

# Magnetismo ambiental en un paleosuelo desarrollado en la Formación Luján (Luján, provincia de Buenos Aires). Comparación con otras áreas de la provincia; consideraciones paleoclimáticas

María J. ORGEIRA<sup>1,2</sup>, Ana M. WALTHER<sup>2</sup>, Rita O. TÓFALO<sup>1</sup>, Carlos A. VÁSQUEZ<sup>2,3</sup>, Thelma BERQUÓ<sup>4</sup>, Cristian FAVIER DOBOIS<sup>2</sup> y Harald BÖHNEL<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, FCEN, Depto. Cs. Geológicas, Cdad Universitaria BsAs, Argentina.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA

<sup>3</sup> CBC Universidad de Buenos Aires

<sup>4</sup> IF Universidade de Sao Paulo, BRASIL

<sup>5</sup> UNICIT, Instituto de Geofísica, Querétaro, MEXICO

**RESUMEN.** Se efectuó un estudio de magnetismo ambiental en sedimentos postpampeanos, principalmente fluviales, asignados a la Formación Lujan (localidad tipo, Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina). La información surgida de las muestras recolectadas sugieren un fenómeno de disolución de los minerales ferromagnéticos detríticos durante el proceso edáfico. De la comparación de los resultados magnéticos obtenidos en paleosuelos y suelo holocenos labrados en "sedimentos postpampeanos" eólicos y fluviales (Fm. Luján y La Postrera), surge que existe una señal magnética característica en todos ellos. Asimismo, esta señal es consistente con la obtenida en sedimentos loésicos pampeanos asignados a la Fm. Buenos Aires. El fenómeno de disolución de minerales ferrimagnéticos detríticos es generalizado en el área chacopampeana. Sin embargo, este proceso puede asociarse a ulterior génesis de una fracción superparamagnética (SP), la que podría indicar una estación con importante deficiencia hídrica durante el evento climático. Por último, también se ha observado la asociación del fenómeno de disolución a la génesis de una fracción mineralógica de alta coercitividad, análogos a los encontrados en paleosuelos formados en loess pampeano.

**Palabras clave:** *Magnetismo ambiental, Paleoclimas, Magnetismo de rocas, Cuaternario*

**ABSTRACT.** *Environmental magnetism of a paleosol in the Lujan Formation (Luján, Buenos Aires Province), comparison with other areas in the province and palaeoclimatic considerations.* An environmental magnetic study of mainly fluvial "postpampean sediments" assigned to the Lujan Formation (Luján, Buenos Aires Province, Argentina) was carried out. The results obtained suggest a depletion of detrital ferromagnetic minerals during the pedogenetic processes. A characteristic magnetic signal can be distinguished in Holocene paleosols and soils of both eolian and fluvial "post-Pampean sediments" (Fm. Luján and Fm. La Postrera). This signal is analogous to that determined in loessic Pampean sediments assigned to the Buenos Aires Formation. It is inferred that the depletion of detrital ferromagnetic minerals is a general process in the Chacopampean area. This process may be associated with the genesis of a superparamagnetic fraction (SP), which could indicate dry periods during the climatic event. The depletion could also be associated with the genesis of a high coercivity fraction, analogous with those determined in paleosols in the Pampean loess.

**Key words:** *Environmental magnetism, Paleoclimates, Rock magnetism, Quaternary*

## Introducción

Se efectuó un estudio de magnetismo ambiental en sedimentos postpampeanos, principalmente fluviales, asignados a la Formación Lujan (localidad tipo, Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina) (Fig.1).

Los objetivos principales de la presente contribución fueron, por una parte, determinar en detalle los parámetros magnéticos no direccionales de los sedimentos aflorantes en el perfil, con el fin de caracterizar magnéticamente estos depósitos sumamente frecuentes para la llanura Chacopampeana, y por la otra, efectuar una comparación de la señal magnética de material edafizado de una misma unidad litológica en

dos localidades distantes 500 km, la presentada en esta contribución y la aflorante en la localidad de Olavarría (en la margen derecha del Ao. Tapalqué, Olavarría, prov. de Buenos Aires; Orgeira *et al.* en prensa).

En el área de Luján (Fig. 1), en las vecindades de la ciudad homónima, afloran unidades de carácter regional correspondientes al Pleistoceno tardío y Holoceno. Se trata de sedimentos fluviales y lacustres llamados "Lujanense" y "Platense" en la terminología geológica clásica, formalmente designados como Formación Luján (Fidalgo *et al.* 1973). Ameghino (1889) acuña el término Lujanense para referirse a aquellos sedimentos que constituyen la parte superior de su Formación Pampeana, a los que en trabajos

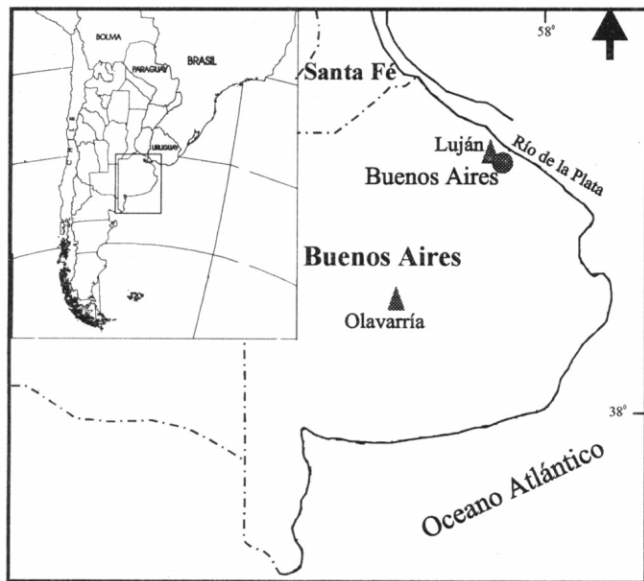


Figura 1: Mapa de ubicación.

anteriores denominara Pampeano Lacustre. La descripción de la localidad tipo fue efectuada en 1884, en la barranca izquierda del río Luján, en el pueblo homónimo. Estos depósitos están constituidos por arcillas blancas o amarillentas verdosas, a veces con un alto porcentaje de carbonato de calcio, presentando en algunos casos intercalaciones de tosquillas rodadas (Ameghino 1889). Los abundantes restos de mamíferos cuaternarios que albergan fueron exhaustivamente estudiados por este notable investigador. Posteriormente, Frenguelli (1928, 1950, 1957) realiza una descripción más detallada de esta unidad. Para este autor es un horizonte principalmente cenagoso depositado en su mayor parte bajo condiciones de clima húmedo y frío, esto último indicado por el color gris verdusco de sus sedimentos; está constituido por limos, a menudo arcillosos, de colores verde y gris. Esta unidad es para Frenguelli (1957) el límite superior del Pleistoceno de la Argentina, dada la presencia en sus sedimentos de numerosos mamíferos extinguidos.

A estos sedimentos que rellenan la base de los valles fluviales pampeanos, los suprayacen aquellos referidos al denominado Platense. Doering (1882) designa de esta manera a las margas gris cenicientas de Luján, Mercedes, y el río Sauce Chico, entre otras. Para Ameghino (1889) son depósitos especialmente lacustres constituidos por estratos de arcillas y arena siempre de color gris ceniza, a veces bastante oscuro, con algo de carbonato, que se diferencian claramente del pampeano lacustre más antiguo, Lujanense, de colores verdosos a amarillentos bien definidos. La descripción más extensa y detallada del Platense, sin embargo, fue realizada por Frenguelli (1945). Para este autor son limos de color gris ceniza claro, que a veces se hace oscuro, con una cantidad siempre elevada de sílice organizada: células silicificadas de

gramíneas, esponjas de agua dulce, y frústulas de diatomeas que llegan a dominar en el sedimento, por los que los llamó en estos casos limos tripoláceos. Suelen abundar asimismo las cenizas volcánicas. Estos depósitos corresponderían a lagunas de distintas dimensiones y poca profundidad, o a cursos de agua comunicados en gran parte con estas lagunas, que le dan un carácter fluviolacustre (Frenguelli 1945).

