

Estudio de las propiedades magnéticas en las terrazas del río Tajo: implicaciones paleoambientales

Magnetic properties studies of Tajo river terraces: palaeoenvironmental implications

M.F. Bógalo (*), P. Keller (*), A. Pérez-González (**), J. Gallardo(***) y M.L. Osete (*)

(*) Dpto. de Geofísica, Facultad de Física, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España

(**) Dpto. de Geodinámica, Facultad de Geología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España

(***) Dpto. de Edafología, E.T.I. Agrónomos, Universidad Politécnica, 28040 Madrid, España

ABSTRACT

Soil profiles from 12 terraces of Plio-Pleistocene to Holocene age from the Tajo river in Central Spain were investigated on their rock magnetic properties. Systematic profiles were sampled in 0.1m intervals from 24 fresh trenches of 2.5m depth. The soil profiles consist of an upper eluvial horizon (A, E), a intermediate illuvial horizon (B), and sometimes a lower horizon (C). Low and high frequency susceptibility (χ), saturation IRM (SIRM), and anhysteretic remanent magnetization (ARM) measurements were performed out. The differences between the stable values of horizon B and the high values of the horizons A and E increase with the age of the soils. Comparison of the mean values of the B horizons for each terrace show low χ values for the Holocene and the Late Pleistocene, a strong χ increase during the Middle Pleistocene, and again low values for the Pliocene and Early Pleistocene. Magnetic parameters of soils show the palaeoenvironmental changes during this period of time.

Key words: Rock magnetic properties, palaeoenvironment, Pleistocene, soils.

Geogaceta, 20 (5) (1996), 1062-1065

ISSN:0213683X

Introducción

La formación de óxidos de hierro es un proceso muy importante en la génesis de suelos y sedimentos (Schwertmann, 1988). El tipo de óxidos que se originan (magnetita, maghemita, goetita, hematites...) y su cantidad dependen de las condiciones ambientales y climáticas en que se desarrollen. Los primeros estudios de propiedades magnéticas llevados a cabo en suelos (Le Borgne, 1955) ya pusieron de manifiesto que en la parte más superficial del suelo se observaba un aumento de la susceptibilidad magnética (χ). Este aumento está relacionado con la producción de minerales ferrimagnéticos gracias a los procesos de oxidación-reducción. Las variaciones observadas en χ dependen de varios factores como: cambios en la humedad del suelo (Mullins, 1977; Thompson and Oldfield, 1986), la litología (Maher, 1986), el clima (Singer y Fine, 1989; Maher, 1988), la topografía (Dearing *et al.*, 1981), la edad (Fine *et al.*, 1992) y la fuente de sedimentos (Dearing *et al.*, 1986). Tite y Linintong en 1975, mostraron como el clima mediterráneo es el más

conveniente para la transformación de óxidos de hierro a minerales ferrimagnéticos gracias a las diferencias de temperatura y humedad entre el invierno y el verano, que favorecen los procesos de reducción y oxidación.

En este estudio se han controlado algunas de las variables que influyen en χ como los horizontes edáficos, la topografía, las texturas y litologías presentes en los diferentes niveles de terrazas.

La región de estudio se encuentra al suroeste de la Cuenca de Madrid, entre las localidades de Talavera de la Reina y Malpica de Tajo, delimitada entre 39° 45' - 40° 00' N y 4° 33' - 4° 45' W. En esta región el río Tajo se encuentra a una altitud media de 380m sobre el nivel del mar. La terraza más reciente se sitúa a +7-9m por encima del nivel actual del río, de edad pleistoceno superior y la terraza más alta a +185m, correspondiente al Pleistoceno inferior. A +250m se encuentra el piedemonte de la Raña de edad pliocena (Fig. 1). Las secuencias sedimentarias de las terrazas consisten en gravas de relleno de canal y sedimentos finos de llanura de inundación. Las litologías presentes en

las terrazas son principalmente de cuarzos y cuarcitas, con elementos calizos en los niveles aluviales más bajos.

