

Estratigrafía y magnetismo de rocas en un perfil del arroyo Tapalqué, Cuaternario de la provincia de Buenos Aires: implicancias paleoambientales y paleoclimáticas

María Julia ORGEIRA^{1,2}, Ana M. WALTHER¹, Rita TÓFALO², Carlos A. VÁSQUEZ^{1,3},
Horacio LIPPAI¹ y Rosa COMPAGNUCCI^{1,4}

¹CONICET

²Depto. de Ciencias Geológicas, Fac. Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
Ciudad Universitaria, Pab. II. 1428 Buenos Aires.

³CBC, Universidad de Buenos Aires.

⁴Depto. de Meteorología, Fac. Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires
E-mail: orgeira@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN. Se llevó a cabo un estudio geológico y geofísico en una sección aflorante en la margen derecha del arroyo Tapalqué (Salto de Piedra, Olavarría, Pcia. de Buenos Aires). La sección comprende sedimentos fluviales de la Formación Luján (Miembros inferior y superior) y sedimentos eólicos de la Formación La Postrera. El objetivo del estudio fue determinar los parámetros magnéticos de los sedimentos de ambas formaciones con el objeto de evaluar las condiciones ambientales y paleoclimáticas en el momento de depositación. Fueron reconocidos algunos niveles con altas concentraciones de minerales ferromagnéticos. Ellos fueron relacionados con aumentos en la capacidad de transporte del arroyo, probablemente debidos a períodos con mayores precipitaciones. Por otra parte, 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. Estos resultados son similares a aquéllos obtenidos en paleosuelos de la Formación Buenos Aires, probablemente como resultado de la naturaleza mineralógica del material parental común a ambos. Finalmente, sobre la base de los resultados de las observaciones efectuadas en el campo y de laboratorio, se propone una detallada correlación entre los rasgos de las unidades observadas en esta sección y las fluctuaciones paleoclimáticas identificadas para el Pleistoceno/Holoceno.

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

ABSTRACT. *Stratigraphy and rock magnetism in a profile at arroyo Tapalqué, Quaternary of Buenos Aires province: palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications.* In the right bank of the Arroyo Tapalqué (Salto de Piedra, Olavarría, Buenos Aires province) is a section through fluvial sediments of the Luján Formation (upper and lower members) and aeolian deposits of La Postrera Formation. A geological and geophysical study was carried out to determination the magnetic parameters of the sediments of both formations, in order to evaluate the environmental and climatic conditions at the time of deposition. Levels with high concentrations of ferromagnetic minerals are thought to be related to an increase in capacity of river transport probably due to higher rainfall. By contrast, a particular magnetic behaviour was detected in levels closely associated with pedogenetic processes (Suelo Puesto Callejón Viejo, SPCV, Suelo Puesto Berrondo, SPB and present soils). This behaviour is attributed to the partial dissolution of the ferromagnetic fraction (magnetite/titanomagnetite) and to possible formation of a high coercitivity magnetic fraction (hematite?) as an associated process. These results are similar to those obtained for paleosols from the Buenos Aires Formation, probably because of parental material common to both. On the basis of present field and laboratory observations, together with previously available information, a detailed correlation is proposed between features observed in this section and palaeoclimatic fluctuations identified for Pleistocene/Holocene.

Key words: Environmental magnetism, Palaeoclimates, Rock magnetism, Stratigraphy, Quaternary

Introducción

Se efectuó el estudio en un perfil expuesto en la margen derecha del arroyo Tapalqué, 200 m aguas abajo del Salto de Piedra, aproximadamente 10 km al sur de la ciudad de Olavarría, partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires (Fig. 1).

Los objetivos del trabajo fueron, por una parte, de-

terminar los parámetros magnéticos no direccionales de los sedimentos aflorantes en el perfil, y por la otra, efectuar una evaluación paleoambiental y paleoclimática de la secuencia en estudio.

La estratigrafía de la comarca se caracteriza por un basamento cristalino constituido por rocas graníticas, metamórficas y migmatíticas a los que suprayacen sedimentos cenozoicos.



Figura 1 : Mapa de ubicación.

La cubierta cenozoica de la cuenca del arroyo Tapalqué está compuesta por los sedimentos asignados a la «Serie Pampiana», sobre los que se apoyan en discordancia de erosión sedimentos fluviales, lacustres y fluviolacustres del «Lujanense» y «Platense» y los sedimentos eólicos «Cordobense» o «Platense eólico» (Frenguelli 1950).

Fidalgo *et al.* (1973) denominaron a los sedimentos del «Lujanense» y del «Platense» como Formación Luján y a los sedimentos eólicos «Cordobense» o «Platense eólico» como Formación La Postrera.

En la Formación Luján se reconocen dos miembros: el inferior o Miembro Guerrero y el superior o Miembro Río Salado (Fidalgo *et al.* 1973). En esta formación se han identificado dos unidades edafoestratigráficas; la más antigua se llama «Suelo Puesto Callejón Viejo» (SPCV), y la más joven «Suelo Puesto Berrondo» (SPB), las cuales se desarrollan sobre el Miembro Guerrero y el Miembro Río Salado de la Formación Luján respectivamente (Fidalgo *et al.* 1973).

Asimismo, Fidalgo (1992) propuso a la unidad edafoestratigráfica SPCV como límite material entre el Pleistoceno y el Holoceno; el mismo reflejaría el pasaje de condiciones climáticas áridas y semiáridas de épocas frías a condiciones climáticas húmedas y templadas.

Como marco temporal para la interpretación paleoclimática efectuada en la presente contribución, se han utilizado dataciones ^{14}C obtenidas del material recolectado de la misma localidad por Figini *et al.* (1998).

Estratigrafía

Se levantó un perfil de detalle teniendo en cuenta espesor, geometría y contactos de los bancos, estructuras sedimentarias y edáficas, fósiles y características composicionales y texturales de los sedimentos y/o sedimentitas. Al mismo tiempo se mues-

traron 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 perfil tiene un espesor de 7 m y está integrado por cuatro unidades principales a las que suprayace el suelo actual.

La *unidad inferior (A)*, de 1 m de potencia, tiene la base cubierta por las aguas del arroyo, está moderadamente consolidada y su techo es neto, erosivo y marcado por una paleosuperficie (I) bien definida, que forma una terraza (Fig. 2).

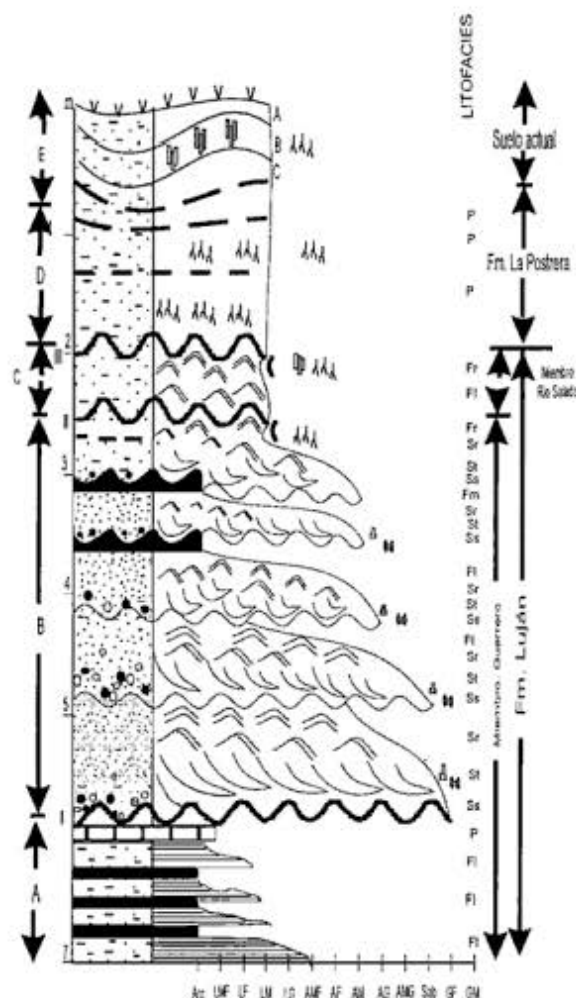
Esta unidad es de color castaño rojizo (10R 4/6), tiene estratificación media e internamente, presenta laminación de arena muy fina, limo y arcilla (litofacies F1) que, en algunos sectores, aparece deformada por carga. Ocasionalmente, en las láminas arenosas y de limo grueso se observan ondulitas. La precipitación de carbonato de calcio en la zona cuspidal de la unidad, determina difusos e irregulares sectores de color blanquecino (litofacies P). Lateralmente, en el tope de la unidad, se desarrolla un nivel calcretizado que alcanza 0,20 m de espesor.