En las proximidades de la bahía Samborombón, relacionados principalmente con el curso del río Salado, los sedimentos fluviales y lacustres referibles al Lujanense y Platense han sido designados por Fidalgo *et al.* (1973) con el nombre de Formación Luján. Esta se halla dividida en dos miembros, denominados Miembro Guerrero (el que corresponde al Lujanense) y Miembro Río Salado (Platense). La formación está compuesta por arenas finas y muy finas, generalmente de color castaño rojizo en la base, y limos arcillo arenosos a arcillosos de color generalmente gris a gris blanquecino, con un mayor porcentaje de ceniza volcánica y carbonato de calcio (Mb. Río Salado) siendo comunes los lentes con restos de moluscos dulceacuícolas (Fidalgo *et al.* 1975). En el techo de ambos miembros se menciona la presencia de dos unidades pedoestratigráficas (suelos enterrados), denominadas Suelo Puesto Callejón Viejo (entre los Miembros Guerrero y Río Salado) y Suelo Puesto Berrondo (sobre el Mb. Río Salado) (Tonni y Fidalgo, 1978). Del Miembro Guerrero han sido exhumados en repetidas oportunidades fósiles de Edad Mamífero Lujanense.

Los depósitos correspondientes al Pleistoceno tardío (Lujanense o Mb. Guerrero de la Fm. Luján) registran diversos indicadores de condiciones áridas y frías (Tonni y Fidalgo 1978, Prado *et al.* 1987, Bonadonna *et al.* 1995, Prieto 1996). Existen dataciones radiocarbónicas que ubican esta unidad entre ca. 13 y 29 ka AP (Tonni *et al.* 1999).

Durante el Holoceno se han alternado períodos de aridez (durante el temprano y tardío) con momentos húmedos, por lo general más templados (predominantes en el Holoceno medio), oscilaciones evidenciadas por los estudios geológicos, faunísticos (mamíferos), isotópicos, palinológicos, y micropaleontológicos en distintas localidades de la región (Fidalgo y Tonni 1978, Tonni 1992, Iriondo y García 1993, Bonadonna *et al.* 1995, Prieto 1996, Zárate *et al.* 1996 y 1998, entre otros). La cronología del Platense o Mb. Río Salado de la Fm. Luján se basa en numerosas edades radiocarbónicas entre ca. 3300 y 10200 AP (Johnson *et al.* 1998, Tonni *et al.* 1999).

### Estratigrafía

Se levantó un perfil de detalle teniendo en cuenta espesor, geometría y contactos de los bancos, estruc-

turas sedimentarias y edáficas, fósiles, características composicionales y texturales de los sedimentos y/o sedimentitas. Al mismo tiempo se muestrearon las distintas unidades sedimentarias.

Para la determinación de colores se utilizó la cartilla de patrones cromáticos del Rock Color Chart Committee. El código de litofacies corresponde al propuesto por Miall (1996).

El análisis granulométrico se efectuó, previo cuarteo y desagregación mecánica y química, con sedígrafo marca Cilus 1180. Con los datos obtenidos se confeccionaron los histogramas y curvas de frecuencia acumulativa en papel probabilístico, a partir de los cuales se calcularon los parámetros estadísticos, obtenidos analíticamente por el método de los momentos.

Las fracciones arena fina, muy fina y limo fueron analizadas bajo microscopio, previa separación bromofórmica de los componentes pesados y livianos.

El perfil estudiado, de 3 m de potencia, está integrado por sedimentos fluviales correspondientes al Miembro Guerrero, Formación Luján (Fidalgo *et al.* 1973) con restos de fauna extinguida (Fig. 2). A éstos los suprayacen depósitos correspondiente al Miembro Río Salado, Formación Luján.

En el perfil se desarrolla un suelo enterrado holoceno tardío. Las dataciones OCR efectuadas sobre la materia orgánica del mismo proporcionan una edad mínima de inicio de  $2350 \pm 70$  YBP (ACT# 4282) y una edad máxima de sepultamiento de  $285 \pm 10$  YBP (ACT#4283). Las características observadas en el campo indican que este suelo puede caracterizarse como un Molisol, que presenta estructura prismática y gran desarrollo vertical de sistemas radiculares. A lo largo de todo el perfil edáfico se detectó un importante contenido de materia orgánica.

El perfil está integrado por seis unidades sedimentarias a las que suprayacen sedimentos fluviales actuales.

La unidad inferior (A), de 30 cm de potencia, tiene la base cubierta, geometría tabular y su techo es transicional hacia la unidad B (Fig. 2)

Es de color gris naranja pálido (5YR 7/2), friable, tiene estratificación media e internamente con laminación de arena muy fina, limo y arcilla (litofacies Fl) que, frecuentemente, aparece destruída por bioturbación.

La litofacies Fl se ha generado a partir de corrientes tractivas muy débiles y por decantación y representa depósitos de planicie de inundación.

Esta unidad de origen fluvial, correspondería al Miembro Guerrero de la Formación Lujan (Fidalgo *et al.* 1986).

La unidad B suprayace a la anterior mediante contacto transicional (Fig. 2), tiene un espesor de 0,70 m, es mantiforme y posee estratificación gruesa. Es friable, de color rojo moderado (5R 5/4) e internamente

tiene laminación dada por la alternancia de limo y arcilla (litofacies Fsm). Esta laminación es difusa, irregular e interrumpida y en muchos sectores el depósito se torna masivo por bioturbación (litofacies Fm). Es común la presencia de raíces.

El sedimento que integra esta unidad es bimodal, con moda principal en limo mediano y secundaria en arcilla. La mediana (Md), obtenida a partir del gráfico en papel probabilístico es de 4,90 phi, mientras que la media (Mz) es 5,13 phi y la media aritmética, calculada por el método de los momentos, es 4,76 phi. El material está mal seleccionado, y la curva de frecuencia acumulativa posee asimetría positiva o fina y es leptocúrtica.

La litofacies Fsm representaría depósitos distales de planicie de inundación, caracterizados por la abundancia de pelitas, con muy escasa proporción de arena muy fina y enriquecido en material arcilloso (asimetría positiva). La litofacies Fm corresponde a los mismos sedimentos cuya estructura primaria ha sido borrada por bioturbación, principalmente originada por la acción de raíces.

La unidad C se apoya en forma transicional sobre la anterior (Fig. 2), tiene 0,10 m. de potencia, es de geometría tabular e internamente maciza, friable y de color gris castaño claro (5YR 6/1). Está compuesta principalmente por material arcilloso, acompañado por pequeña cantidad de limo, son comunes los moldes de raíces y los cutanes (litofacies Fr).

Estos moldes revestidos por cutanes indican la acción de fenómenos edáficos en litofacies de grano fino, correspondientes a planicie de inundación, lo que estaría vinculado a la existencia de un clima benigno que habría permitido el crecimiento de vegetación. La ausencia de nódulos carbonáticos indica que el suelo se desarrolló bajo clima húmedo.

La unidad D tiene 0,13 m de potencia, se apoya transicionalmente sobre la unidad C (Fig. 2), es friable y de color gris castaño claro (5YR 6/1). Tiene geometría tabular y está integrada por material pelítico con neto predominio del material arcilloso. Internamente es masivo y contiene abundantes conchillas de Planorbis y Litoridina, enteras o escasamente fragmentadas (litofacies Fcf).

La litofacies Fcf representa depósitos en charcos de agua poco profundos, ubicados en la planicie de inundación.