Metodología

Se han muestreado un total de 24 perfiles de suelos correspondientes a la Raña y 12 niveles de terrazas, realizándose calcatas de profundidad media de 2.5m, en las cuales se han tomado muestras cada 10cm de material suelto, y cuando fue posible muestras de mano orientadas con brújula magnética.

El tratamiento magnético de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Paleomagnetismo de la UCM y del Instituto de Geofísica de la UNAM (México). Las propiedades magnéticas estudiadas han sido: 1) Estudio de la susceptibilidad magnética (χ). Las medidas se realizaron con un susceptibilímetro Bartington, modelo MS-2 que mide a dos frecuencias (470Hz y 4.7KHz), permitiendo el análisis de la variación de la susceptibilidad con la frecuencia, $\chi_{rd} = 100(\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf}$, donde χ_{lf} y χ_{hf} son las susceptibilidades medidas a baja y alta frecuencia respecti-

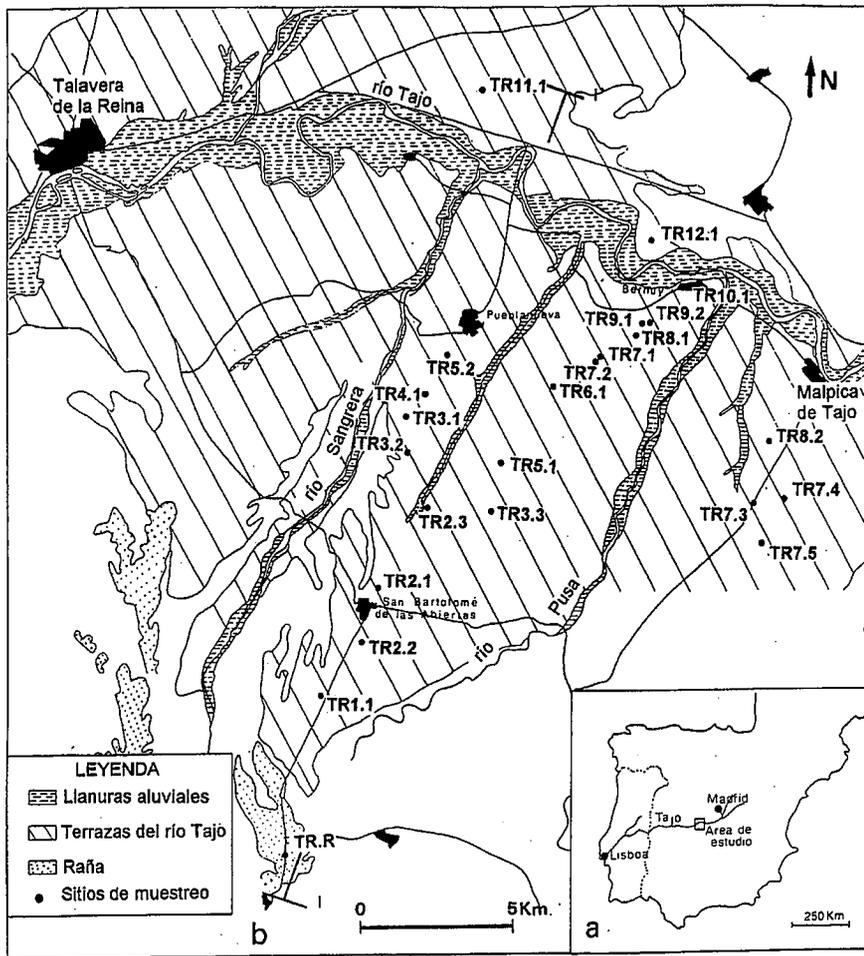


Fig. 1.- (a) Localización del río Tajo en la Península Ibérica y área de estudio. (b) Esquema geomorfológico de la región de Talavera de la Reina y posición de los perfiles muestreados.

