

2do yempler

55 [82]

DONACION
Dr. Kelleri

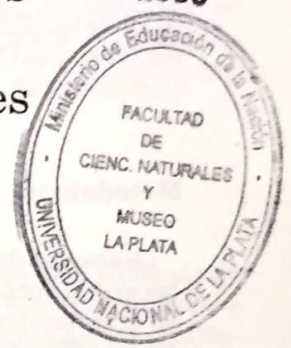
28 NOV. 2008

Magneto y litoestratigrafía de los sedimentos pampeanos en los alrededores de la ciudad de Baradero, Provincia de Buenos Aires

Paulina E. NABEL¹; María C. CAMILION²; Gustavo A. MACHADO¹; Alicia T. SPIEGELMAN¹ y Liliana MORMENEO²

¹Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Av. Angel Gallardo 470, 1405 Buenos Aires, Argentina

²Instituto de Geomorfología y Suelos, Calle 3 N° 584, 1900 La Plata, Argentina



BIBLIOTECA
Antonio Ameghino

ABSTRACT. *Magneto and lithostratigraphy of pampean sediments around Baradero, Buenos Aires Province.* Magneto and lithostratigraphical studies of the Middle and Upper Pleistocene Buenos Aires and Ensenada formations were made in natural exposures in the banks of the Paraná river near the city of Baradero (59°30' W, 33°49' S). The geosol which separates them has been named the "Tala Geosol". The Brunhes-Matuyama boundary (0.73 Ma) occurs within the Ensenada Formation in the basal sections of the river banks and is associated with a vitroclastic layer. This boundary lies above the "Hisisa Geosol" observed in the area. The onset of the Brunhes was marked by dry and cold climatic conditions.

Introducción

El tipo de dificultades que presentan los informalmente denominados "Sedimentos Pampeanos" en su reconocimiento y correlación, se deben a su característica monotonía litológica, a la escasez de afloramientos naturales y a lo complicado que resulta la identificación de niveles estratigráficos de validez regional. Esto nos motivó en la búsqueda de una propuesta metodológica que permitiera mejorar la información obtenida con los métodos geológicos tradicionales.

Con ese fin se ha encarado el estudio magneto y litoestratigráfico conjunto, a igual escala, entendiendo que la combinación de estas técnicas permitiría establecer niveles cronoestratigráficos de validez regional. Estos niveles son necesarios en la configuración de un esquema estratigráfico del Cenozoico.

La utilización de técnicas paleomagnéticas en el estudio de los "Sedimentos Pampeanos", iniciados con Nabel y Valencio (1981), han evidenciado la existencia de distintas Zonas de Polaridad Magnética en estas secuencias. Debido a que las reversiones de polaridad que han ocurrido en el pasado geológico han sido registradas en los sedimentos independientemente de su localización, litologías y regímenes de sedimentación, las Zonas de Polaridad identificadas posibilitan correlacionar secciones ampliamente separadas entre sí.

Sin embargo, para que la interpretación de los resultados obtenidos tenga significado geológico, esta metodología, de amplia difusión en el estudio del

Cuaternario (Heller y Liu 1982; Liu *et al.* 1985; entre otros) debe utilizarse cumplimentando estrictamente los principios estratigráficos básicos (Kukla y Nakagawa 1977). Es por ello que el reconocimiento de las unidades en el campo y el estudio litoestratigráfico de detalle, son aspectos imprescindibles en su aplicación.

Con ese fin, a partir de enero de 1987 y a lo largo de algo más de dos años, se llevó a cabo el estudio magneto y litoestratigráfico conjunto de las barrancas del río Paraná en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, iniciándose este trabajo en las cercanías de la ciudad de Baradero con un subsidio otorgado por la Comunidad Económica Europea, a través del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Antecedentes

Las primeras menciones sobre la geología del área de Baradero se remontan a fines del siglo pasado (Roth 1898), asociadas al hallazgo de restos humanos fósiles. Una síntesis de los conocimientos de la época, respecto a la formación pampeana y el hombre fósil de la región, puede hallarse en Burckhardt (1907).

Después de ese primer período se registran saltuarios trabajos: algunos con enfoque regional (Roth 1920; Frenguelli 1946), otros con enfoque paleontológico (Vignati 1957) y mineralógicos de detalle (Teruggi 1954; González Bonorino 1965). Más

recientemente se menciona la región en un trabajo sobre la Formación Puelches (Santa Cruz 1972) y existen estudios sobre los depósitos superficiales del área (Dillon 1985; Gardenal 1985). Resultados parciales de nuestro trabajo se han presentado en diversas reuniones (Nabel *et al.* 1990a; 1990b; Nabel 1991; Camilión *et al.* 1990).

Metodología

La elección de la zona de trabajo se realizó buscando las exposiciones más completas de la región y recayó en el tramo donde las barrancas presentan mayores alturas (Fig. 1).

