.29 |
| 2.85 | 49 | 26 | 74 | 4.06 | 13.0 | 0.28 | 3.9 | 0.9 | 51.1 | 13.7 | 15.47 | 0.885 | 1.11 | 2.74 |
| 3.00 | 50 | 23 | 77 | 2.94 | 13.8 | 0.33 | 3.9 | 0.9 | 53.8 | 8.8 | 10.91 | 0.807 | 1.01 | 3.45 |
| 3.15 | 51 | 24 | 76 | 3.70 | 14.2 | 0.31 | 3.7 | 1.0 | 53.2 | 9.0 | 10.88 | 0.827 | 1.04 | 2.81 |
| 3.30 | 52 | 26 | 74 | 2.68 | 15.4 | 0.38 | 3.6 | 1.0 | 56.1 | 7.7 | 11.37 | 0.677 | 0.85 | 3.18 |
| 3.45 | 53 | 29 | 71 | 1.94 | 15.8 | 0.45 | 3.5 | 0.8 | 55.9 | 7.5 | 12.03 | 0.623 | 0.78 | 4.04 |
| 3.60 | 54 | 29 | 71 | 2.75 | 16.7 | 0.39 | 3.3 | 0.9 | 54.8 | 9.5 | 12.57 | 0.756 | 0.95 | 3.45 |
| 3.75 | 55 | 36 | 64 | 2.83 | 19.0 | 0.37 | 3.5 | 0.9 | 67.5 | 7.2 | 10.20 | 0.706 | 0.89 | 3.14 |
| 3.90 | 56 | 28 | 62 | 1.65 | 17.9 | 0.55 | 3.6 | 0.9 | 64.1 | 10.6 | 11.92 | 0.890 | 1.12 | 6.78 |
| 4.05 | 57 | 31 | 69 | 1.74 | 18.0 | 0.50 | 4.0 | 0.7 | 71.3 | 8.1 | 12.71 | 0.638 | 0.80 | 4.60 |
| 4.20 | 58 | 32 | 68 | 1.86 | 16.7 | 0.47 | 3.9 | 0.7 | 64.4 | 9.7 | 12.69 | 0.765 | 0.96 | 5.17 |
| máximo | | 36 | 84 | 7.7 | 19 | 0.55 | 4.7 | 1.4 | 71.3 | 15.4 | 15.47 | 1.117 | 1.40 | 6.78 |
| mínimo | | 16 | 62 | 1.65 | 9.9 | 0.19 | 3.3 | 0.7 | 40.4 | 7.2 | 9.02 | 0.623 | 0.78 | 1.82 |

Tabla 1. Propiedades de Histéresis. Perfil El Águila.