Fig.1.- (a) Location of Tajo river the Iberian Peninsula and study area. (b) Geomorphologic sketch of the Talavera de la Reina area and locations of the sampling profiles.

vamente. Todas las medidas están dadas por unidad de masa. Las unidades de la son: $10^{-6}m^3kg^{-1}$ en el SI, y la χ_{fd} viene dada en %. 2) Adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM), para lo cual se sometió a las muestras a campos magnéticos desde 0.5mT hasta 800mT ($SIRM=IRM_{800mT}$). 3) Magnetización remanente anhisterética (ARM). Se sometieron todas las muestras a un campo alterno de 100mT con un pequeño campo (0.05mT) estable sobrepuesto, para lo que se utilizó un desimanador por campos alternos, modelo Schonstedt, y una bobina que producía el campo continuo. Todas las medidas de magnetización se realizaron con un magnetómetro JR5, y las unidades están dadas por unidad de masa y son Am^2Kg^{-1} .

Propiedades magnéticas de los suelos

Se han representado frente a la profundidad todas las propiedades magnéti-

cas de los perfiles de suelos estudiados en las terrazas (ej. Fig. 2a). Puesto que, en general, los perfiles de χ , SIRM y ARM poseen el mismo comportamiento con la profundidad, la variable que ha servido de referencia ha sido χ . La mayoría de los perfiles de suelos muestran un horizonte superficial con valores elevados de (horizonte de aumento), que tiene lugar en los horizontes A, E y parte superior del horizonte B, y un horizonte más profundo con valores estables de χ (Fig. 2b). Este aumento de χ puede llegar a ser hasta el 80% de los valores de la capa estable. En los suelos más antiguos el nivel C se encuentra por debajo de de la profundidad máxima de muestreo. En los suelos más jóvenes, la χ del horizonte C posee los valores más bajos del perfil y muestra pequeñas variaciones con la profundidad. En algunos perfiles, como TR4.1, (Fig. 2b), se observa que, cuando el aumento de χ en la parte más superficial es pequeño, χ posee un comporta-

miento inestable hasta profundidades grandes y por debajo de este horizonte el comportamiento es más estable.

Los perfiles de χ , χ_{fd} , ARM y SIRM, correlacionan bien, lo que indica el predominio de minerales ferrimagnéticos de tamaño de grano fino (ej. Fig. 2a). El aumento de todos los parámetros en el horizonte superficial del perfil se debe a variaciones en la concentración de minerales ferrimagnéticos producto de los procesos de oxidación-reducción que tienen lugar en la parte más superficial del suelo. La adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM) (Fig. 3) muestra el predominio de minerales de baja coercitividad en todo el perfil. Sin embargo, en la parte estable del horizonte B se observa una contribución significativa de minerales de alta coercitividad.

Discusión e interpretación de los resultados

Con objeto de integrar la información de las propiedades magnéticas de todas las terrazas, se ha calculado para cada uno de los perfiles de los suelos tres valores de χ : χ_{En} que representa el valor máximo de la del horizonte A y/o E y parte superior de B (horizonte de aumento), χ_{Bs} y χ_{C} , que representa el valor medio de la χ de la parte estable del horizonte B y C, respectivamente. Estos valores se han representado frente a la cronología de las terrazas (Fig.4a).

Comparando los valores medios de χ para los tres horizontes se observa que la χ del horizonte C (χ_{C}) experimenta pequeñas variaciones con la edad, por lo que se considera que representa el comportamiento relativamente constante del material original. Las curvas χ_{En} y χ_{Bs} muestran un aumento progresivo de los valores desde la terraza más joven (TR12) hasta TR7, seguido de una rápida disminución entre TR7 y TR4. A partir de esta última terraza χ_{Bs} permanece constante con la edad. Sin embargo, los valores de χ_{En} experimentan un aumento significativo.