La unidad E, de 0,60 m de desarrollo vertical, suprayace a la anterior mediante contacto transicional (Fig. 2), es mantiforme y tiene estratificación gruesa. Está constituida por material pelítico, es friable y de color gris mediano (N5). El sector basal es masivo debido a bioturbación probablemente causada por raíces (litofacies Fm), fenómeno que se incrementa gradualmente hacia los tramos medio y superior, donde se observan numerosos moldes de raíces, cutanes y estructuras edáficas prismáticas mal definidas (litofacies Fr).

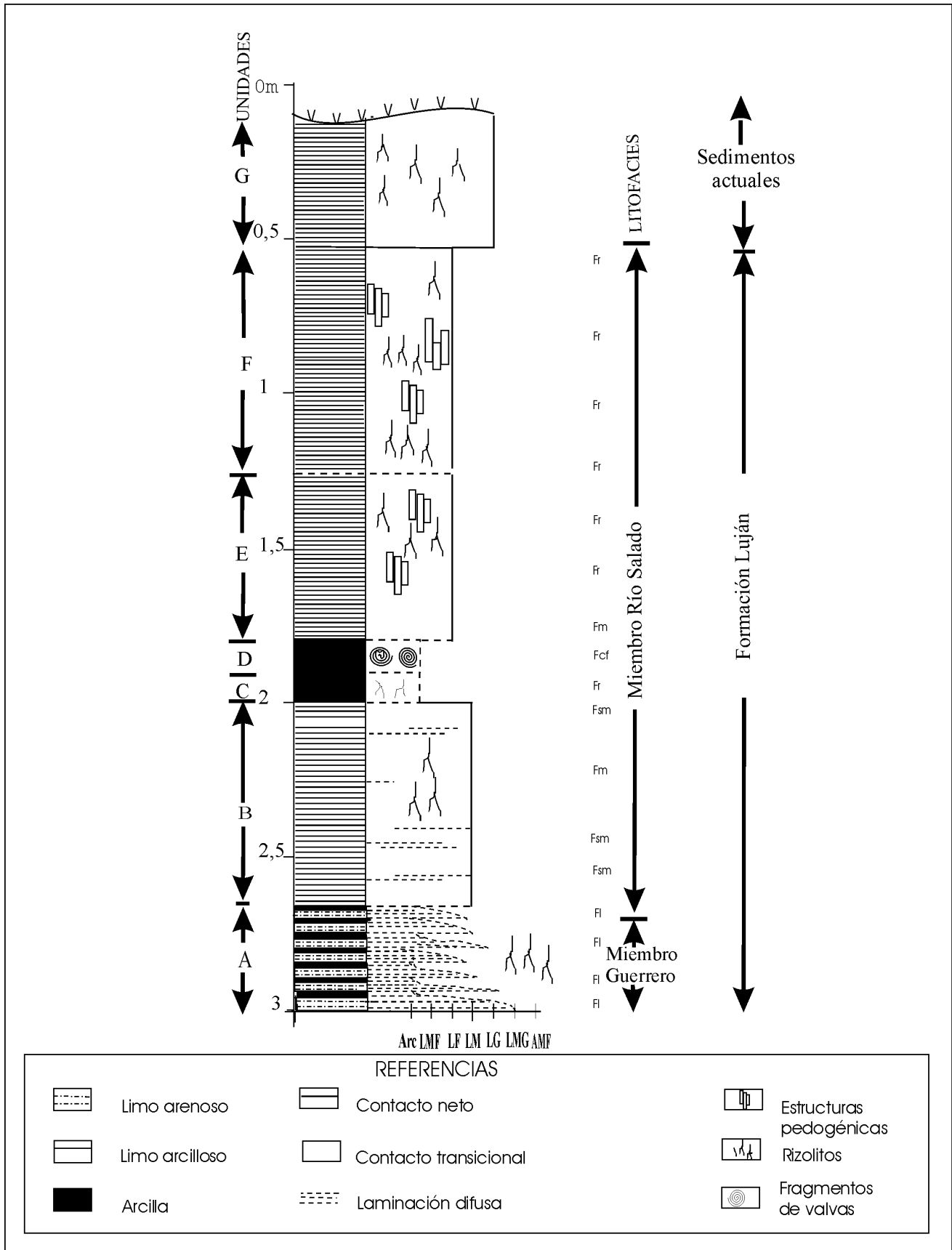


Figura 2: Perfil estratigráfico de la localidad estudiada.

El sedimento es bimodal, con moda principal muy destacada en limo fino y secundaria, poco desarrollada, en arcilla. La mediana (Md), obtenida a partir del gráfico en papel probabilístico es de 5,75 phi, mientras que la media (Mz) es 5,95 phi y la media aritmética, calculada por el método de los momentos, es 5,58 phi. El material está pobremente seleccionado, y la curva de frecuencia acumulativa presenta asimetría positiva o fina y es mesocúrtica.

La litofacies Fm representaría depósitos distales de planicie de inundación enriquecidas en material arcilloso (asimetría positiva), cuyas estructuras primarias no fueron preservadas debido a pedoturbación. Su pasaje transicional a litofacies Fr, con numerosas evidencias de edafización y sin el desarrollo de nódulos carbonáticos, representa el establecimiento de un suelo en clima húmedo.

La unidad F tiene 0,75 m de espesor; es similar a la subyacente, de la que la separa un contacto transicional (Fig. 2) y se diferencia por un tono levemente más claro y por presentar mayor cantidad de rasgos edáficos. Su techo es neto. Tiene geometría tabular, estratificación gruesa, color gris mediano (N6) y es friable. No se observan estructuras sedimentarias pero, en cambio, son muy conspicuas las estructuras edáficas prismáticas, los moldes y restos radiculares y los cutanes (litofacies Fr).

El sedimento que forma esta unidad tiene moda en limo fino, mientras que la mediana (Md), obtenida a partir del gráfico en papel probabilístico es de 5,95 phi, la media (Mz) es 6,40 phi y la media aritmética, calculada por el método de los momentos, es 5,63 phi. El material está muy mal seleccionado, y la curva de frecuencia acumulativa tiene asimetría positiva o fina y es levemente leptocúrtica.

También representa depósitos distales de llanura de inundación, sobre los cuales se ha desarrollado un suelo en clima húmedo, como lo prueban los abundantes rasgos de edafización y la carencia de nódulos carbonáticos y otras estructuras vinculadas con el desarrollo de suelos en climas semiáridos.

Se considera que la sucesión sedimentaria que comprende las unidades B a F corresponden al Miembro Río Salado de la Formación Luján (*sensu* Fidalgo *et al.* 1986).

#### Composición de las fracciones limo y arena

En todas las muestras estudiadas, tanto en las correspondientes al perfil ubicado en las cercanías de la ciudad de Luján, como en aquellas obtenidas del perfil muestreado sobre la margen derecha del arroyo Tapalqué (Olavarría, Miembro Río Salado, Orgeira *et al.* 2001) se observa una conspicua similitud; consecuentemente, se describen a continuación en forma conjunta. En el sedimento predomina ampliamente la fracción liviana sobre la pesada, cuya proporción

nunca supera el 2%. Por otra parte, dichas fracciones están integradas por similares componentes. Sin embargo y particularmente entre los livianos, se registran importantes diferencias en los porcentajes relativos, principalmente vinculadas al tamaño medio de grano. Así, en aquellas muestras donde la moda principal se encuentra en limo grueso o mediano predominan los vitroclastos (30 a 45%), seguidos por plagioclasas (25 a 35%) y fragmentos líticos (18 a 25%), con cantidades siempre subordinadas de componentes organógenos (2 a 17%), cuarzo (5 a 7%) y feldespato potásico (2 a 4%).

