



## ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS EN DOS LOCALIDADES CLÁSICAS DE LA LLANURA CENTRAL CORDOBESA

Rouzaut S.<sup>1,4</sup>, Orgeira M. J.<sup>2</sup>, Tófalo, O.R.<sup>3</sup> Vásquez C.<sup>2</sup>, Argüello, G. L.<sup>4</sup>, Sanabria J.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Becaria CONICET .

<sup>2</sup> Dpto. Ciencias Geológicas. FCEN, UBA, IGEBA. Ciudad Universitaria Pabellón II.

<sup>3</sup> Dpto. Ciencias Geológicas. FCEN, UBA, IDEAN. Ciudad Universitaria - Pabellón II.

<sup>4</sup> Cátedra de Pedología. Escuela de Geología. F.C.E.F.y N. UNC. Vélez Sarsfield 1611. CP 5016. Córdoba. Argentina.

### RESUMEN

En la presente contribución se estudiaron dos perfiles, en localidades de la provincia de Córdoba, para determinar sus parámetros magnéticos y establecer una correlación entre ambas. Ambos fueron descritos y en ellos, se realizaron mediciones de susceptibilidad magnética a 470 Hz y 4700 Hz, coercitividad, coercitividad de remanencia, magnetización de saturación y magnetización remanente de saturación; S-ratio y susceptibilidad a altas temperaturas. Los resultados obtenidos permiten inferir que a pesar de encontrarse en una misma región, existen diferencias en la intensidad de la señal, lo cual puede deberse a mayor presencia de carbonatos en uno de los perfiles y/o mayor retrabajo del material. A lo largo de ambos perfiles se detectaron múltiples variaciones de concentración de la mineralogía magnética. No se observaron cambios relevantes en los horizontes edafizados.

**Palabras Clave:** Loess-paleosuelo. Magnetismo de rocas.

### ABSTRACT

In the present contribution two profiles located at nearby towns in Córdoba province were studied, in order to determine their magnetic parameters and to establish a correlation between them. Both sites were described and magnetic susceptibility measurements at 470 Hz and 4700 Hz, coercivity, remanence coercivity, saturation magnetization and remanent saturation magnetization, S ratio and susceptibility at high temperatures were performed. From these results it can be inferred that despite the proximity, the intensity of the signal differs at both sites, which may be due to an increase in carbonates in one of the profiles and/or, greater remobilization of the material. Both profiles showed a lot of variations in concentration of magnetic mineralogy. No relevant features were detected in edaphized horizons.

**Keywords:** Loess-paleosol- Rock Magnetism.

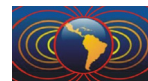
### Introducción

Son escasos al presente los estudios sistemáticos de paleosuelos en la llanura pampeana de nuestro país, a pesar de que este tipo de registro geológico brinda importantísima información paleoclimática.

La premisa fundamental del magnetismo ambiental es relacionar las variaciones en las propiedades de los minerales magnéticos de materiales naturales y vincularlas con los cambios ambientales.

Los objetivos principales de la presente contribución son determinar en detalle los parámetros magnéticos no direccionales de los sedimentos en los perfiles, con el fin de caracterizar magnéticamente estos depósitos; y efectuar una comparación de la señal magnética del material edafizado de una misma unidad litológica en diferentes localidades.

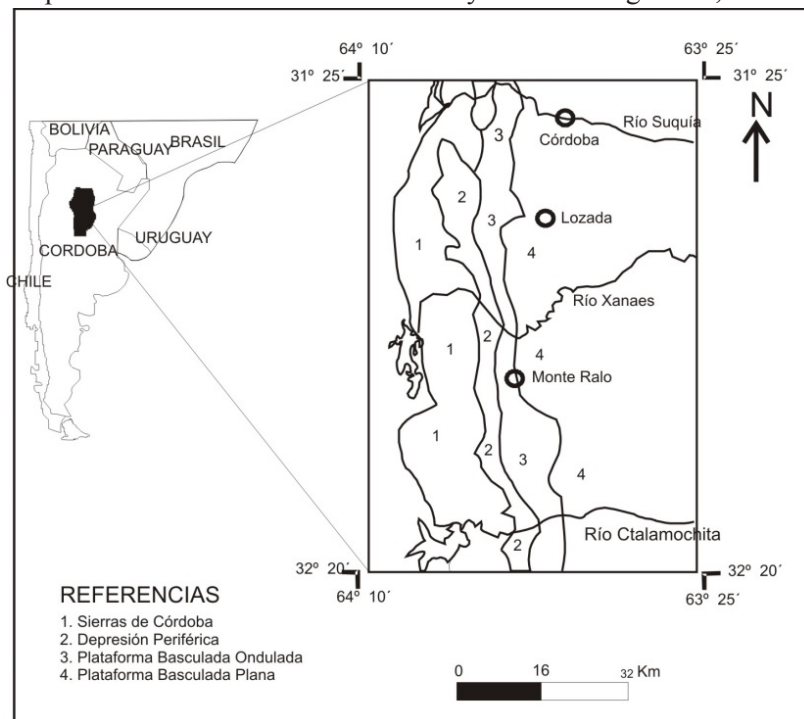
Hay más de una hipótesis que intenta explicar el origen de la señal magnética. En la presente contribución se asume el modelo, propuesto por Orgeira *et al.* (2011), principalmente inorgánico para las variaciones en la mineralogía magnética durante la pedogénesis.