La litofacies F1 se ha generado a partir de corrientes tractivas muy débiles y por decantación y correspondería a depósitos de planicie de inundación. La existencia de pequeñas óndulas representa condiciones de energía algo más altas dentro de la planicie, por lo que ésta podría ser proximal o media. La presencia del nivel calcretizado y de sectores ricos en carbonato de calcio autigénico (litofacies P), está indicando que hacia el final de la depositación de esta sucesión sedimentaria (unidad A), el clima era semiárido y marcadamente estacional.

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

La *unidad B* suprayace a la paleosuperficie I (Fig. 2), tiene un espesor de 3,50 m, es friable y conforma una sucesión estrato y granodecreciente de color naranja grisáceo (10YR 7/4) a gris oliva claro (5Y 6/1). El contacto es neto, erosivo y ondulado y está marcado por otra paleosuperficie (II) con media caña bien definida, por debajo de la cual se han observado aproximadamente 0,20 m de sedimentos con abundantes moldes de raíces revestidos por argilo y ferrocuitanes.

Posee estratificación media a gruesa, los bancos son predominantemente lenticulares e internamente granodecrecientes, presentan base erosiva sobre la que yacen intraclastos y otros materiales residuales como fragmentos de huesos y conchillas, tamaño grava fina o sábulo, en general mal seleccionados (litofacies Ss). Estos depósitos gradan a areniscas gruesas a muy finas con estratificación entrecruzada en artesa (litofacies St), donde se destacan láminas formadas principalmente por minerales pesados. Hacia



REFERENCIAS			
	Conglomerados		Paleosuperficie
	Areniscas		Contacto ondulado
	Pelitas		Contacto plano
	Pelitas arenosas		Contacto transicional
	Arcillitas		Laminación horizontal
	Calcrete		Estratificación entrecruzada en artesas
			Óndulas
			Climbing
			Media caña
			Estructuras edáficas
			Rizolitos
			Fragmentos de huesos y conchillas

Figura 2: Perfil geológico.

el tope pasa a laminación ondultica con *climbing* (litofacies Sr).

Los bancos superiores de esta unidad culminan con material pelítico mantiforme, que puede tener óndulas pequeñas y mal definidas (litofacies F1) o ser masivo (litofacies Fm). El nivel cuspidal tiene geometría tabular y está bioturbado, con moldes de raíces y

cutanes (litofacies Fr).

La litofacies Ss indica rápida deposición de carga de lecho gruesa y mal seleccionada. La litofacies St corresponde a depósitos generados por migración de dunas tridimensionales, que al disminuir la energía de la corriente pasan a litofacies Sr originadas a partir de trenes de pequeñas óndulas. Al disminuir

aún más la energía se formaron los depósitos con laminación *climbing*. La litofacies F1 representan depósitos formados a partir de corrientes tractivas de baja energía o por decantación y la litofacies Fm corresponde a sedimentación a partir de suspensiones.

La asociación de litofacies Ss, St y Sr yace sobre base cóncava y erosiva, posee geometría lenticular y espesor menor a 1 m, lo que permite interpretar que corresponde a relleno de pequeños canales. Las litofacies F1 y Fm, de geometría mantiforme, indican depósitos de llanura de inundación. La presencia de la media caña y los moldes de raíces revestidos por cutanes que se observan en la litofacies Fr, en el tope de la unidad B (Fig. 2), se deben a la acción de fenómenos edáficos en las litofacies más finas, de planicie de inundación, lo que estaría vinculado a la existencia de un clima más benigno que habría permitido el desarrollo de vegetación. La ausencia de nódulos carbonáticos implica que el suelo se desarrolló bajo clima húmedo.

Esta unidad se asimila al Miembro Guerrero superior de la Formación Luján y sus 0,20 m superiores al suelo Puesto Callejón Viejo.

La *unidad C* tiene 0,70 m de potencia, es de color gris muy claro (N8), friable y el contacto con la unidad superior es neto, erosivo, suavemente ondulado y marcado por una paleosuperficie (III) con media caña. Tiene geometría tabular y está constituida por material pelítico con predominio de la clase limo mediano. Internamente se observan algunas ondulitas y laminación *climbing* (litofacies F1), mal preservadas debido a pedoturbación. Este fenómeno se hace más conspicuo hacia la mitad superior de la unidad, donde existen numerosos moldes de raicillas, cutanes y estructuras edáficas prismáticas mal definidas (litofacies Fr).

La litofacies F1 es característica de zonas de *overbanks*, su geometría tabular permite asimilarla a depósitos de llanura de inundación y su pasaje transicional a litofacies Fr, indica la destrucción de las estructuras primarias por bioturbación, al establecerse un suelo en clima húmedo.

Esta unidad se asimila al Miembro Río Salado de la Formación Luján y el paleosuelo desarrollado en la parte superior, al Suelo Puesto Berrondo.

La *unidad D* presenta geometría tabular, estratificación gruesa, forma paredes verticales y tiene 1,25 m de espesor. Es friable a moderadamente consolidada, su techo es irregular y grada al suelo actual. El color es algo variable, siendo el sector inferior naranja muy pálido (10YR 8/2) y el superior gris muy claro (N8). En un sector de la parte media se intercala una lente de 20 m de longitud y un máximo de 0,50 m de potencia, de color gris mediano claro (N6).

No posee estructuras sedimentarias internas y está compuesta por material limo-arcilloso que contiene cantidades variables de arena fina y muy fina, principalmente constituida por vitroclastos sin eviden-

cia de retransporte. Son muy comunes los moldes dejados por finos sistemas radicales, muchos de los cuales se hallan revestidos por cutanes; particularmente son frecuentes los manganocutanes en el depósito lenticular y originan su coloración más oscura. Son también comunes los parches irregulares de calcita pulverulenta (litofacies P).

Cabe destacar que la mitad superior de esta unidad se halla también afectada por bioturbación proveniente de raíces actuales.

La geometría de los depósitos, el tipo de estratificación, la propiedad de mantenerse en paredes verticales, el color claro, el tamaño de grano con modas en las fracciones limo y arcilla, acompañadas por porcentajes variables de arena fina y muy fina, principalmente constituida por vitroclastos, la abundancia de moldes de raíces y la presencia de cemento carbonático, indican que esta unidad corresponde a depósitos loésicos, acumulados por el viento en regiones semiáridas de escasa pendiente.

Las características loésicas y la posición estratigráfica de esta unidad permiten asimilarla a la Formación La Postrera (Fidalgo *et al.* 1986).

Las muestras correspondientes al perfil levantado en el arroyo Tapalqué, correspondientes a la Formación Luján (Miembros Guerrero y Río Salado) y a la Formación La Postrera, muestran que en sentido vertical la mineralogía de los depósitos se mantiene constante, aunque con variaciones cuantitativas de sus componentes, los que por sus características revelan procedencia principal volcánico-piroclástica. Predominan los componentes livianos, especialmente la plagioclasa y el vidrio volcánico, mientras que los pesados son escasos y sus frecuencias tienen una distribución irregular.

Por lo tanto, en términos generales, la mineralogía de estas formaciones postpampeanas es similar a la que muestran las Formaciones Buenos Aires y Ensenada (Tonni *et al.* 1999), aunque en las primeras se observa un notable incremento del vidrio volcánico, hecho que ya fuera observado por Fidalgo *et al.* (1991).

Estudio de magnetismo de rocas

Se muestrearon 70 niveles sucesivos desde el pelo de agua hasta el techo del perfil. Adicionalmente se realizaron 2 perfiles paralelos (distanciados aproximadamente 50 m), uno constituido por 10 niveles y el otro por 15 niveles para corroborar la compatibilidad del dato magnético; los datos que se presentan a continuación son el promedio de las mediciones de todos los especímenes medidos en cada nivel.

La medición de la susceptibilidad magnética se realizó con un susceptímetro Bartington MS2; los ciclos de histéresis y la curva de IRM con un mag-

netómetro 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.

La susceptibilidad magnética inicial (X) se midió en 2 frecuencias (baja 470 Hz y alta 4700Hz) registrándose diferencias inferiores al 4% en los valores de ambas frecuencias; de estos datos no se puede inferir la existencia de una fracción superparamagnética (SP) significativa en la secuencia.