En las muestras donde el tamaño modal se localiza en la clase limo fino, en cambio, predominan ampliamente los componentes de naturaleza orgánica sobre los epi y piroclásticos. Se trata principalmente de silicofitolitos y diatomeas, con espículas de espongiarios de agua dulce y muy escasa y esporádica presencia de dahlita, que alcanzan porcentajes que oscilan entre 65 y 80%. Están acompañados por vitroclastos (15 a 20%), plagioclasas (5 a 12%), fragmentos líticos (4 a 8%) y vestigios de cuarzo y feldespato potásico.

Los componentes pesados integran, en todos los casos, una *suite* donde predominan los anfíboles (30 a 42%), acompañados por minerales opacos (25 a 32%), menor proporción de piroxenos (8 a 20%) y epidoto (10 a 18%) y escasa participación de micas (0 a 2%), circón (0 a 2%) y estauroilita (0 a 1%).

#### Componentes livianos

*Vitroclastos:* Se han observado tanto trizas como fragmentos pumíceos, en general incoloros o levemente rosados, con fuerte relieve negativo, correspondientes a la variedad ácida. Se encuentran frescos o con leve devitrificación y ocasionalmente, en los canalículos de los fragmentos pumíceos se vió material arcilloso y óxidos. Generalmente no aparecen signos de desgaste.

*Plagioclasas:* Siguen en importancia a los vitroclastos y están representadas por fragmentos tabulares, subangulosos, en algunos de los cuales pueden reconocerse las maclas polisintéticas de ley de albita. En general se presentan frescas, con escasa alteración arcillosa y con inclusiones fluidas y más raramente sólidas de cristales de circón, rutilo y apatita. Escasas secciones tienen adherencias vítreas.

*Fragmentos líticos:* Son granos equidimensionales, subredondeados, casi siempre opacos por alteración arcillosa e impregnación ferruginosa. La mayoría son de origen volcánico-piroclástico y corresponden a pastas felsíticas de riolitas y tobas ácidas y pilotácicas e intersertales de andesitas y basaltos. Se han observado ocasionalmente vestigios de areniscas de grano muy fino y pelitas.

*Feldespatos potásicos:* Son escasos y su distribución es uniforme en todas las muestras. Se trata de granos de ortosa subangulosos, tabulares y con alteración arcillosa.

*Silicofitolitos:* Se han reconocido en todas las muestras estudiadas y corresponden principalmente a células epidérmicas largas de gramíneas o prismatolitos (Bertoldi de Pomar 1971), células mesodérmicas de podostomáceas o longolitos (Bertoldi de Pomar 1971) y otras variedades como globulolitas y proteolitas (Bertoldi de Pomar 1971).

*Diatomeas:* Corresponden a algas unicelulares y son comunes en los sedimentos pampeanos y postpampeanos

*Dahlita:* Solo se han observado vestigios de este fosfato, que se presenta como finos agregados granosos de color amarillento o castaño claro.

#### *Componentes pesados*

*Anfíboles:* Se detecta hornblenda, con amplio predominio de la variedad común (verde y castaña), sobre la lamprobolita. Son prismas alargados de contornos angulosos, frescos, con escasas inclusiones. Algunos individuos poseen bordes serrados producidos por disolución intraestratal.

*Minerales opacos:* Son granos subredondeados correspondientes a magnetita, hematita, ilmenita y leucoxeno.

*Hipersteno:* Son prismas alargados, subangulosos a subredondeados, verde amarillentos, con marcado pleocroísmo, frescos. Pueden tener extremidades serradas efecto de disolución intraestratal y ocasionalmente, se han reconocido adherencias vítreas.

*Augita:* Siempre aparece subordinada al hipersteno y aparece como prismas anchos, subangulosos a subredondeados, de color verde, no pleocroicos. Puede contener inclusiones opacas y se encuentra fresca.

*Epidoto:* Son clastos de contorno irregular, de color verde amarillento, con aspecto sucio y fisurado.

*Micas:* Se han observado escasas láminas de biotita y de muscovita, frescas.

*Circón:* Se presenta como cristales bipiramidados, o fragmentos de estos, muy poco redondeados.

*Estaurolita:* Es muy escasa y aparece como clastos irregulares, subangulosos, con pleocroísmo moderado rosado a castaño rojizo y frecuentes inclusiones carbonosas.

#### **Estudio de magnetismo de rocas**

La susceptibilidad magnética se midió con un susceptibilímetro Bartington MS2 del Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de rocas de la Universidad de Buenos Aires; los ciclos de histéresis y la curva de IRM se efectuaron con un magnetómetro vibrante (VSM) Molspin del Instituto de Geofísica de la Universidad de San Pablo y un VSM Micromag del Instituto de Geofísica de la Universidad Autónoma de México

Se realizó un muestreo de 46 niveles sucesivos (5 cm de potencia cada uno) de toda la secuencia aflorante.

La susceptibilidad magnética total (X) se midió en 2 frecuencias (baja 470 Hz y alta 4700Hz) no registrándose diferencias significativas. En la figura 3 se han representado las fluctuaciones de la X magnética total normalizada a masa (470 Hz) en función de la posición estratigráfica de las muestras estudiadas a lo largo del perfil. En la citada figura puede observarse un marcado decrecimiento de la X total; éste se vincula al sector del perfil edafizado (Fig. 2). Los valores más bajos de este parámetro se encuentran en el sector más estructurado del suelo enterrado. Se destaca que a lo largo de este perfil el valor de la susceptibilidad paramagnética (inferior al 10% de la total), así como sus fluctuaciones, no son relevantes respecto al valor de la susceptibilidad magnética total.

En la citada figura también se han representado las variaciones de los parámetros de coercitividad (Hc) y coercitividad de la remanencia (Hcr); el rango en el que fluctúan los mismos son compatible con los esperados para magnetitas y/o titanomagnetitas (Dankers 1978; Roberts *et al.* 1995).

Las variaciones de la magnetización de saturación (Ms) y de la magnetización remanente de saturación (Mrs) tienen patrones similares a lo largo del perfil (Fig.3). Se observa una tendencia decreciente de estos parámetros desde el nivel 2,0 m hacia el techo, consistente con la tendencia observada en la susceptibilidad. La relación X/Ms no presenta fluctuaciones relevantes (inferiores al 10%) en prácticamente todo el perfil, lo que estaría indicando un tamaño de partícula magnética aproximadamente constante. Consecuentemente, los citados descensos de los parámetros magnéticos puede atribuirse a un empobrecimiento gradual de la cantidad de partículas ferrimagnéticas presentes desde los 2,0 m hacia el tope de la secuencia. Luego, esta disminución de material ferromagnético se asocia con el incremento de rasgos pedogénicos observados en el campo lo que estaría indicando disolución de componentes detríticos magnéticos inducida por los procesos edáficos actuantes.

Debe señalarse que en el campo se observaron cambios litológicos entre las profundidades 1,8 a 2,0 m lo que podría estar indicando en estos sectores variaciones en el aporte detrítico. Ello se hace más notorio en

las Mrs y Ms (Fig. 3) que estarían marcando un aumento más conspicuo de material magnético en este sector; el efecto no se observa tan pronunciado en la X (Fig. 3). No puede descartarse una sobreimpresión en la señal magnética en este sector del perfil.