## Ubicación

La primera de las localidades estudiadas es Lozada, 35 km al sur de la capital cordobesa (Kemp *et al.*, 2006), cuyo perfil está expuesto como resultado de una excavación para desagüe. Sus coordenadas son 31° 39' Lat Sur y 64° 8' Long Oeste, 490 msnm (fig. 1).

La localidad de Monte Ralo se encuentra a 65 km aproximadamente de la ciudad capital. Las coordenadas del perfil estudiado son 31° 54' Lat Sur y 64° 10' Long Oeste, 496 msnm (fig. 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación y las asociaciones geomorfológicas.

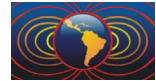
Ambas localidades se encuentran en la provincia geológica Llanura Chacopampeana, y en la subprovincia Llanura Pampeana (Sayago, 1981). En ella, se distinguen dos asociaciones la Depresión Periférica y la Plataforma Basculada (Capitanelli, 1979). En esta última, se distinguen dos subasociaciones (Sanabria *et al.*, 2006): la Plataforma Basculada Ondulada y la Plataforma Basculada Plana.

La Subasociación Plataforma Basculada Plana (Sanabria y Argüello, 2003) se caracteriza por colinas suavemente onduladas cuyo material parental está constituido por mantos de loess típico y retransportado con abundante contenido de  $\text{CaCO}_3$  en la masa y alto porcentaje de limos gruesos. Su edad aproximada es, 32 ka y 13 ka, según Frechen *et al.*, (2009) y 34 ka y 5 ka, según Kemp *et al.* (2006). La erosión hídrica es intensa y se presenta en forma de barrancos o cárcavas. En esta subasociación se encuentra el perfil de Monte Ralo.

En cuanto al perfil de Lozada se encuentra en la Plataforma Basculada Ondulada (Capitanelli, 1979.) en la unidad “paleoconos aluviales con cobertura loésica” (Sanabria y Argüello, 1999).

## Materiales y Métodos

Los perfiles estudiados pueden considerarse como sucesiones sedimento-pedológicas, de acuerdo con el concepto de Freytenet (1971). Para analizar el perfil de Monte Ralo se han identificado, en primer lugar, las superficies de discontinuidad en la sedimentación representadas por superficies de erosión. Una vez determinadas se tuvieron en cuenta espesor y geometría de los bancos, color, estructuras sedimentarias y edáficas, fósiles, grado de consolidación, análisis granulométricos y composicionales.