En la figura 3 se han representado las fluctuaciones de la X magnética total (470 Hz) en función de la posición estratigráfica de las muestras estudiadas a lo largo del perfil.

das a lo largo del perfil.

El primer rasgo significativo observado en los valores de la X (Fig. 3) es la presencia, en la parte inferior de la secuencia sedimentaria, de tres picos muy marcados que indican un brusco aumento del parámetro (muestras 15, 23, y 31 Miembro Guerrero superior), que estarían relacionados con un incremento de la fracción ferrimagnética o un cambio en la mineralogía o una variación en el tamaño de grano.

En la figura 3 se ven 3 descensos de la susceptibilidad magnética total, el primero de los cuales corresponde a los niveles 49, 50, 51, y 52, parte superior Miembro Guerrero (SPCV); el segundo al ni-

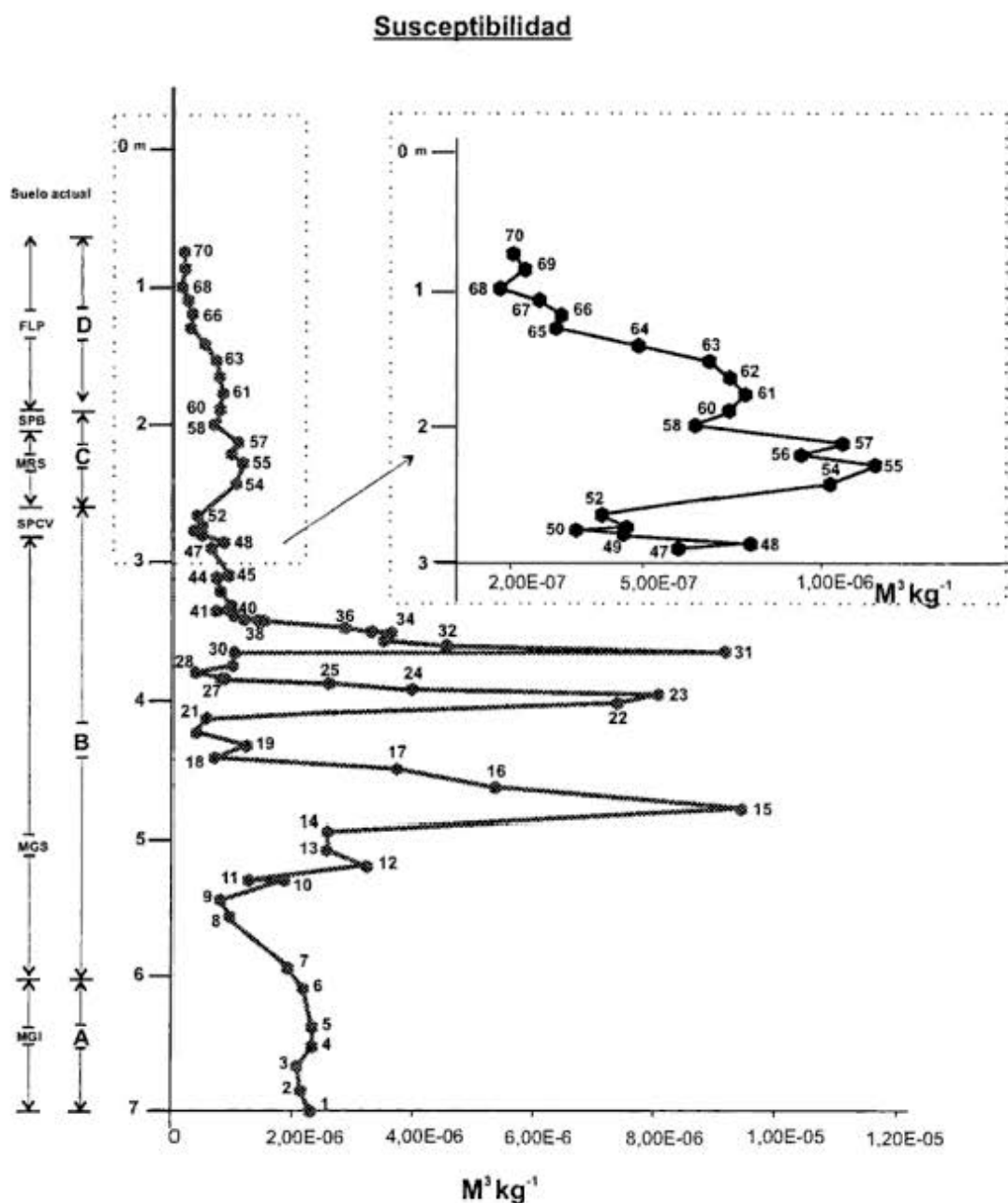


Figura 3: X (susceptibilidad magnética medida a 470 Hz) vs. la posición estratigráfica de los especímenes provenientes de los niveles muestreados. En el cuadro superior se graficó los especímenes correspondientes a los sectores C y D en escala ampliada.

vel 58 parte superior del Miembro Río Salado (SPB) y el tercero a los niveles 65, 66, 67, 68, 69, y 70 Formación La Postrera; dichos descensos estarían relacionados con una disminución de la fracción ferrimagnética.

Nótese que los dos sectores mencionados en primer término tienen una correspondencia, con sectores en el perfil en donde se detectó la presencia de paleosuelos (SPCV en el tope del Miembro Guerrero de la Formación Luján y SPB en el tope del Miembro Río Salado de la Formación Luján). El tercer sector corresponde a la sección superior de la Formación La Postrera, alterada por la acción de los procesos pedogenéticos actuales (ver ítem estratigrafía).

En el Miembro Guerrero superior hay otros descensos de la susceptibilidad total (niveles 9, 21, 28, 41) los cuales están relacionados a los *sets* grano-decrecientes (ver ítem estratigrafía). Por lo tanto di-

chos descensos se corresponden con un menor aporte detrítico de material ferrimagnético, no guardando relación con procesos pedogenéticos.

En la figura 4 se han representado las variaciones en la susceptibilidad paramagnética a lo largo del perfil estudiado. En ella se encuentran tres sectores con una intensificación de la misma, (nivel 20, niveles 49 a 52, nivel 58 y niveles 65 a 70); estos incrementos indican un aumento relativo en la cantidad de minerales paramagnéticos presentes. El aumento así inferido en la cantidad de minerales paramagnéticos es consistente con el crecimiento en el porcentaje de las fracciones granulométricas más finas observadas en el campo (ver ítem estratigrafía).

En la figura 5 se han graficado las variaciones en la magnetización de saturación (M_s) y en la figura 6 la magnetización remanente de saturación (M_{rs}). Nótese que ambos parámetros magnéticos presentan un