### Síntesis de los resultados magnéticos obtenidos en la Fm. Luján, Miembro Río Salado (Ao. Tapalqué, Olavarría, Prov. de Buenos Aires)

En la citada localidad se efectuó un estudio de magnetismo de rocas a través del cual se determinaron parámetros magnéticos no direccionales intensivos y extensivos, sobre la base de mediciones con susceptímetro, magnetómetro vibrante (VSM), estudios de magnetismo isotérmico (IRM) y experiencias de campo inverso (*back field*) (Orgeira *et al.* 2001). Un particular comportamiento magnético fue detectado en niveles estrictamente relacionados con procesos pedogenéticos Suelo Puesto Callejón Viejo (SPCV), Suelo Puesto Berrondo, (SPB) y suelo actual. Se atribuye este comportamiento a la disolución parcial de la

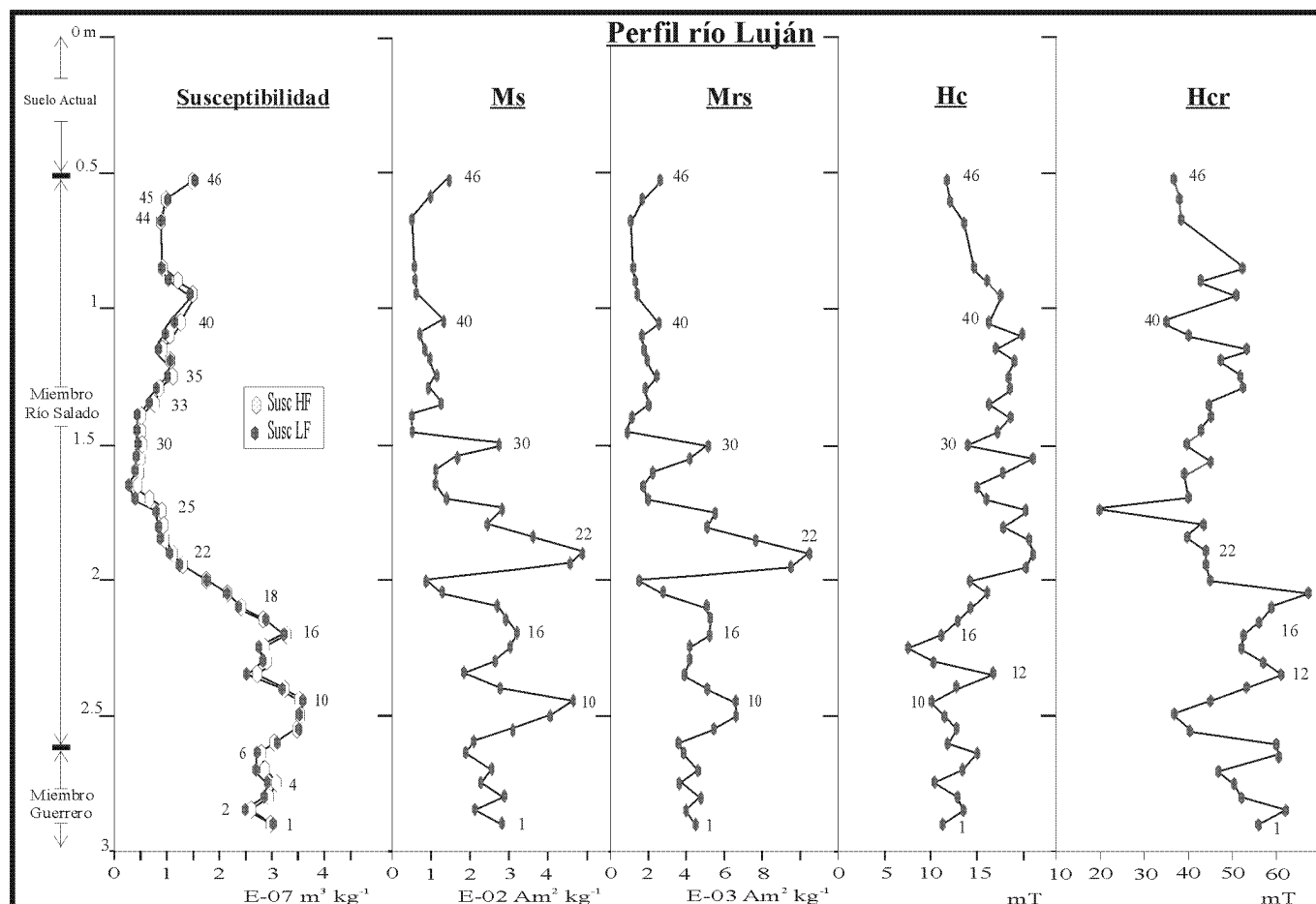
fracción ferrimagnética (magnetita/titanomagnetita) y a la posible neoformación de una fracción de alta coercitividad (hematita?) como proceso asociado, durante el proceso pedogenético. Es de destacar que análogo comportamiento magnético ha sido mencionado, entre otros, por Orgeira *et al.* (1998), Vásquez *et al.* (1998), Bidegain (1998) y Bidegain *et al.* (2001).

### Espectrometría Mössbauer y ensayos a bajas temperaturas

#### Espectrometría Mössbauer

Los parámetros Mössbauer más importantes son: corrimiento isomérico (IS), interacción cuadrupolar (DQ) y la interacción hiperfina del campo magnético ( $H_{\text{eff}}$ ). En las muestras naturales, estos parámetros son influenciados por imperfecciones cristalinas, tamaño de partícula, relación no estequiométrica del mineral y sustitución del hierro por otros átomos.

La composición química, estructura cristalina y propiedades magnéticas de óxidos e hidróxidos de



**Figura 3:** Perfiles de susceptibilidad magnética (X), magnetización de saturación (Ms), magnetización remanente de saturación (Mrs), coercitividad (Hc) y coercitividad de la remanencia (Hcr) obtenidos en muestras recolectadas en los Mbs. Guerrero superior y Río Salado de la Fm. Luján (Luján, prov. de Buenos Aires, Argentina).

$\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ , determinan los parámetros Mössbauer. Cada óxido tiene parámetros específicos de Mössbauer, los cuales permiten la fácil identificación en el espectro.

Los espectros se midieron directamente en las muestras naturales, sin someterlas a ningún proceso de concentración. Se utilizó el modo convencional de aceleración constante. Las mediciones fueron efectuadas en geometría de transmisión. La fuente fue  $^{57}\text{Co}$  en Rh. Se empleó un crióstato con helio líquido, lo que permitió realizar mediciones entre 4,2 K y 300 K.

#### Magnetización a bajas temperaturas

Se han realizado estudios de la variación del comportamiento magnético con la temperatura, calentando las muestras desde 10 K hasta 300 K, en un campo magnético constante y homogéneo de 30 mT. Para ello se utilizó el magnetómetro Quantum Design MPMS XI SQUID; mediante estos ensayos fue posible investigar las transiciones de fase como las de