Las variaciones observadas en los horizontes B y de aumento no parecen estar relacionadas con variaciones en la capa C, es decir, con el material original, ni tampoco pueden explicarse por efectos locales. Por tanto, excluyendo dichas variables, se considera que las variaciones observadas en dichos horizontes están relacionadas con las condiciones ambientales en las que se desarrollaron dichos horizontes y con su edad.

El horizonte de aumento, por su posición más superficial, está afectado tanto

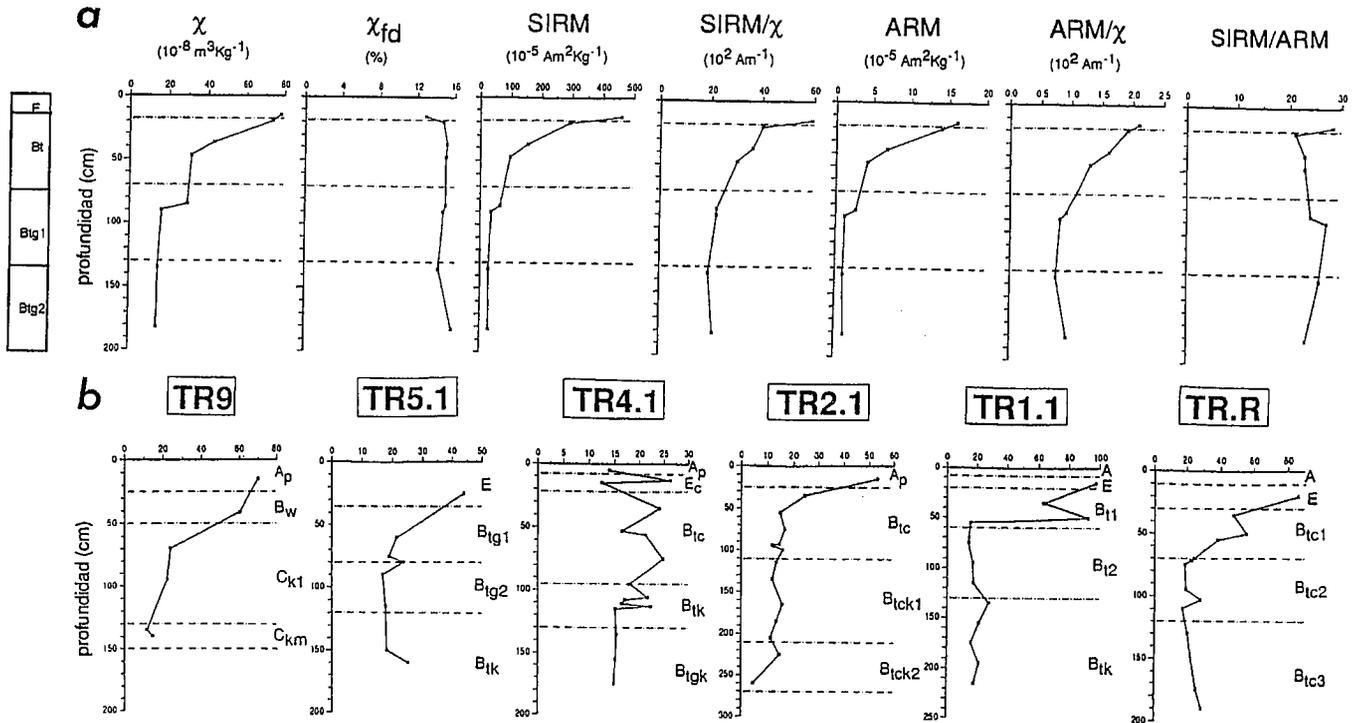


Fig. 2.- a) Variación de las propiedades magnéticas con la profundidad para la terraza 2 perfil 3. b) Comportamiento representativo de la susceptibilidad de los suelos.