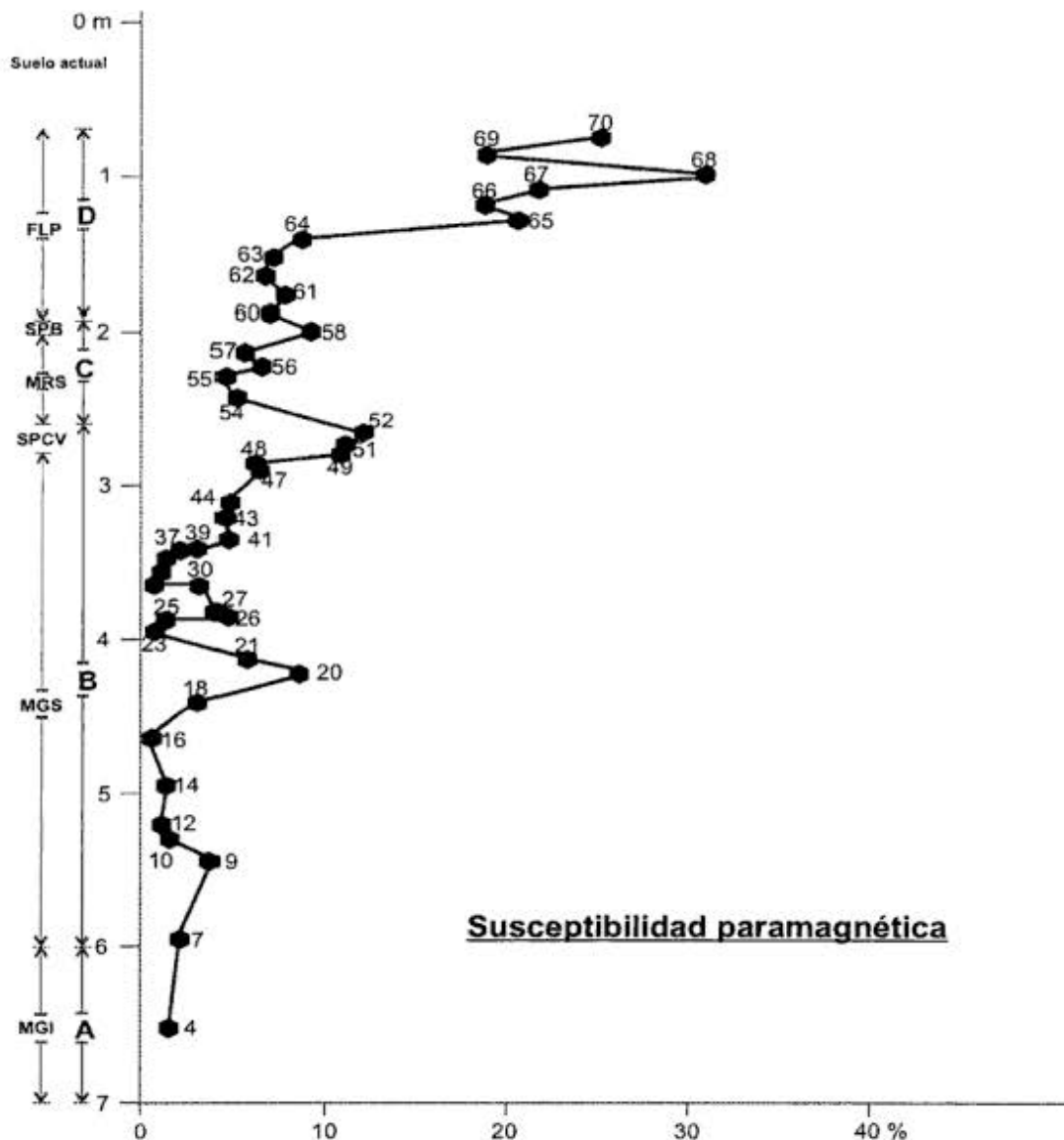


Figura 4: Susceptibilidad paramagnética (%) calculada a partir de mediciones con VSM (*vibrating sample magnetometer*).

comportamiento similar entre sí. Los ascensos detectados en la sección inferior del perfil de la X magnética total (Fig. 3) tienen un correlato con ascensos en el Ms y el Mrs (Figs. 5 y 6) respectivamente.

Asimismo, los descensos de la X magnética total detectados en la sección superior del perfil también son observados en el Ms y Mrs (Figs. 5 y 6) respectivamente.

Luego, el aumento del Ms y del Mrs asociado a un aumento de la susceptibilidad magnética (niveles 15, 23 y 31) puede atribuirse a un incremento en la cantidad y/o en el tamaño de grano del material ferromagnético presente. La relación X/Mrs se mantiene notablemente constante a lo largo de toda la secuencia; consecuentemente, se sugiere que las variaciones asociadas se relacionan a fluctuaciones en la cantidad de minerales ferromagnéticos que estaría

vinculado a mayor capacidad de transporte del medio áqueo.

Los tres picos señalados son coincidentes con inicios de secuencias granodecrecientes (ver ítem estratigráfica).

Nótese que no todos los sets de secuencia granodecrecientes se inician con una mayor concentración de minerales ferromagnéticos; ello podría sugerir aportes episódicos de material proveniente del basamento cristalino aflorante en el área.

Asimismo, la asociación de los 3 parámetros: X, Ms, Mrs, (Figs. 3, 5 y 6) en los niveles 49-52, 58 y 65-70 (SPCV, SPB, y Formación La Postrera/suelo actual) sugieren una disminución en la cantidad del mineral ferromagnético presente, que puede atribuirse a una disolución parcial de la fracción ferromagnética por la acción de procesos pedogenéticos.

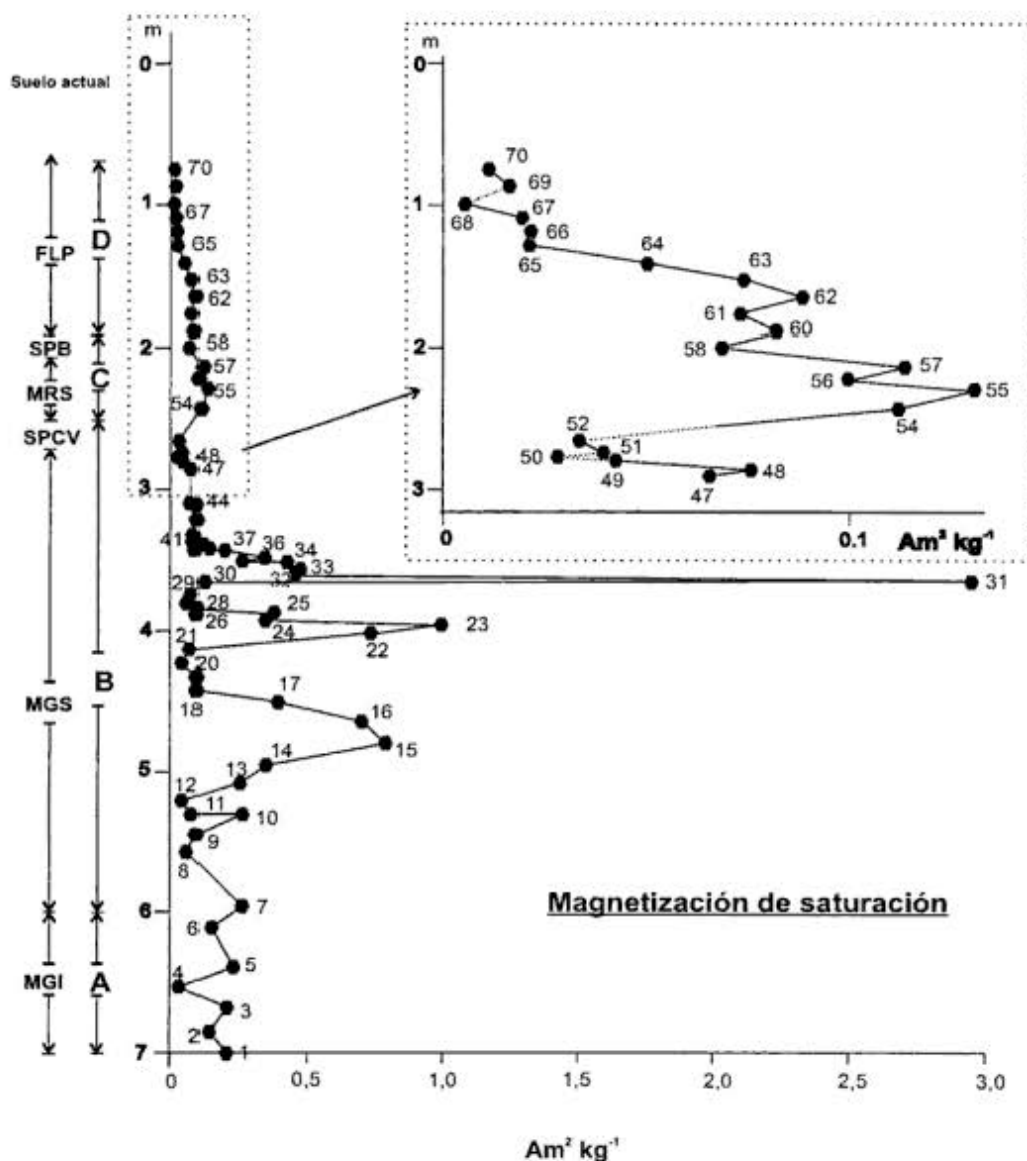


Figura 5: Magnetización de saturación (Ms) vs. posición estratigráfica de la muestra. En el cuadro superior se graficó los especímenes correspondientes a los sectores C y D en escala ampliada.

En la figura 7, se han representado las variaciones de los parámetros de coercitividad (H_c) y coercitividad de la remanencia (H_{cr}). El rango en el que fluctúan las coercitvidades del material estudiado es compatible con el esperado para magnetitas y/o titanomagnetitas (Dankers 1978; Dekkers 1988; Roberts *et al.* 1995). En la citada figura puede observarse un incremento relativo de estos valores de coercitividad en donde se determinaron descensos de X, Ms y Mrs.