Table 1. Histeresys properties. El Águila profile

| Altura (m) | Muestra | Kpa/K | Kfe/K | Ms (Am ² /kg) | Hc (mT) | Mrs/Ms | Hcr/Hc | Mrs (Am ² /kg) | Hcr (mT) | Xf E-6 | Masa (kg) E-3 | K E-8 (m ³ /kg) | Xf/masa | k/Ms E-9 (m ³ /Am ³) |
|---------------|---------|-------|-------|--------------------------|---------|--------|--------|---------------------------|----------|--------|---------------|----------------------------|---------|---|
| 0 | 1 | 5 | 95 | 44.60 | 4.4 | 0.10 | 4.9 | 3.5 | 21.9 | 58.0 | 13.39 | 5.44 | 4.33 | 1.22 |
| 0.1 | 2 | 15 | 85 | 13.61 | 6.0 | 0.13 | 5.6 | 1.8 | 33.2 | 22.5 | 9.22 | 3.07 | 2.44 | 2.25 |
| 0.2 | 3 | 17 | 83 | 10.77 | 5.9 | 0.14 | 5.8 | 1.6 | 34.4 | 21.8 | 8.18 | 3.35 | 2.67 | 3.11 |
| 0.3 | 4 | 34 | 66 | 4.11 | 10.1 | 0.23 | 4.7 | 1.1 | 47.5 | 10.9 | 7.62 | 1.80 | 1.43 | 4.38 |
| 0.4 | 5 | 13 | 87 | 5.25 | 15.0 | 0.27 | 3.5 | 1.4 | 52.8 | 10.3 | 8.25 | 1.57 | 1.25 | 2.99 |
| 0.5 | 6 | 17 | 83 | 5.90 | 18.1 | 0.29 | 3.4 | 1.7 | 61.8 | 11.6 | 9.18 | 1.59 | 1.26 | 2.69 |
| 0.6 | 7 | 12 | 88 | 8.76 | 19.7 | 0.29 | 3.8 | 2.6 | 74.5 | 19.3 | 13.78 | 1.76 | 1.40 | 2.01 |
| 0.7 | 8 | 11 | 89 | 11.91 | 21.3 | 0.25 | 3.5 | 2.8 | 73.8 | 24.7 | 12.33 | 2.52 | 2.00 | 2.11 |
| 0.8 | 9 | 13 | 87 | 9.34 | 18 | 0.26 | 3.5 | 2.5 | 62.8 | 18.6 | 11.19 | 2.09 | 1.66 | 2.24 |
| 0.9 | 10 | 12 | 88 | 12.20 | 19.5 | 0.25 | 3.6 | 3.0 | 70.7 | 20.5 | 11.41 | 2.26 | 1.80 | 1.85 |
| 1.0 | 11 | 13 | 87 | 11.70 | 22.4 | 0.26 | 3.6 | 3.0 | 81.0 | 20.5 | 12.14 | 2.12 | 1.69 | 1.81 |
| 1.1 | 12 | 12 | 88 | 10.47 | 22.3 | 0.28 | 3.4 | 3.1 | 76.1 | 16.6 | 10.19 | 2.05 | 1.63 | 1.96 |
| 1.2 | 13 | 8 | 92 | 9.22 | 10.7 | 0.20 | 3.3 | 1.8 | 35.6 | 14.2 | 10.95 | 1.63 | 1.30 | 1.77 |
| 1.3 | 14 | 8 | 92 | 9.59 | 11.2 | 0.20 | 3.4 | 1.8 | 38.4 | 20.0 | 13.84 | 1.82 | 1.44 | 1.89 |
| 1.4 | 15 | 8 | 92 | 9.45 | 11.3 | 0.20 | 3.4 | 2.0 | 38.4 | 15.7 | 11.18 | 1.77 | 1.40 | 1.87 |
| 1.5 | 16 | 8 | 92 | 9.83 | 11.8 | 0.20 | 3.4 | 2.0 | 40.5 | 17.2 | 12.21 | 1.77 | 1.41 | 1.80 |
| 1.6 | 17 | 9 | 91 | 12.94 | 12.1 | 0.18 | 3.2 | 2.2 | 39.2 | 18.9 | 10.35 | 2.30 | 1.83 | 1.77 |
| 1.7 | 18 | 9 | 91 | 12.00 | 11.8 | 0.19 | 3.2 | 2.3 | 38.0 | 19.1 | 10.64 | 2.26 | 1.80 | 1.88 |
| 1.8 | 19 | 10 | 90 | 11.79 | 12.6 | 0.19 | 3.1 | 2.2 | 39.7 | 19.6 | 11.21 | 2.20 | 1.75 | 1.86 |
| 1.9 | 20 | 9 | 91 | 11.00 | 12 | 0.20 | 3.3 | 2.3 | 39.7 | 18.5 | 10.65 | 2.18 | 1.74 | 1.98 |
| 2.0 | 21 | 9 | 91 | 9.74 | 12.4 | 0.22 | 3.3 | 2.0 | 40.9 | 15.1 | 9.92 | 1.91 | 1.52 | 1.96 |
| 2.1 | 22 | 9 | 91 | 10.08 | 12.1 | 0.21 | 3.3 | 2.1 | 40.4 | 15.9 | 10.62 | 1.88 | 1.50 | 1.87 |
| 2.2 | 23 | 9 | 91 | 6.89 | 12.4 | 0.22 | 3.5 | 1.5 | 42.9 | 12.4 | 12.96 | 1.20 | 0.96 | 1.74 |
| 2.3 | 24 | 9 | 91 | 5.35 | 11.2 | 0.23 | 3.5 | 1.2 | 38.9 | 11.8 | 15.30 | 0.97 | 0.77 | 1.81 |
| 2.4 | 25 | 9 | 91 | 4.35 | 10.5 | 0.22 | 3.6 | 1.0 | 38.3 | 8.6 | 15.01 | 0.72 | 0.57 | 1.66 |
| 2.5 | 26 | 7 | 93 | 9.48 | 11 | 0.19 | 3.2 | 1.9 | 35.5 | 15.5 | 12.05 | 1.62 | 1.29 | 1.70 |
| 2.6 | 27 | 8 | 92 | 12.84 | 11.5 | 0.18 | 3.2 | 2.4 | 36.5 | 21.0 | 13.44 | 1.96 | 1.56 | 1.53 |
| 2.7 | 28 | 6 | 94 | 19.10 | 11.3 | 0.17 | 3.2 | 3.2 | 36.7 | 28.0 | 11.93 | 2.95 | 2.35 | 1.54 |
| 2.8 | 29 | 7 | 93 | 24.40 | 12.3 | 0.16 | 3.0 | 3.5 | 37.0 | 36.1 | 13.26 | 3.42 | 2.72 | 1.40 |
| 2.9 | 30 | 6 | 94 | 26.05 | 12.1 | 0.16 | 3.1 | 4.3 | 38.0 | 39.2 | 13.35 | 3.69 | 2.94 | 1.42 |
| 3.0 | 31 | 5 | 95 | 28.30 | 12.1 | 0.15 | 3.2 | 4.2 | 39.2 | 20.5 | 6.89 | 3.74 | 2.98 | 1.32 |
| 3.1 | 32 | 7 | 93 | 26.80 | 11.9 | 0.15 | 3.1 | 3.8 | 36.4 | 32.5 | 11.73 | 3.48 | 2.77 | 1.30 |
| 3.2 | 33 | 8 | 92 | 22.15 | 11.8 | 0.16 | 3.0 | 3.3 | 35.5 | 29.6 | 11.51 | 3.23 | 2.57 | 1.46 |
| 3.4 | 34 | 9 | 91 | 25.35 | 11.2 | 0.16 | 3.0 | 16.9 | 33.3 | 41.7 | 11.19 | 4.68 | 3.73 | 1.85 |
| 3.5 | 35 | 7 | 93 | 32.80 | 10.9 | 0.16 | 3.0 | 20.2 | 33.2 | 49.7 | 11.31 | 5.52 | 4.40 | 1.68 |
| 3.6 | 36 | 5 | 95 | 39.10 | 10.9 | 0.16 | 3.1 | 25.1 | 33.5 | 68.2 | 12.56 | 6.82 | 5.43 | 1.74 |
| máximo | | 34 | 95 | 44.6 | 22.4 | 0.29 | 5.8 | 25.1 | 81 | 68.2 | 15.30 | 6.82 | 5.43 | 4.38 |
| mínimo | | 5 | 66 | 4.11 | 4.4 | 0.10 | 3 | 1 | 21.9 | 8.6 | 6.89 | 0.72 | 0.57 | 1.22 |

Tabla 2. Propiedades de Histéresis. Perfil San Luis.

Table 2. Histeresys properties. San Luis profile