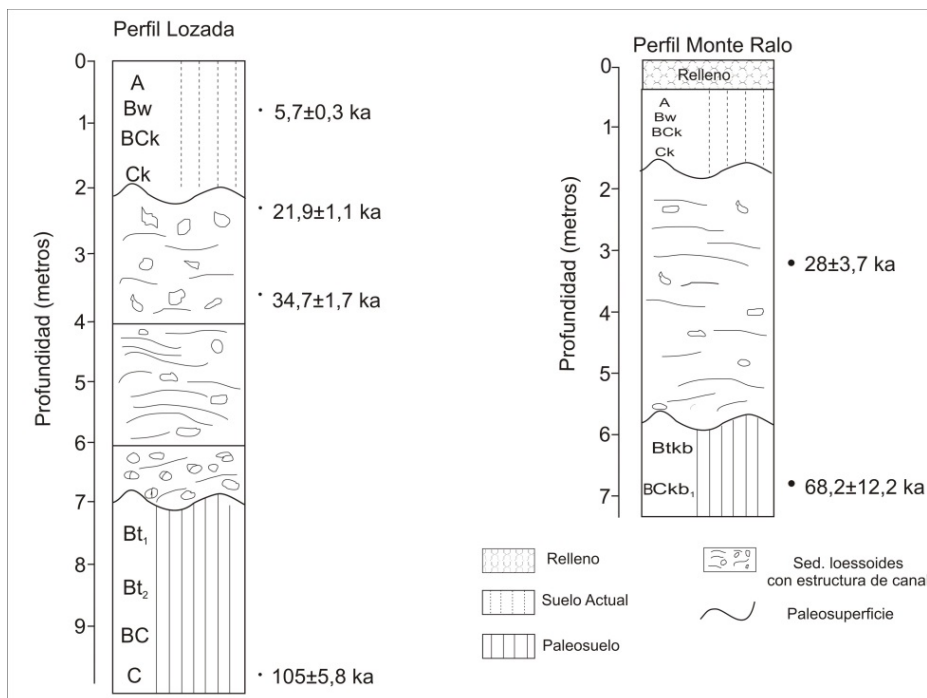
Los datos granulométricos fueron obtenidos mediante el sedígrafo CILAS del Depto. de Cs. Geológicas de la UBA. Los carbonatos se determinaron por calcimetría con un calcímetro McLeod.

Para las mediciones de propiedades magnéticas, las muestras se tomaron con una equidistancia de 10 cm aproximadamente. Las mediciones de susceptibilidad magnética se llevaron a cabo con un susceptibilímetro Bartington M2S a dos frecuencias (470 Hz-4700 Hz). Los parámetros de histéresis se midieron con un Magnetómetro Vibrante (VSM) Molspin cuyo campo no supera 1 Tesla. Los parámetros medidos son Susceptibilidad magnética, Magnetización de saturación ( $M_s$ ), Magnetización remanente de saturación ( $M_{rs}$ ), Coercitividad ( $H_c$ ) y Coercitividad de remanencia ( $H_{cr}$ ). Las mediciones de susceptibilidad magnética a altas temperaturas se midieron con un susceptibilímetro AGICO Kappabridge MFK1-FA cuya frecuencia es de 946 Hz y la amplitud del campo de 200 A/m. Para las mediciones a altas temperaturas las muestras se calentaron hasta 700° C, luego se dejaron enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente, todo el proceso se realizó bajo atmósfera de Ar para evitar la oxidación de los minerales.

Para las mediciones de magnetización remanente isotérmica las muestras fueron expuestas a pulsos magnéticos de 300 mT y 1000 mT en un Magnetizador por pulsos ASC Scientifics con bobinas que permiten alcanzar un campo de 1.2 T. Luego se midieron en el Dual Speed Spinner magnetometer AGICO JR-6. Con estos datos se obtuvo la saturación (MRIS) y el S-ratio.

## Resultados

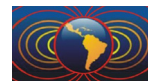
La descripción de los perfiles se encuentra representada en la Figura 2. Allí se puede observar la sucesión sedimentopedológica que presenta intercalaciones de sedimentos loessoides y fluviales. El perfil de Monte Ralo presenta un relleno o cobertura, de espesores variables (0.5-0.8 cm) a lo largo del perfil. Los análisis mencionados se omitieron en este material.



**Figura 2.** Esquemas estratigráficos de las localidades estudiadas. El perfil de Lozada y sus dataciones fue modificado de Kemp *et al.*, (2006) y el perfil de Monte Ralo y sus dataciones fue modificado de Frechen *et al.*, (2009).

Con respecto a la granulometría de la localidad de Monte Ralo, el suelo actual y el suelo enterrado se observan, en los horizontes iluviales, valores que rondan entre 20-23  $\mu\text{m}$  (limo medio); en el manto de limos loessoides aumenta a 23-27  $\mu\text{m}$  (limo medio), para luego descender nuevamente hacia la base del perfil.