Asimismo, en los niveles 49-52 y 65-70, el H_{cr} es ligeramente superior al esperado para una fracción ferromagnética integrada exclusivamente por minerales de baja coercitividad (ej. magnetita, titanomagnetitas). Dada la relación constante de X/Mrs, estas variaciones sugieren la presencia muy subordi-

nada en estos niveles de una especie mineralógica de mayor coercitividad magnética (hematita?).

Luego, el comportamiento magnético característico en los sectores de la secuencia edafizados (SPCV, SPB?, Formación La Postrera/suelo actual) estaría reflejando una disolución de parte de la fracción ferromagnética (magnetita y/o titanomagnetitas) y estaría sugiriendo, como fenómeno de segundo orden y subordinado, la neoformación de mineralogía de alta coercitividad.

Estos resultados son consecuentes con los obtenidos en paleosuelos de la Formación Buenos Aires (Orgeira *et al.* 1998; Vásquez *et al.* 1998). Este comportamiento magnético análogo podría ser consecuencia de la similitud mineralógica en los materiales pa-

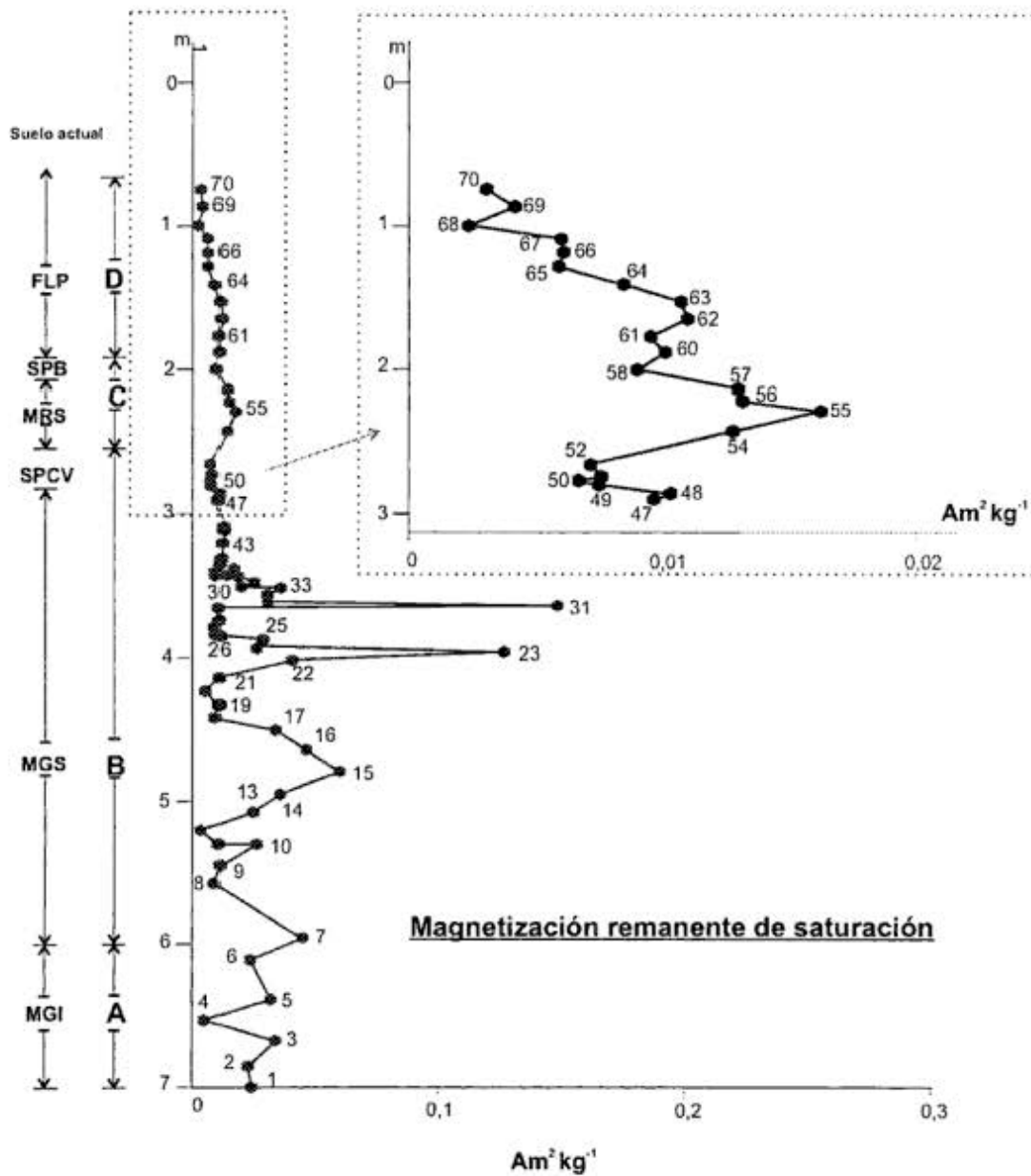


Figura 6: Magnetización remanente de saturación (Mrs) vs. posición estratigráfica de la muestra. En el cuadro superior se graficaron los especímenes correspondientes a los sectores C y D en escala ampliada.

rentales («Sedimentos Pampeanos», «Sedimentos Post Pampeanos») señalados precedentemente (ver ítem estratigrafía).

En la figura 8 se han representado las relaciones Mrs/Ms vs. Hcr/Hc . En ella puede observarse que las relaciones para las muestras estudiadas se encuentran fuera de los campos esperados para un agregado unimodal de magnetita (Day *et al.* 1977).

Los valores obtenidos pueden interpretarse como producto de una distribución bimodal de coercitvidades, en donde la fracción de alta coercitvidad es muy subordinada volumétricamente a la de baja coercitvidad (Jackson 1990; Parry 1982). Consecuentemente, los valores de Hcr/Hc resultan ser anómalamente altos, como ocurre en los resultados presen-

tados en esta contribución.

Asimismo, algunos de los ciclos de histéresis obtenidos se caracterizan por una forma conspicua de cinturón de avispa (*wasp waisted shape*) que confirma la distribución bimodal de coercitvidades propuesta (Fig. 9).

En términos generales, y como primera aproximación con los datos presentados en esta contribución, se sugiere que la bimodalidad de coercitvidades podría ser producto de una misma especie mineralógica (magnetitas y/o titanomagnetitas) presente en dos tamaños de partícula diferentes (DSS y DS subordinadas). Es de destacar que la citada bimodalidad es esperable en estudios de magnetismo de rocas en secuencias sedimentarias de origen fluvial.