Fig. 2.- a) Magnetic properties against depth for terrace 2 profile 3. b) Representative behaviour of the susceptibility of the soils.

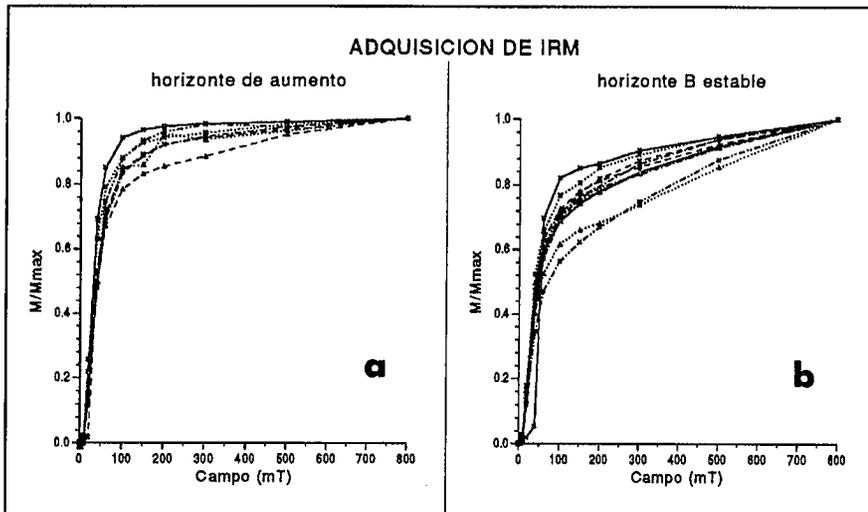


Fig. 3.- Curvas de adquisición de IRM (a) para el horizonte aumentado, y (b) para la parte estable del horizonte B.

Fig. 3.- IRM acquisition curves (a) for the enhanced horizon, and (b) for the stable part of the B horizon.

por los cambios medioambientales como por la edad. En la Fig.4b, se presenta la diferencia entre χ_{En} y χ_{Bs} . En esta gráfica se observa como el aumento relativo ($\chi_{En} - \chi_{Bs}$) es mayor para las terrazas más antiguas.

Comparando los parámetros SIRM y χ (Fig. 4c), se observa una pequeña dispersión de los valores para cada horizonte, con un ligero aumento de SIRM/ para las terrazas más antiguas. Este hecho indica que las variaciones observadas en En

y Bs se deben principalmente a cambios en la concentración de minerales ferromagnéticos.

Según estos resultados, podemos interpretar el aumento de observado entre las terrazas TR12 y TR7 (Fig. 4a) como la evolución del suelo en un ambiente favorable de la creación de minerales ferromagnéticos, como el clima mediterráneo (Tite y Linintong, 1975). La rápida disminución entre TR7 y TR4 podría estar

relacionada con un importante cambio en las condiciones medioambientales, posiblemente un cambio a un clima que no favorezca la creación de dichos minerales o, al menos, que esta creación sea menor, como climas áridos. Por tanto, nuestros resultados pueden indicar un importante cambio climático, de un clima mediterráneo a un clima probablemente más árido.

Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo son:

a) **Variaciones de las propiedades magnéticas con la profundidad:** 1) En la mayoría de los suelos se observa un horizonte superficial de aumento de la susceptibilidad (χ_{En}) diferenciada de una capa más profunda con valores estables de $\chi(\chi_B)$. 2) Las propiedades magnéticas de la capa de aumento se deben a la concentración de minerales de baja coercitividad y en el horizonte estable principalmente a minerales de baja y alta coercitividad.

b) No se ha observado correlación entre el comportamiento de χ y efectos locales.

c) **Variaciones de las propiedades magnéticas con el tiempo:** 1) El aumento relativo de la susceptibilidad ($\chi_{En} - \chi_{Bs}$) incrementa con la edad de los suelos. 2) La susceptibilidad del material original