El porcentaje de carbonatos del suelo actual es de 0.2% con un aumento pronunciado en el material parental (5%), para luego mantenerse en un rango que fluctúa entre 2-4%

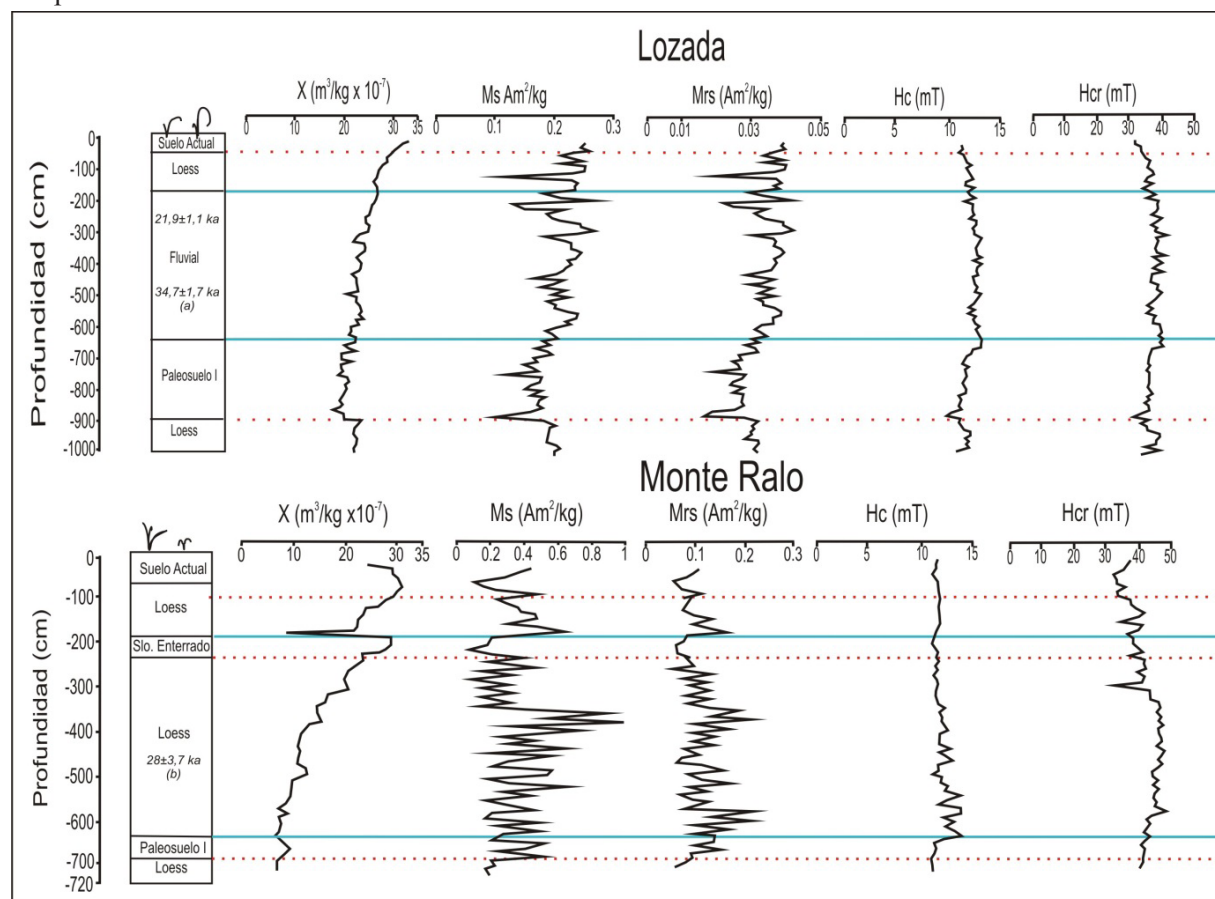


La media granulométrica, que se observa en Lozada, se comporta de manera similar al perfil de Monte Ralo, donde el diámetro medio descende en los horizontes iluviales de suelo y paleosuelo ( $20\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$ ), para luego fluctuar a lo largo del perfil entre  $20\text{--}32\text{ }\mu\text{m}$ . Los diámetros corresponden a limo medio a grueso, lo que indica un origen eólico, para luego fluctuar, lo que evidencia un retrabajo del material (Kemp *et al.*, 2006.). El porcentaje de carbonato de calcio es de 3-5% en el suelo actual y el paleosuelo I y luego entre -100 cm y -680 cm el porcentaje aumenta oscilando entre 4% y 9%.