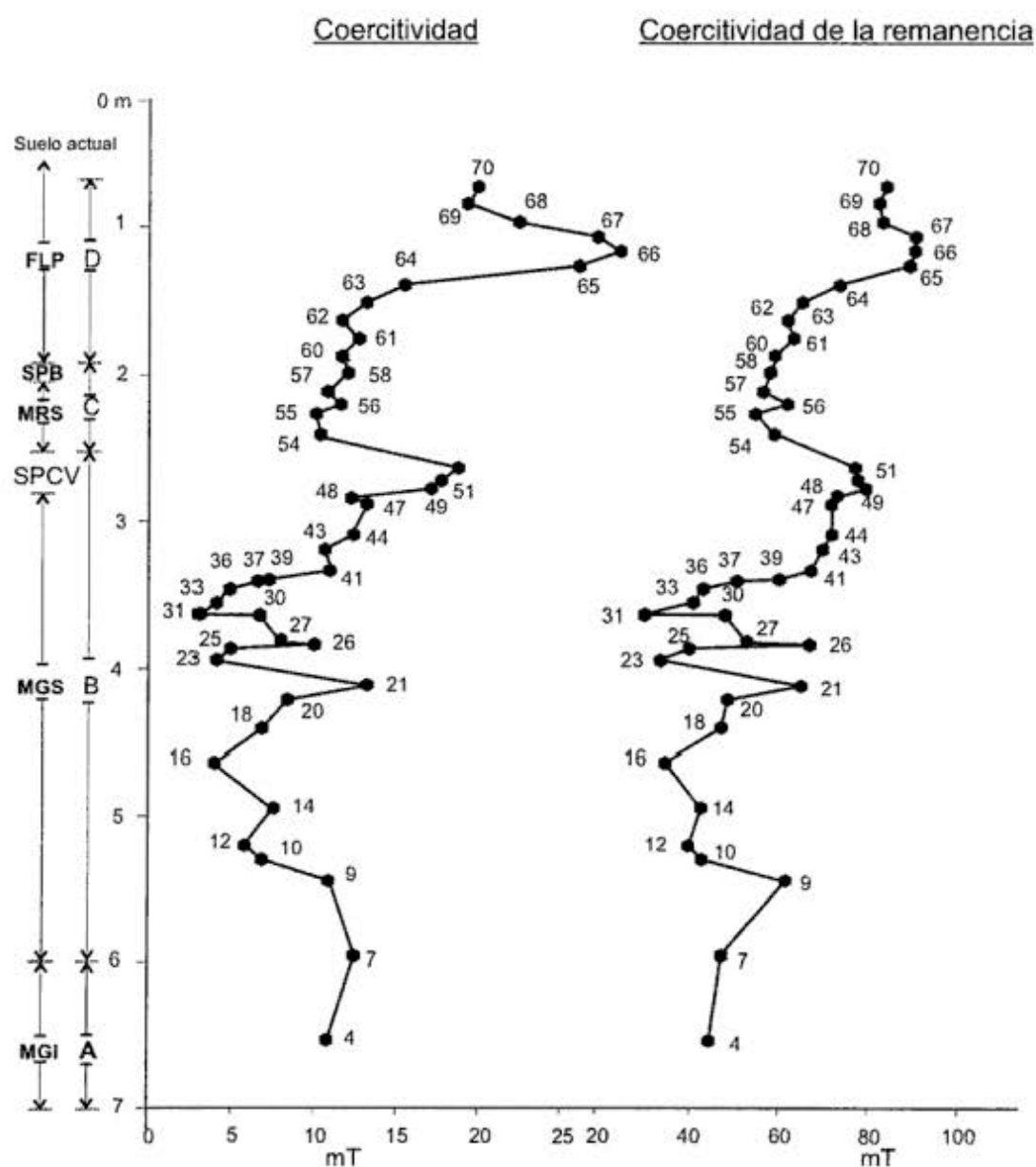


Figura 7: Coercitividad (Hc) y coercitividad de la remanencia (Hcr) vs. posición estratigráfica de los especímenes provenientes de todos los niveles muestreados.

Aportes a la interpretación paleoclimática de los análisis de las formaciones estudiadas

Como referencia para abordar este ítem es útil la descripción climática actual del área de la llanura Chacopampeana. La misma, en rasgos generales, puede definirse como con clima templado, subhúmedo a húmedo. La circulación atmosférica característica sobre esta zona es la influencia del Anticiclón semipermanente del Atlántico Sur que advecta masas de aire cálido y húmedo del NE. La influencia del flujo zonal de los Oestes más al sur, normalmente afectan altas latitudes llegando el borde superior hasta aproximadamente 42° a 38° S. Los frentes fríos que atraviesan frecuentemente el área pampeana, provocan con su presencia precipitaciones y traen posteriormente masas de aire frío y seco proveniente de latitudes mayores (Schwerdtjeger 1976).

En sentido amplio los suelos de estas regiones pueden caracterizarse como argiúoles típicos, lo que condice con el clima actual y las condiciones atmosféricas descritas en el párrafo anterior. Numerosos autores han realizado interpretaciones paleoclimáticas sobre la base de sus observaciones en los sedimentos Postpampeanos.

La ausencia de datos suficientes ha hecho que estas consideraciones sean en muchos casos muy locales, restringidas temporalmente y en ocasiones contradictorias.

Para el hemisferio norte se ha establecido, con un consenso bastante generalizado, la cronología de las variaciones de temperatura y humedad durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno (entre otros, la recopilación realizada por Zubakov y Borzenkova 1990).

Con la información disponible al presente (Lorius *et al.* 1979; Waelbroeck *et al.* 1995; Jouzel *et al.* 1995) es posible sugerir, en sentido amplio, que estas variaciones climáticas están representadas en ambos hemisferios en forma relativamente sincrónica. Los datos ^{18}O de los testigos de Vostok muestran tres estadios (*Stages*) principales (1, 2, 3), el comienzo del Anatermal (salida del último máximo glaciar) y un período Megatermal, entre otros rasgos, también registrados en el hemisferio norte.

A pesar de lo interesante del sincronismo antes citado, que será abordado en futuras contribuciones, la comparación de los datos paleoclimáticos mundiales no es el objetivo de esta contribución. Aquí se intenta reevaluar las consideraciones paleoclimáticas efectuadas y presentar una posible hipótesis de correlación más fina de las distintas unidades del postpampeano con el patrón paleoclimático del hemisferio norte.

Fidalgo *et al.* (1991) sobre la base de un pormenorizado análisis geológico y geomórfico establecen criterios de reconocimiento de las entidades estratigráficas asignables a las Formaciones Luján y La Postrera. Asimismo, exponen una serie de consideraciones genéricas respecto a las condiciones climáticas contemporáneas al momento de la génesis de estos depósitos.

Prieto (1996), a través de estudios del polen recolectado en cuatro secuencias aflorantes en el centro-sur de la provincia de Buenos Aires de edad pleistocena tardía-holocena, establece entre otras consideraciones, lo siguiente:

1. Con anterioridad a los 10.500 años los rasgos de paleovegetación indicarían un clima subhúmedo

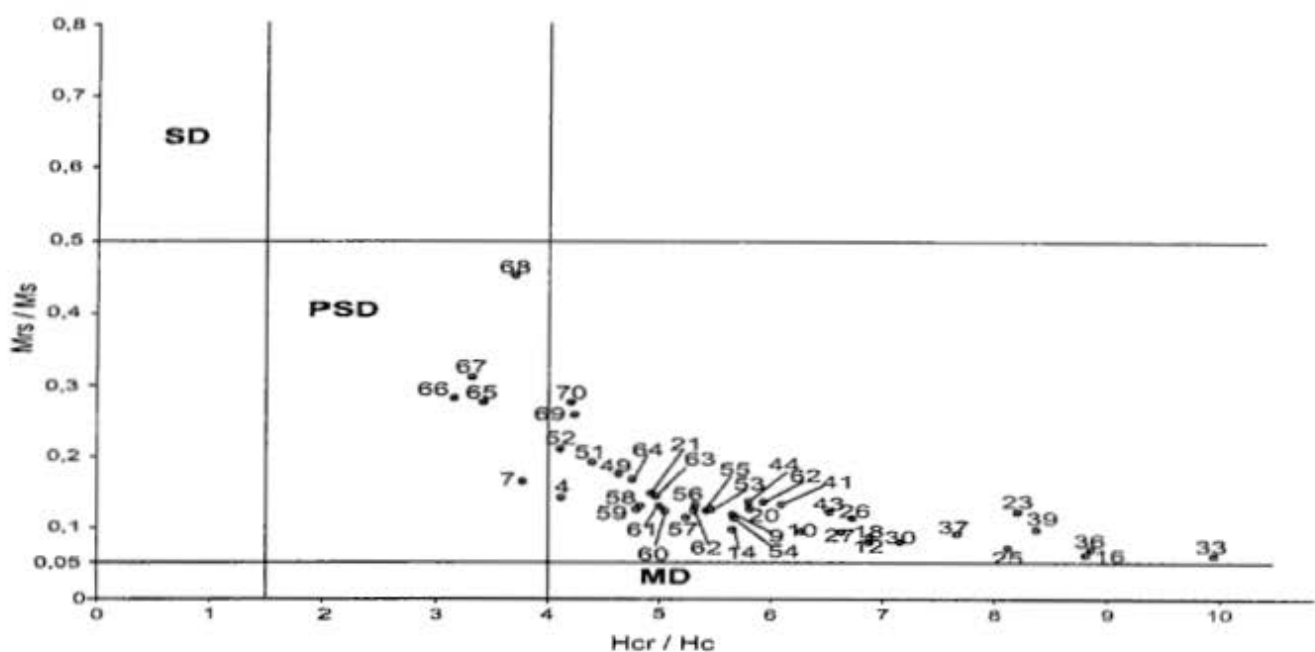


Figura 8: Diagrama de Day *et al.* (1977).