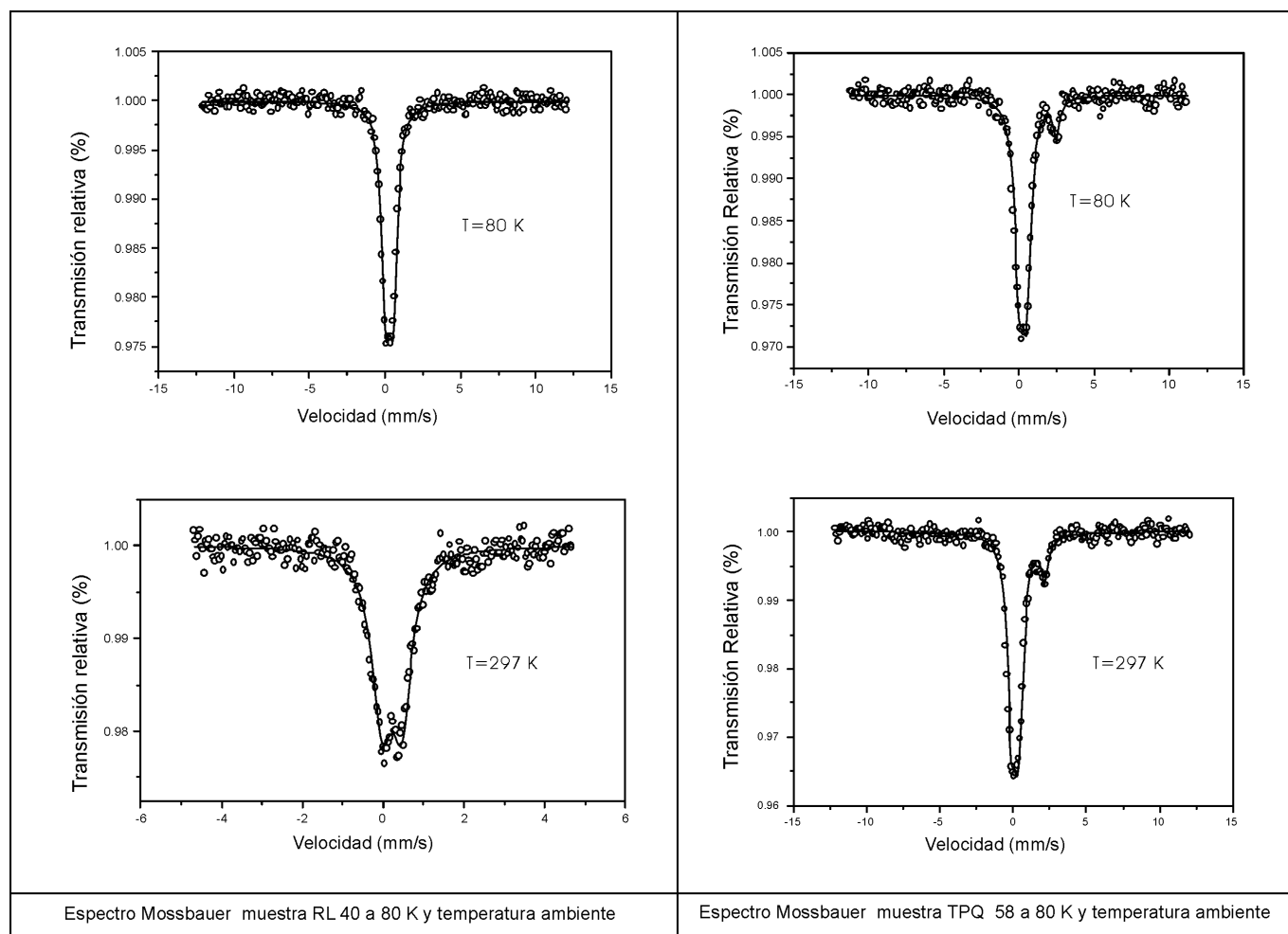
Verwey en la magnetita y Morín en la hematita, así como la presencia de partículas superparamagnéticas (SP).

#### Resultados de la espectroscopía Mössbauer y Magnetización a bajas temperaturas

Se efectuaron sendos estudios en muestras provenientes de la localidad de Luján y de la localidad de Olavarría (Arroyo Tapalqué, Orgeira *et al.* 2001); dichas muestras provienen de los paleosuelos observados en ambas localidades en el Miembro Río Salado de la Fm. Luján.

El espectro Mössbauer de las muestras del perfil río Luján (RL40) a temperatura ambiente, presenta dos dobletes, los cuales pueden ser asignados a dos posibles causas: hierro en minerales magnéticos cristalográficamente ordenados, pero que son SP a temperatura ambiente o hierro en minerales paramagnéticos no ordenados (Vandenberghe *et al.* 1990) (Fig. 4).

Para tratar de aceptar una de estas hipótesis, se en-



**Figura 4:** Resultados de espectrometría Mössbauer en muestras representativas de los paleosuelos presentes en la Fm. Luján en las localidades de Luján y Arroyo Tapalqué (prov. de Buenos Aires).



frió la muestra a 80 K y 4,2 K y se obtuvieron sendos espectros Mössbauer; ambos muestran un sólo doblete, lo cual es una indicación de la presencia de minerales paramagnéticos.

Las muestras del perfil de Tapalqué (TPQ) han dado espectros Mössbauer un poco diferentes. A temperatura ambiente (Fig. 4) se observa un doblete dominante  $Fe^{3+}$  y otro doblete  $Fe^{2+}$ . Al disminuir la temperatura a 80K, es posible inferir una pequeña concentración no cuantificable de una fase magnéticamente ordenada. Este ordenamiento magnético podría ser producto del bloqueo de los granos superparamagnéticos con el decrecimiento de la temperatura. La sugerida fracción SP fue también inferida en las mediciones de magnetización a bajas temperaturas (Fig. 5) en la zona de temperaturas inferiores a 50 K, de acuerdo a lo descrito por Lanci *et al.* (1999) y por Dunlop y Ozdemir (1997).

Por otra parte, la presencia de sólo  $Fe^{3+}$  en las muestras del río Luján, indica que la componente  $Fe^{2+}$ , se oxidó.

## Discusión de resultados

Las características composicionales de las muestras estudiadas sedimentológicamente indican que:

- Entre los integrantes de la fracción liviana se ha reconocido una asociación constante en especies, pero afectada por variaciones cuantitativas íntimamente relacionadas con el tamaño de grano.

- En los sedimentos con tamaño modal en las clases limo grueso y mediano, predominan los vitroclastos acompañados por componentes epiclásticos metaestables (plagioclasas, litoclastos de vulcanitas, tobas y escasas sedimentitas, feldespatos potásicos), sobre los minerales estables (cuarzo) y los componentes organógenos (silicofitolitos, diatomeas, espículas de esponjas y dahlita).

- En las muestras cuya moda corresponde, en cambio, a la fracción limo fino, existe un neto predominio de los componentes organógenos sobre los granos epi y piroclásticos.

- Entre los integrantes de la fracción pesada se ha detectado, en todos los casos, amplio predominio de una *suite* constituida por minerales frescos y con escaso redondeamiento. Sólo se ha observado ocasionalmente circón, único representante pesado de los minerales estables, y en todos los casos sin mayores signos de desgaste.

- Todo el material analizado es mineralógicamente inmaduro.

- Las características composicionales de las muestras estudiadas indican que ha existido un aporte piroclástico directo (vitroclastos), al que se han sumado elementos epiclásticos que provienen principalmente de la destrucción de rocas volcánicas y piroclásticas y en muchísima menor medida de sedi-

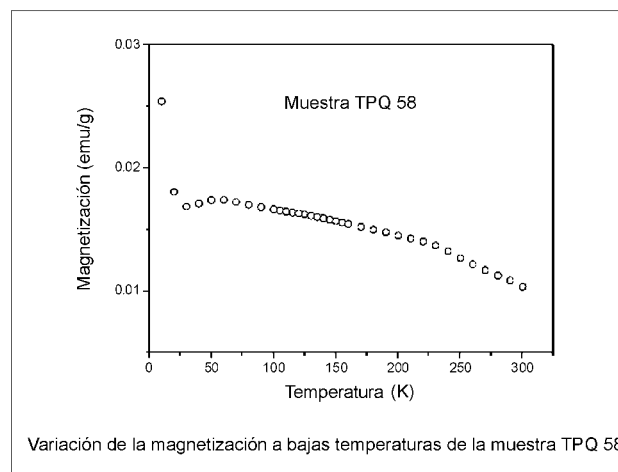
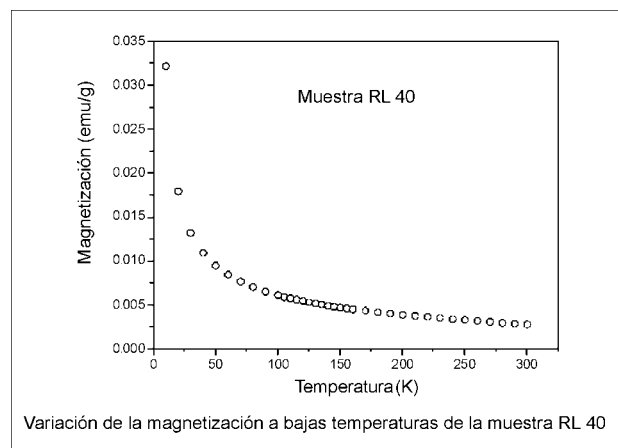
mentitas, metamorfitas y plutonitas.