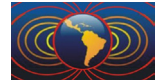
## Resultados Magnéticos

En la Figura 4 los perfiles se simplificaron para facilitar la lectura de las propiedades. Debido a que los horizontes pedogenéticos, tales como BC y Ck presentan señales muy similares al material parental (loess) se los juntó bajo la denominación loess. Por otro lado, en el perfil de Monte Ralo, el relleno que suprayace al suelo enterrado se omitió ya que no remite importancia al presente trabajo y en su lugar, se colocaron los datos del suelo actual para poder establecer la correspondiente comparación con la señal magnética de los paleosuelos.

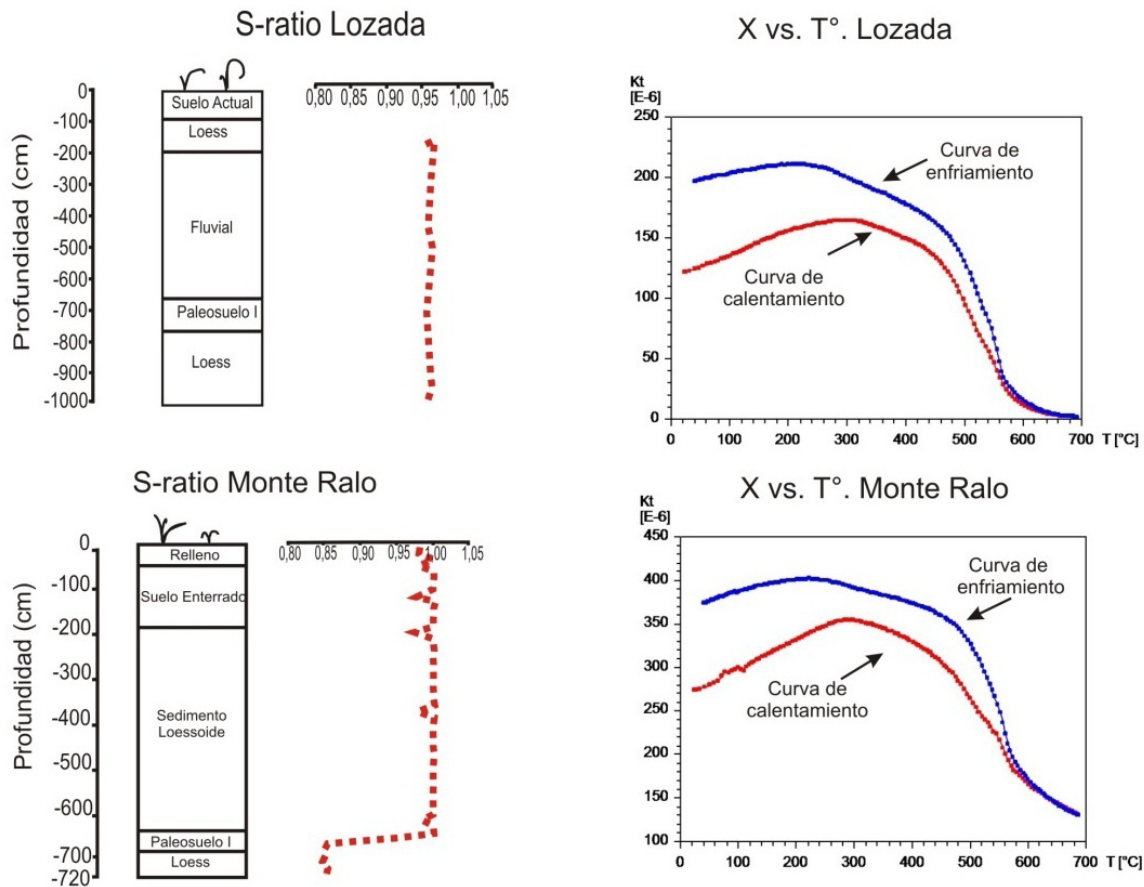
En el perfil de Lozada se observa un exiguo aumento en la  $X_{\text{total}}$  en el último metro del perfil correspondiente al suelo actual; se observa asimismo una mínima disminución de este parámetro en el paleosuelo I respecto al material parental (fig. 3). Éstas características son parcialmente acompañadas por los parámetros extensivos  $M_s$  y  $M_{rs}$ , que se muestran muy variables a lo largo del perfil. La  $H_c$  se mantiene entre 10 - 12 mT y la  $H_{cr}$  30-40 mT. Conforme a las relaciones entre  $M_{rs}/M_s$  y  $H_{cr}/H_c$  se encuentran en el campo pseudo dominio simple PSD.