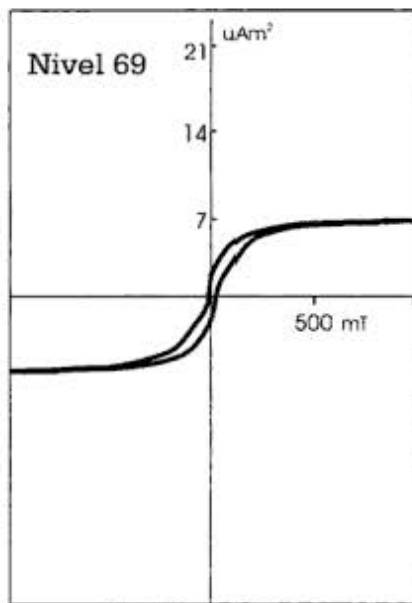


Figura 9: Ciclo de histéresis correspondiente al nivel 69 en el que se observa la forma (*wasp waisted shape*).

a seco para la parte superior de la *green unit* del Miembro Guerrero de la Formación Luján (EQ4).

2. La asociación EQ3 establecida para el intervalo 10.000-8.000 años AP sugiere un clima subhúmedo a húmedo.

3. La asociación EQ2 entre aproximadamente 8.000 y 7.000 años AP está caracterizada por el dominio de las gramíneas. Esta zona constituye la culminación de un ciclo iniciado en las biozonas anteriores (EQ4-EQ3).

4. La asociación EQ1 (los últimos 3.000 años aproximadamente) está relacionada con condiciones geomórficas modernas de climas áridos a semiáridos. Consecuentemente, la evidencia palinológica sugiere un retardo en la respuesta de la vegetación al establecimiento de las presentes condiciones ambientales.

Por su parte Bonadonna *et al.* (1995) y Zanchetta *et al.* (1995), sobre la base de estudios de isótopos estables y dataciones radimétricas (comunicadas personalmente por Figini) en diferentes localidades donde afloran sedimentos postpampeanos, señalan la siguiente alternancia climática para estas unidades:

Miembro Guerrero inferior, seco y cálido?; Miembro Guerrero superior, frío y seco; Suelo Puesto Callejón Viejo, templado y húmedo; Miembro Río Salado, seco y templado, y húmedo hacia el techo; Suelo Puesto Berrondo, húmedo; y Formación La Postrera, seco.

Figini *et al.* (1998), sobre la base de fechados radiocarbónicos, sitúan al Miembro Guerrero verde (superior) y probablemente al pardo (inferior) en el *Stage 2*; mientras al Miembro Río Salado lo asignan al *Stage 1*. Asimismo, señalan que sobre la base de la evidencia faunística (Prado *et al.* 1987; Tonni y Fidalgo 1978) entre el Miembro inferior y el superior se puede sugerir un proceso de deterioro ambiental;

consecuentemente, el Miembro Guerrero inferior se ubicaría en el *Stage 3* (interstadial).

Como se desprende de los párrafos anteriores parte de las sugerencias de los autores citados es consistente entre sí, en tanto que algunas generalizaciones parecerían no apropiadas.

De acuerdo a la propuesta de Bonadonna *et al.* (1995) y Zanchetta *et al.* (1995) el *Stage 2* estaría representado por sedimentos fluviales en el área de estudio. Considerando la bibliografía internacional (Crowley y North 1991; Waelbroeck *et al.* 1995; Jouzel *et al.* 1995; entre otros) el *Stage 2* es más frío que el *Stage 4*. Por otra parte, nótese que los depósitos sedimentarios asignables a la Formación Buenos Aires («sedimentos Pampeanos») aflorantes en la llanura Chacopampeana, de edad equiparable al *Stage 4* (o a *Stages* fríos más antiguos) (Orgeira *et al.* 1998) son de tipo loésico (eólico). Luego, se plantean dos hipótesis posibles: los dos estadios fríos (2 y 4) podrían tener distintas características de humedad, o el Miembro Guerrero superior no se depositó en un período totalmente frío.

Luego dado que el *Stage 2* no es homogéneo, la adjudicación de la Formación Luján (Miembro Guerrero superior) a este *stage*, en sentido amplio, si bien no es errónea, es incompleta y puede inducir a confusiones.

Es evidente que la tarea de correlacionar las distintas unidades del postpampeano con el marco general de cambios climáticos globales es una tarea compleja y multidisciplinaria. Por ello, datos geológicos tradicionales claros y detallados como los aportados por Fidalgo *et al.* (1991) son reevaluados como *proxi data* (registro relativamente continuo de datos con valor paleoclimático) conjuntamente con datos radimétricos adecuados en el marco del establecimiento de modelos.

Sobre la base de las observaciones geológicas efectuadas durante los trabajos de campo y laboratorio para la presente contribución, las completas y muy valiosas descripciones presentadas por Fidalgo *et al.* (1991), las dataciones radimétricas provistas por Figini *et al.* (1998) y el marco de variaciones climáticas propuesto por Zubakov y Borzenkova (1990) se sugiere una nueva correlación que se esquematiza en la figura 10. Es de destacar que para la misma, se ha utilizado como hipótesis teórica de referencia la asimilación de los depósitos loésicos a climas fríos y secos, en tanto que la relativa abundancia regional de depósitos fluviales se han referido a condiciones climáticas relativamente más benignas.

Durante el *Stage 3*, bajo condiciones climáticas más cálidas correspondientes a este interstadial, se depositó el Miembro Guerrero inferior de la Formación Luján de origen fluvial.

Hasta aquí la hipótesis es consistente con diversos autores (entre otros Tonni y Cione 1994 y Figini *et al.* 1998).

Luego, iniciado el período frío y seco correspondiente al inicio y parte media del *Stage 2*, se genera en la localidad estudiada un nivel calcetizado que se asocia a un período de erosión y/o interrupción de la depositación, lo que estaría indicando el desmejoramiento climático. En otros sectores de la región pampeana en un período temporalmente equivalente al representado aquí por el calcrete y la paleosuperficie, se habrían depositado sedimentos eólicos correspondientes a la Formación La Postrera I, (*sensu* Fidalgo *et al.* 1991) típico depósito de clima frío y seco. Estos sedimentos son portadores de fauna de mamíferos extinguidos.

Posteriormente hacia el último período del *Stage 2* (desde aprox. 15.000 a 10.000 años), período Anatermal, las condiciones climáticas mejoran progresivamente, produciéndose alternancias de períodos más benignos, con otros de desmejoramiento. Es entonces cuando comienzan los depósitos del Miembro Guerrero superior.

El Miembro Guerrero presenta en su tope al paleosuelo SPCV. Éste pudo haberse formado en el final del Anatermal durante el subperíodo preboreal; esto implicaría el lapso comprendido entre los 10.000 y los 9.000 años AP (Zubakov y Borzenkova 1990).

La discordancia que separa el Miembro Guerrero superior y el Miembro Río Salado, que decapita el paleosuelo SPCV podría corresponder al fin del Preboreal (PB4) que está indicado como un breve desmejoramiento climático (Zubakov y Borzenkova 1990).

El Miembro Río Salado se habría depositado bajo las condiciones climáticas claramente más benignas del inicio del Holoceno durante el período Megatermal, particularmente en el subperíodo Atlántico. En este contexto el paleosuelo SPB sería equivalente temporalmente al pico de aumento de temperatura denominado AT5 (6.200 a 5.300 años AP; Zubakov y Borzenkova 1990).

En el entorno de los 5.000 años comienza el período Katatermal que se extiende hasta el presente. El primer subperíodo del mismo es conocido como Neoglacial, el que de acuerdo con los registros del hemisferio norte implica condiciones notoriamente más frías que el megatermal. Durante el Katatermal se habrían depositado los sedimentos eólicos asignados a la Formación La Postrera II (*sensu* Fidalgo *et al.* 1991). Los sedimentos asignados a la Formación La Postrera en el área de trabajo muestran evidencias de alternancias climáticas más frías y secas con otras relativamente más cálidas y húmedas (ver ítem *estratigrafía*). Estas alternancias son precisamente descritas a partir de los estudios realizados en el hemisferio norte particularmente en el área alpina europea (Zubakov y Borzenkova 1990). Restaría en futuras contribuciones estudiar el sincronismo hemisferio norte-hemisferio sur dentro de esta escala más fina de variabilidad.

Retomando las hipótesis formuladas precedentemente, a partir de este esquema general de correlación propuesto entre depósitos sedimentarios y variabilidad climática, es posible considerar con mayores probabilidades a una de ellas. Los estadios fríos no tendrían distintas características de humedad. Más bien parecería ocurrir que el Miembro Guerrero superior sólo corresponde al período Anatermal del *Stage 2* con condiciones que no son tan frías, y por lo tanto relativamente más húmedas, que aquéllas en las que se depositó el «loess pampeano» de la Formación Buenos Aires.