- La naturaleza petrográfica de los fragmentos líticos indican aportes volcánico, piroclástico y en mucha menor proporción sedimentario.

- Las plagioclasas con adherencias vítreas tienen un claro origen volcánico –piroclástico, mientras que los feldespatos potásicos podrían derivar de rocas metamórficas o plutónicas.

- Los minerales pesados confirman las procedencias señaladas. Así los clastos de hipersteno con rebordes vítreos, y la lamprobolita indican procedencia volcánico-piroclástica, mientras que los granos subredondeados y los anfíboles y piroxenos con disolución intraestratal señalan que han sufrido al menos un ciclo sedimentario previo. La presencia de epidoto y estauroлита, en cambio, sugieren procedencia metamórfica y el circón plutónica

- Se observa uniformidad desde el punto de vista mineralógico a lo largo de las secciones estudiadas; dicha uniformidad se mantiene, en sentido amplio, en las Formaciones Buenos Aires y Ensenada, con la



**Figura 5:** Comportamiento de la magnetización de saturación a bajas temperaturas de una muestra representativa del paleosuelo Puesto Berrondo (Fm. Luján, localidad de Arroyo Tapalqué, prov. de Buenos Aires) y de una muestra del suelo enterrado de la Fm. Luján, del perfil aflorante en la localidad de Lujan (prov. de Buenos Aires).

excepción del contenido de vidrio volcánico. Este hecho ya ha sido puesto de manifiesto en el pasado (entre otros, Fidalgo *et al.* 1991).

Los resultados magnéticos hasta aquí expuestos sugieren una disolución de los minerales ferrimagnéticos detríticos constituyentes del material parental en todos los suelos y paleosuelos estudiados en el Miembro Río Salado de la Fm. Luján en las localidades de Luján y Arroyo Tapalqué-Olavarría (presente contribución y Orgeira *et al.* 2001). Esta información es consistente con la obtenida en paleosuelos en "sedimentos pampeanos" de la Fm. Buenos Aires (Orgeira *et al.* 1998; Vásquez *et al.* 1998; entre otros). Este comportamiento magnético análogo podría ser consecuencia de la similitud mineralógica en los materiales parentales ("Sedimentos Pampeanos" y "Sedimentos Post Pampeanos"), hecho señalado precedentemente.

El fenómeno de disolución parece el común denominador de las señales magnéticas detectadas. La inestabilidad química de la magnetita en ambientes ácidos ya ha sido postulada por numerosos autores (Faure 1998). Los ácidos húmicos generados en el proceso de pedogénesis pueden proveer la acidez necesaria para la citada disolución durante un determinado lapso del proceso.

Si bien la disolución es un fenómeno común en todos los paleosuelos-suelos, existen otras evidencias magnéticas, cuya interpretación paleoambiental es relevante.

En el perfil de Tapalqué (Olavarría, Suelo Puesto Berrondo, SPB) los análisis a bajas temperaturas y la espectrometría Mössbauer están sugiriendo la presencia de una fracción superparamagnética (SP) de material ferrimagnético. Ello implicaría que la disolución puede estar asociada en un mismo paleosuelo a la génesis de minerales ferrimagnéticos (en sentido amplio). Evidentemente, ambos procesos no deberían ser simultáneos.

Se sugiere que la existencia de una fracción SP en el paleosuelo labrado en la Miembro Río Salado en el perfil de Tapalqué (SPB) podría ser indicadora de condiciones climáticas benignas con marcada estación seca (Maher 1998). Dado que el material parental es análogo, y ambas localidades están actualmente bajo la influencia de un clima análogo, el evento climático benigno que generó el paleosuelo en Tapalqué (período dentro del lapso 8810 - 4080 ybp, Figini *et al.* 1998) tuvo características diferentes al que generó el paleosuelo en la localidad de Luján (entre 2350 y 285 ybp).

En cuanto al suelo desarrollado sobre la Fm. La Postrera (localidad de Arroyo Tapalqué), en el que también se observa un fenómeno de disolución de la fracción ferrimagnética de origen detrítico, esta disolución se asocia con la presencia inferida de una fracción de mayor coercitividad (hematita?; Orgeira *et al.* 2001). Fenómenos vinculados al comportamiento de

los cationes  $Fe^{++}$  y  $Fe^{+++}$  durante los procesos pedogenéticos deben tomarse en consideración para el análisis de estos procesos.

Algunos de los complejos organominerales constituyentes de los suelos son compuestos orgánicos poco polimerizados que han complejado óxidos de Fe hidratados, en los cuales el ión Fe se halla en estado ferroso. Estos complejos organominerales mantienen el Fe en estado soluble a pH en los cuales sería muy poco solubles si estuviera libre, en consecuencia facilita la migración del catión en el perfil.

Si el suelo es biológicamente activo, muy aireado y poco ácido (*mull*) estos complejos se biodegradan rápidamente en el horizonte A, pero si el suelo es biológicamente poco activo (*moder*) suelos ácidos y mal aireados, los compuestos organominerales solubles son duraderos y migran en profundidad, luego precipitan en un cierto nivel formando un horizonte de acumulación (Bruckert y Jacquin 1966).

La precipitación puede ser originada por diferentes causas:

- Biodegradación del anión complejante
- Oxidación del catión, que pasa de  $Fe^{++}$  a  $Fe^{+++}$
- Presencia de cationes  $Ca^{++}$  que es más significativo en profundidad que en superficie, el cual tiene una acción floculante muy importante. (Muir *et al.* 1964)

Cuando el Fe precipita lo hace como un gel de hidrato férrico asociado a sílice coloidal y a ácidos fúlvicos. Los hidratos de hierro amorfo contribuyen a precipitar los complejos organominerales arrastrados desde la superficie (Schwertmann y Lentze 1966).

Estos geles amorfo son el origen de algunas de las estructuras característica que presentan los suelos: pelicular (como revestimiento de partículas) ó esponjosa (en forma de finos agregados). La forma amorfa se conserva mientras haya bastante materia orgánica ya que esta protege los geles férricos contra la cristalización (Schwertmann y Lentze 1966).

Si la precipitación de los óxidos e hidróxidos férricos asociados a  $MnO_2$  aumenta, la evolución a las fases cristalinas se hace posible y es favorecida por las etapas de desecación del suelo (Taylor Graley 1967).

En los climas húmedos con un período de desecación corto cristaliza goethita mientras que en los climas con una temporada de sequía más acentuada precipita hematita, ya sea directamente de los geles amorfo hidratados o por deshidratación de goethita.

## Conclusiones

En los paleosuelos y suelo holocenos estudiados, desarrollados en "sedimentos postpampeanos" eólicos y fluviales (Formaciones Luján y La Postrera), se detectan señales magnéticas características. Asimismo,

esta señal es consistente con la obtenida en sedimentos loésicos pampeanos asignados a la Fm. Buenos Aires.

El fenómeno de disolución de minerales ferrimagnéticos detríticos es generalizado en el área chacopampeana. Sin embargo, este proceso puede asociarse a ulterior génesis de una fracción superparamagnética (SP), la que podría indicar que en el evento climático se repitieron ciclos húmedo-seco (con estacionalidad marcada).

Finalmente, también se ha observado la asociación del fenómeno de disolución a la génesis de una fracción mineralógica de alta coercitividad, análogos a los encontrados en paleosuelos formados en loess pampeano .