**Figura 3.** Propiedades Magnéticas de los perfiles. Susceptibilidad magnética ( $X$ ), Magnetización de saturación ( $M_s$ ), Magnetización remanente de saturación ( $M_{rs}$ ), Coercitividad ( $H_c$ ) y Coercitividad de remanencia ( $H_{cr}$ ). Las unidades de medida pertenecen al SI (a) Kemp *et al.* (2006). (b) Frechen *et al.* (2009).



Respecto a la relación S-ratio ( $S\text{-ratio} = \text{MRI}_{300\text{ mT}} / \text{MRI}_{1000\text{ mT}}$ ) la relación es 0.96, ello indica presencia de minerales de baja coercitividad a lo largo de todo el perfil. Las mediciones de variaciones de susceptibilidad magnética a altas temperaturas, indican temperaturas de Curie consistentes con magnetita y titanomagnetita (fig. 4).



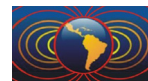
**Figura 4.** Perfiles y su relación S-ratio correspondiente. En el sector derecho de la figura se observan altas temperaturas de cada perfil.

El perfil de Monte Ralo experimenta un crecimiento de la  $X_{\text{total}}$  en el suelo actual y en el suelo enterrado entre  $30 - 32 \text{ m}^3/\text{kg } 10^{-7}$ , en tanto este incremento es casi imperceptible en el paleosuelo I de  $21-22 \text{ m}^3/\text{kg } 10^{-7}$ . Los parámetros extensivos ( $M_s$  y  $M_{rs}$ ) acompañan esta tendencia. La  $H_c$  se mantiene entre  $12-13 \text{ mT}$  y la  $H_{cr}$  entre  $30-37 \text{ mT}$  (fig. 3). Nuevamente, las relaciones entre  $M_{rs}/M_s$  y  $H_{cr}/H_c$  indican que el tamaño de las partículas se encuentra en el campo PSD. En general la relación S-ratio se encuentra circunscripta al entorno  $0.96 - 1$ , lo cual también indicaría la presencia de minerales con bajas coercitividades. Las mediciones de susceptibilidad a altas temperaturas indican presencia de minerales tales como magnetita y titanomagnetita pobre en Ti (fig. 4). Sin embargo, un rasgo significativo se destaca en el paleosuelo I en la base del perfil. Allí los valores decrecen marcadamente hasta alcanzar valores de  $0.84$ . Ello manifiesta claramente la presencia de minerales de alta coercitividad enmascarados en otras rutinas magnéticas.

### Discusión y conclusiones.

Geomorfológicamente ambos perfiles pertenecen a una misma asociación, la Plataforma Basculada, pero se encuentran en diferentes subasociaciones; Monte Ralo en la Plataforma Basculada Plana, en un interfluvio, y Lozada, en la Plataforma Basculada Ondulada, en sedimentos aluviales con cubierta loésica.





Las dataciones obtenidas por Kemp *et al.* (2006) y Frechen *et al.* (2009) sólo permiten correlacionar con buena certeza los intervalos comprendidos por los sectores medios de los perfiles (fig. 4). Ambos sectores están constituidos por material retrabajado (Kemp *et al.*, 2006; Frechen *et al.*, 2009); y en el caso de Monte Ralo durante las labores de campo efectuadas se detectaron, intercalaciones de estructuras sedimentarias de canal. En ambos perfiles, se trataría de depósitos presumiblemente de origen primario eólico con retrabajo intenso probado por: la media granulométrica general que indicaría que el material sufrió movilización luego de ser depositado, variación con respecto a las distancias recorridas durante el transporte ó distintas áreas de procedencia. Así mismo la media granulométrica en los paleosuelos de uno y otro perfil es variable; por lo tanto, la permeabilidad del material y la consecuente infiltración del agua de lluvia no es la misma. Este hecho hace que, de acuerdo al modelo cuantitativo de Orgeira *et al.* (2011) las inferencias paleoclimáticas surgidas de los resultados magnéticos sean difíciles de comparar entre ambos perfiles.

Los porcentajes de  $\text{CaCO}_3$ , son mayores en el perfil de Lozada. Ello puede deberse a un cambio en la permeabilidad del material o que este enriquecimiento provenga, de la lixiviación de material suprayacente o por ascenso capilar (Kemp *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista magnético se observa que tanto en el perfil de Lozada como en el de Monte Ralo las altas temperaturas de Curie y las coercitividades indican una analogía en la mineralogía magnética; ambos casos incluye magnetita y titanomagnetita, con lo que se puede inferir un área de aporte similar.