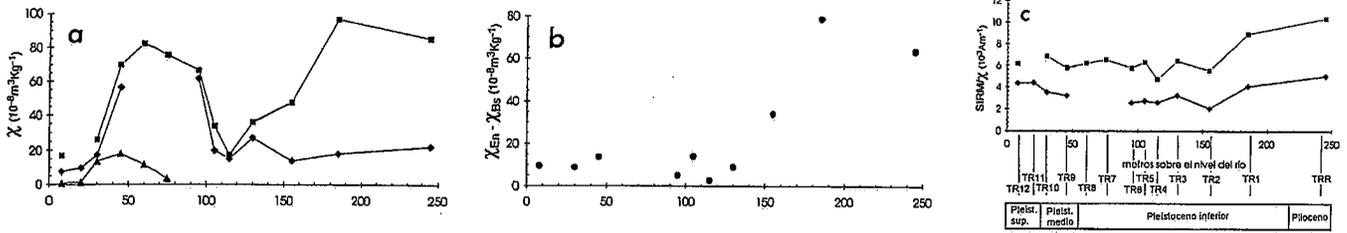


Fig. 4.- (a) Valores de la susceptibilidad media (χ_{En} , χ_{Bs} , χ_C); (b) diferencia ($\chi_{En} - \chi_{Bs}$) entre la susceptibilidad de los horizontes de aumento y B estable y (c) $SIRM_{En/\chi}$ y $SIRM_{Bs/\chi}$ frente a la edad de las terrazas del río Tajo. Cuadrados: horizonte de aumento; rombos: horizonte B estable; triángulos: horizonte C estable.

Fig. 4.- (a) Mean susceptibility values (χ_{En} , χ_{Bs} , χ_C); (b) Difference ($\chi_{En} - \chi_{Bs}$) between the susceptibility of the enhanced and the stable B horizons and (c) $SIRM_{En/\chi}$ and $SIRM_{Bs/\chi}$ against the age of the Tajo river terraces. Squares: enhanced horizon; rhombic: stable B horizon and triangles: stable C horizon.

(horizonte C) tan solo muestra pequeñas variaciones con el tiempo.

d) **Cambios paleoambientales.** El aumento de χ observado entre las terrazas TR12-TR8 se ha interpretado como la evolución del suelo en un clima mediterráneo. La disminución de χ entre TR7 y TR4 está relacionada con un importante cambio en las condiciones medioambientales, posiblemente de un clima mediterráneo a otro clima más árido

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de la CE, CHRX-CT93-0315.

Publicación nº 374 del Departamento de Geofísica.

Referencias

Dearing, J.A., Morton, R.I., Price, T.W. and I.D.L., Foster. 1986. *Phys. Earth Planet. Inter.*, v. 42, 93-104.
 Dearing, J.A., Elner, J.K. and C.M. Hap-
 pey-Wood. 1981. *Quat. Res.*, v.16,
 356-372.
 Fine, P., Singer, M.J. and K.L. Verosub.
 1992. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.56, 1195-
 1199.
 Le Borgne, E. 1955. *Annal. Geophys.*, v.
 11,399-419.

Maher, B.A., and R.M. Taylor. 1988. *Nature*, v. 336, 368-370.
 Maher, B.A. 1986. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 42, 76-92.
 Mullins, C.E. 1977. *J. Soil Sci.*, v. 28, 223-246.
 Schwertmann, U. 1988. En: *Iron in soils and Clay minerals*, Stucki, J.W., Godman, B.A. y Schwertmann, U., eds., pp. 267-308, Reidel, Dordrecht, 1988.
 Singer, M.J., and P. Fine. 1989. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.53, 1119-1127.
 Thompson, R. and F. Oldfield. 1986. *Allen & Unwin Publishers*, London.
 Tite, M.S. and R.E. Linington. 1975. *Nature*, v. 256, 565-566.