## Agradecimientos

A las Universidades de Buenos Aires (Argentina), San Pablo (Brasil) y UNICIT (Nacional Autónoma de México). Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) subsidio 636/98.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ameghino, F., 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Actas VI, Pág. 1-1027, Córdoba.
- Bertoldi de Pomar, H., 1971. Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos. Ameghiniana. 8 (3 y 4): 317-328.
- Bidegain, J. C., 1998. New evidence of the Brunhes/Matuyama polarity boundary in the Hernández-Gorina quarries, north-west of the city of La Plata, Buenos Aires province, Argentina. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, Vol 11 (12): 207-229. A.A. Balkema.
- Bidegain, J. C., van Velzen y 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.
- Bonadonna, F., Leone, G. y Zanchetta, G., 1995. Composición isotópica de los fósiles de gasterópodos continentales de la Provincia de Buenos Aires. Indicaciones Paleoclimáticas. En Alberdi, M.T. Leone, G. y Tonni, E. P.(Ed.) Evolución Biológica y Climática de la Región Pampeana Durante los Últimos Cinco Millones de Años. Un Ensayo de Correlación con el Mediterráneo Occidental. 1: 75-104. Madrid
- Bruckert, S. y Jacquin, F., 1966. Bulletin E.N.S.A.N. 8 (2): 95. En Duchaufour P. Manual de edafología. Toray-masson S.A. (Ed). 1975. Barcelona.
- Dankers, P. H. M., 1978. Magnetic properties of dispersed natural iron-oxides of known grain-size. Ph.D. Thesis Rijksuniversiteit te Utrecht, Netherlands, 143 p. Utrecht.
- Doering, A., 1882. Geología. Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor general de la Expedición al Río Negro (Patagonia). Geología III: 300-530, Buenos Aires.
- Dunlop, D. J. and Ozdemir, O., 1997. Rock magnetism: fundamentals and frontiers. Cambridge University Press, 573 p. Cambridge.
- Faure, G., 1998. Principles and application of geochemistry. Second edition. 600 p. Prentice Hall, New Jersey.
- Fidalgo, F., De Francesco, F. y Colado, U., 1973. Geología Superficial de las Hojas Castelli, J.M. Cobo y Monasterio (Argentina). Relaciones del 6to. Congreso Geológico Argentino. 103-138. Bahía Blanca.
- Fidalgo, F., De Francesco F. y Pascual R., 1975. Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. En: Geología de la Provincia de Buenos Aires, 6º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 103-138. Bahía Blanca.
- Fidalgo, F. y Tonni, E., 1978. Aspectos paleoclimáticos del Pleistoceno Tardío-Reciente de la Provincia de Buenos Aires. Segunda Reunión Informativa del Cuaternario Bonaerense. Comisión de Investigaciones Científicas. 21-28. La Plata.
- Fidalgo, F., Gentile, R. O. y Correa, H. A., 1986. Geología y Geomorfología en la Cuenca del Arroyo Tapalqué. Provincia de Buenos Aires, Comisión de Investigaciones Científicas Informe 30: 1-73. La Plata.
- Fidalgo, F., Riggi, J.C., Gentile, R. O., Correa, H. A. y Porro, N., 1991. Los "Sedimentos Postpampeanos" continentales en el ámbito sur bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina 46 (3-4): 239-256. Buenos Aires.
- Figini, A., Huarte, R., Carbonari, J. and Tonni, E. P., 1998. Edades 14C en un perfil del Ao. Tapalqué, Pcia de Buenos Aires, Argentina. Contribución a la cronología de acontecimientos faunísticos-ambientales. Actas 10º Congreso Latinoamericano de Geología, 1: 27-31.
- Frenguelli, J., 1928. Observaciones geológicas en la región costanera Sur de la Provincia. De Buenos Aires. Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ciencias Educativas, Anales 2: 1-145, Santa Fe.
- Frenguelli, J., 1945. El Platense y sus diatomeas. Museo de la Plata Revista 2 (nueva serie) Geológica y 3 Paleontológica: 287-311 y 77-221, La Plata.
- Frenguelli, J., 1950. Rasgos generales de la morfología y geología de la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, Serie 2, 33: 1-72 La Plata.
- Frenguelli, J., 1957. Neozoico. Sociedad Argentina Estudios Geográficos. Geografía de la República Argentina 2 (3): 1-128. Buenos Aires.
- Iriondo, M. H. y García, N. O., 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18000 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 101: 209-220. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Johnson, E., Politis, G., Martinez, G., Hartwell, W., Gutierrez, M. and Haas, H., 1998. The radiocarbon chronology of Paso Otero 1 in the pampean region of Argentina. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. 11: 15-25.
- Lanci, L. Hirt, A. M., Lowrie, W., Lotter, A. F., Lemcke, G. and Sturm, M., 1999. Mineral magnetic record of Late Quaternary climatic changes in a high Alpine lake. Earth and Planetary Science Letters, 170: 49-59.
- Maher, B., 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 137: 25-54. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Muir, J.W., Morrison, R. J., Bown, C. J. and Logan, J., 1964. Journal of Soil Science 15 (2): 220.
- Miall, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer. 582 p. Canadá.
- Orgeira, M. J., Walther, A.M, Vásquez, C.A., Di Tommaso, I., Alonso, S., Sherwood, G., Yuang Hu and Vilas, J.F., 1998. Mineral Magnetic record of paleoclimatic variation in loess and paleosol from the Buenos Aires Formation ( Buenos Aires, Argentina) . Journal of South American Earth Sciences 11 (6): 561-570.
- Orgeira, M. J., Walther, A.M, Tófaló, R.O., Vásquez, C.A., Lippai, H., y R. Compagnucci; 2001. Estratigrafía y magnetismo de rocas en un perfil cuaternario. Implicancias paleoambientales y paleoclimáticas. Ao. Tapalqué, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56 (3): 353-366
- Prado, J. L., Menegaz, A. N, Tonni, E. y Salemme, M., 1987. Los Mamíferos de la Fauna Local Paso Otero (Pleistoceno Tardío),

- Provincia de Buenos Aires. Aspectos Paleoambientales y Bioestratigráficos. *Ameghiniana* 24: 217-233.
- Prieto, A. R. 1996. Late Quaternary Vegetational and Climatic Changes in the Pampa Grassland of Argentina. *Quaternary Research* 45: 73-88.
- Roberts, A.P., Cui Y. Yulong and K.L. Verosub; 1995. Wasp-waisted hysteresis loops: Mineral magnetic characteristics and discrimination of components in mixed magnetic systems. *Journal of Geophysical Research*, vol. 1000. N<sup>o</sup> B9 17909-17924. Washington
- Schwertmann, U. y Lentze, W. 1966. *Zeitsch. F. Pflanz. U. Bondenk* 115 (3): 209. En Duchaufour, P. Manual de edafología. Toray-masson S.A. (Ed). 1975. Barcelona.
- Taylor, R. M. y Graley, A.M. 1967. *Journal of Soil Science* 18 (2): 341. En Duchaufour, P. Manual de edafología. Toray-masson S.A. (Ed). 1975. Barcelona.
- Tonni, E. P., 1992. Mamíferos y Clima del Holoceno en la Provincia de Buenos Aires. En: Iriondo M., (Ed.): *El Holoceno en la Argentina*. Comité Argentino de Investigación del Cuaternario (CADINQUA) 1: 64-78.
- Tonni, E. P., Cione A. L. and Figini A. J., 1999. Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 147: 257-281. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Tonni, E. y Fidalgo, F., 1978. Consideraciones sobre los cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío-Reciente en la Provincia de Buenos Aires. Aspectos ecológicos y zoogeográficos relacionados. *Ameghiniana* 15 (1-2): 235-253.
- Vandenberghe, R. E., De Grave, E., Landuydt, C. and Bowen, L. H., 1990. Some aspects concerning the characterization of iron oxides and hydroxides in soils and clays. *Hyp. Int.*, 53: 175-196.
- Vásquez, C. A., Walther, A. M., Orgeira, M. J., Di Tommaso, I., Alonso, S., Lippai, H. and Vilas, J.F., 1998. Magnetic properties and environmental conditions: Study of a paleosol of

**Recibido:** 10 de agosto, 2001

**Aceptado:** 10 de diciembre, 2002