Finalmente, con una mayor cantidad de información obtenida de *proxi data* será posible en el futuro establecer un modelo de variabilidad paleoclimática y de las consecuentes características de la circulación atmosférica asociada para cada período.

Conclusiones

- Se detectaron tres picos crecientes pronunciados de la susceptibilidad magnética, los cuales son coincidentes con otros parámetros magnéticos medidos. Dicha asociación se interpreta como producto de un mayor aporte de material ferromagnético, el que estaría vinculado a una mayor capacidad del medio de transporte.

- El comportamiento magnético detectado en los paleosuelos (SPCV, SPB) y en el suelo actual es conspicuo. Se interpreta como generado por una depleción parcial de minerales ferrimagnéticos de origen detrítico. Asimismo, como señal de segundo orden, se determina la presencia de una fracción subordinada de minerales de mayor coercitividad; ella puede atribuirse a neoformación mineralógica durante el proceso pedogenético.

- Se presenta una correlación de las variaciones climáticas acaecidas durante la depositación de los depósitos «postpampeanos» con las variaciones climáticas registradas en el Hemisferio Norte para el Pleistoceno tardío/Holoceno resumida en la figura 10.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a R. Siquiera del Instituto de Geofísica de la Universidad de San Pablo por su invaluable colaboración, al Instituto de Geofísica de la Universidad de San Pablo, al Instituto de Geofísica de la Universidad Autónoma de México, los cuales permitieron la utilización del instrumental necesario, y las valiosas sugerencias de los evaluadores del manuscrito.

Este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Departamento de Ciencias Geo-

Edad en miles de años	Donadona et al. 1995		Figini et al. 1998	Esta Propuesta			
					Salto de Piedra	Otras Áreas	
1	Miembro Río Salado	Templado	Miembro Río Salado	Stage 1	Katatermal		
2		Seco					Megatermal
3							
4					SPB		
5					Miembro Río Salado		
6		Templado					
7		Húmedo					
8							
9							
10	SPCV				SPCV		
11	Miembro Guerrero superior	Frio y seco	Miembro Guerrero	Stage 2	Anatermal	Miembro Guerrero superior	
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29	Miembro Guerrero inferior	Cálido y seco	Miembro La Chumbiamba	Stage 3		Formación Luján Miembro Guerrero inferior	
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							

Figura 10: Esquema de correlación paleoclimática entre esta propuesta y las anteriores.

lógicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Los fondos usados provienen de los subsidios PIP-CONICET 636/98 y UBACyT 01X002.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bonadonna, F.P., 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. (Eds.): 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.
- Crowley, T. J. and North, G. R., 1991. Paleoclimatology. Oxford University Press, 322p., New York.
- Dankers, P. H. M., 1978. Magnetic properties of dispersed natural iron-oxides of known grain-size. Tesis Doctoral Rijksuniversiteit te Utrecht, 143 p. (Inédito). Netherlands.
- Day, R., Fuller, M. and Schmidt, V. A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13: 260-267.
- Dekkers, M. J., 1988. Some rock magnetic parameters for natural goethite, pyrrhotite and fine grained hematite. *Geologica Ultraiectina*, N 51 Ph. D. Thesis, University of Utrecht, 231 p., Utrecht.
- Fidalgo, F., 1992. Provincia de Buenos Aires. Continental. En: Iriondo, M. (Ed.): El Holoceno en la Argentina. Comité Argentino de Investigación del Cuaternario, 1: 23-38.
- Fidalgo F., De Francesco, F. O. y Colado, U. R., 1973. Geología superficial en las hojas Castelli, J. M. Cobos y Monasterio (Pcia. de Buenos Aires). *Actas 5º Congreso Geológico Argentino*, 4: 27-39.
- 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 (CIC) Inf. 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. y Tonni, E. P., 1998. Edades C-14 en un perfil del arroyo Tapalqué, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Contribución a la cronología de acontecimientos faunísticos ambientales. *Actas 10º Congreso Latinoamericano de Geología y 6º Congreso Nacional de Geología Económica*, 1: 27-31.
- 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 Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, Serie 2, 33: 1-72 La Plata.
- Jackson, M., 1990. Diagenetic source of stable Remanence in remagnetized Paleozoic Cratonic carbonates: a Rock magnetic study. *Journal of Geophysical Research*, 95(B3): 2753-2761.
- Jouzel, J., Vaikmae, R., Petit, J. R., Martin, M., Duclos, Y., Stievenard, M., Lorius, C., Toots, M., Mélières, M. A., Burckle, L. H., Barkov, N. I. and Kotlyakov, V. M., 1995. The two-step shape and timing of the last deglaciation in Antarctica. *Climate Dynamics*, 11: 151-161.
- Lorius, C., Merlivat, L., Jouzel, J. and Pourchet, M., 1979. A 30.000 yr isotope climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 280: 644-648.
- Miall, A. D., 1996. *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer. 582 p., Canada.
- Orgeira, M. J., Walther, A. M., Vásquez, C. A., Di Tommaso, I. M., Alonso, S., Sherwood, G., Yuang Hu y Vilas, J. F. A., 1998. Magnetismo ambiental: loess y paleosuelos de la Formación Buenos Aires (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53 (1): 91-100. Buenos Aires.
- Parry, L. G., 1982. Magnetization of immobilized particle dispersions with two distinct particle sizes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 28: 230-241.
- Prado, J. L., Menegaz, A. N., Tonni E. P. y Salemme A., 1987. Los mamíferos de la fauna local Paso Otero (Pleistoceno tardío), provincia de Buenos Aires. Aspectos paleoambientales y bioestratigráficos. *Ameghiniana*, 24 (3-4): 217-223. Buenos Aires.
- Prieto, A. R., 1996. Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa Grassland of Argentina. *Quaternary Research*, 45: 73-88.
- Roberts, A. P., Yulong Cui Y. y Verosub, K.L., 1995. Wasp-waisted hysteresis loops: Mineral magnetic characteristics and discrimination of components in mixed magnetic systems. *Journal of Geophysical Research*, 1000 (B9): 17909-17924.
- Schwerdtfeger, W., 1976. In: Schwerdtfeger, W. (Ed.): *Climates of Central and South America*. World Survey of Climatology, 12: 529 p. Elsevier.
- Tonni, E. P. y Cione, A. L., 1994. Los mamíferos y el clima en el Pleistoceno y Holoceno de la Provincia de Buenos Aires. *Actas Jornadas de Arqueología e Interdisciplinas*: 127-142. Buenos Aires.
- Tonni, E. P. y Fidalgo, F., 1978. Consideraciones sobre los cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío-Reciente en el provincia de Buenos Aires. Aspectos ecológicos y zoogeográficos relacionados. *Ameghiniana*, 15 (1-2): 235-259. Buenos Aires.
- Tonni, E. P., Nabel, P., Cione, A. L., Etchichury, M., Tófolo, R., Scillato Yane, G., San Cristóbal, J., Carlini, A. and Vargas, D., 1999. The Ensenada and Buenos Aires formations (Pleistocene) in a quarry near La Plata, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 12: 273-291.
- Vásquez, C. A., Walther, A. M., Orgeira, M. J., Di Tommaso, I. M., Lippai, H. F., Alonso, S. y Vilas, J. F. A., 1998. Magnetismo de rocas y su aplicación a paleosuelos: estudio piloto en una secuencia loess-paleosuelo de la región chacopampeana. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53 (1): 83-90. Buenos Aires.
- Waelbroeck, C., Jouzel, J., Labeyrie, L., Lorius, C., Labracherie, M., Stievenard, M. and Barkov, N. I., 1995. A comparison of the Vostok ice deuterium record and series from Southern Ocean core MD 88-770 over the last two glacial-interglacial cycles. *Climate Dynamics*, 12: 113-123.
- Zanchetta, G., Alberdi, M.T., Bonadonna, F.P. y Leone, G., 1995. Escenario de la evolución climática entre la región Pampeana y el área del Mediterráneo occidental durante el Cuaternario. En: Alberdi, M.T., Leone, G. y Tonni, E. P. (Eds.): Evolución biológica y climática de la región pampeana durante los últimos cinco millones de años. Un ensayo de correlación con el mediterráneo occidental. p. 407-423. Madrid.
- Zubakov, V. A. y Borzenkova, I. L., 1990. *Global Palaeoclimate of the Late Cenozoic*. Palaeontology and Stratigraphy 12. Ed. Elsevier Science Publishers B.V.

Recibido: 3 de mayo, 2000

Aceptado: 23 de mayo, 2001