En el perfil de Lozada se observó que los parámetros extensivos son variables y menores con respecto a Monte Ralo a lo largo del perfil. Dada la falta de variación en las coercitividades, se interpretan variaciones muy frecuentes en la cantidad de material magnético presente. En consecuencia, es probable que todo el perfil esté retrabajado por agua.

Con respecto al tamaño de partícula magnética ambos se encuentran en el campo PSD, Monte Ralo presenta una ligera dispersión lo cual indicaría que el material que lo constituye está más retrabajado.

Diferencia en la posición topográfica entre ambos perfiles pudo generar mayor retrabajo del material en un perfil con respecto al otro.

El porcentaje de Carbonato de Calcio en Lozada, más elevado que en Monte Ralo podría ser la causa de una mayor concentración de minerales magnéticos en este último perfil, y consecuentemente de mayores valores en todos los parámetros extensivos.

Diferencias en la permeabilidad de los materiales, habrían generado condiciones diferentes para la alteración pedogenética de los minerales constitutivos del material parental.

La relación S-ratio entre 0.84 y 0.96 del paleosuelo I (base de la secuencia) de Monte Ralo se asocia a la presencia de minerales magnéticos de alta coercitividad tales como hematita, y en consecuencia están asociados a procesos pedogenéticos en ambientes oxidantes. Ellos se vinculan a condiciones climáticas más áridas ó de climas de marcada estacionalidad.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten inferir que a pesar de encontrarse en una misma región, existen diferencias en la intensidad de la señal, lo cual puede deberse a mayor presencia de carbonatos en uno de los perfiles y /o, mayor retrabajo del material.

A lo largo de ambos perfiles se detectaron variaciones de concentración de la mineralogía magnética, lo que indicaría un fuerte retrabajo del sedimento.

No se observaron cambios relevantes en los horizontes edafizados. En consecuencia, conforme a los modelos cualitativos y cuantitativos considerados el clima durante los periodos en los que se produjeron los paleosuelos estudiados pudo haber sido similar al actual.



## Referencias.

- Capitanelli, R., 1979. Capítulo V. Geomorfología En: Vazquez, J.B. (ed) Geografía Física de Córdoba. Ed Boldt. Bs.As: 213-296.
- Frechen, M., Seifert, B., Sanabria, J. A., Argüello, G. L., 2009. Chronology of Late Pleistocene pampa loess from the Córdoba area in Argentina, *J. Quaternary Sci.*, Vol. 23, 1-12.
- Freytenet, P., 1971. Paleosols résiduels et paleosol alluviaux hydromorphes dans le Crétacé supérieur et l'Eocène basal en Languedoc. *Revue Géographie Physique et Géologie Dynamique* 13, 245-268.
- Kemp, J. A.; Zárate, M.; Toms, P.; King, M.; Sanabria, J. A.; Argüello, G. L., 2006. Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in the Northern Pampas, Argentina, *Quaternary Research*. 66, 119-132
- Orgeira, M. J.; R., Egli, R., Compagnucci, 2011. A quantitative model of magnetic enhancement in loessic soils. Chapter in Earth Magnetic Interior (IAGA special Sopron book series) Springer. 25: 361-368.
- Sanabria, J. A.; Argüello, G., 1999. La edad de los materiales parentales loésicos de los suelos y el desarrollo del perfil, en un sector de la Plataforma basculada. Córdoba, Argentina, Actas de resúmenes del 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón (Temuco) Chile, p. 223.
- Sanabria, J. A., Argüello, G. L., 2003. Aspectos geomorfológicos y estratigráficos en la génesis y evolución de la Depresión Periférica, Córdoba, (Argentina), Actas del Segundo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Tucumán, 177-184 p.
- Sanabria J; Argüello, G. L., Moretti, L., 2006. Implicancia Paleoambiental de los paleosuelos de un sector de la Llanura Pampeana de Córdoba. Argentina, resumen publicado en el Taller de Cuaternario del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta.
- Sayago, J. M., 1981. Rasgos geomorfológicos del territorio argentino. Unidades morfoestructurales, Atlas Total de la República Argentina, Centro Editor de América Latina, 18: 284- 285.