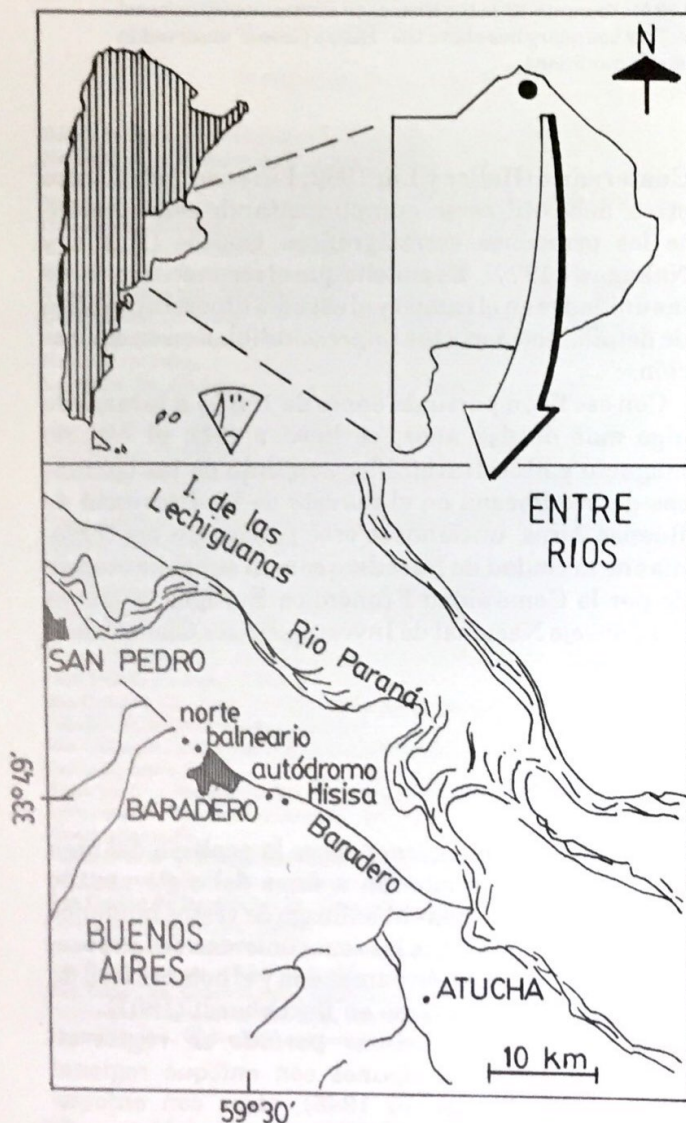


Figura 1: Mapa de ubicación.

Con el fin de obtener información de detalle, se encararon estudios estratigráficos en el campo, sedimentológicos y magnetoestratigráficos en gabinete, siguiendo las técnicas de rutina.

Las tareas de campo previas y permanentes consistieron en el reconocimiento y la descripción de los afloramientos. Sobre la base de las características estratigráficas observadas, las secuencias fueron subdivididas en unidades numeradas con números romanos. Esta nomenclatura informal resultó de utilidad para la identificación y seguimiento de las mismas.

El análisis granulométrico de las diferentes unidades se llevó a cabo en los laboratorios del Instituto de Geomorfología y Suelos, dependiente de la Universidad de La Plata. Se calcularon los parámetros estadísticos y la clasificación textural (Folk 1954).

El estudio petrográfico de las fracciones gruesas fue realizado microscópicamente, a grano suelto y en cortes delgados. Estos estudios fueron realizados en el mencionado laboratorio y en el del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia".

El análisis mineralógico de la fracción menor a 2 micrómetros, se realizó mediante difracción de rayos X, en suspensiones orientadas homoiónicas. Se determinó el índice de cristalinidad de la ilita (Liu *et al.* 1985) y sus componentes (Srodon y Eberl 1984). Dichos análisis se realizaron en los laboratorios del Centro de Investigaciones Geológicas de la Universidad de La Plata.

El contenido de carbonato de calcio de la secuencia fue determinado a través de un método volumétrico, utilizándose un calcímetro, en muestras representativas de la masa de cada nivel. Asimismo se calculó el contenido de materia orgánica de las mismas.

Se determinó el hierro total y el contenido en hierro en estado ferroso por adaptación del método de Pratt y se calculó el contenido de férrico por diferencia. Estos análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Química Geológica (LAQUIGE) dependiente del CONICET.

El muestreo para el estudio magnetoestratigráfico del perfil principal (cantera de Hisisa), se realizó con una equidistancia entre 5 y 15 cm, con el fin de encontrar todos los cambios de polaridad magnética registrados en los sedimentos, incluso aquellos eventos de corta duración.

Este se realizó a lo largo del afloramiento mayor, en perfiles integrados para secciones inaccesibles y en un perfil de control adyacente.

En los otros afloramientos, el muestreo se realizó allí donde se observaban o esperaban cambios sedimentológicos o paleomagnéticos.

Se midió el magnetismo remanente natural (mrn) de todos los especímenes con un magnetómetro rota-

tivo tipo fluxgate y se analizó la estabilidad de la remanencia magnética por medio del lavado por campos magnéticos alternos decrecientes en etapas de 5 mT hasta 60 militeslas.

La medición de la susceptibilidad magnética inicial se realizó con un susceptibilímetro de dos bobinas balanceadas, que opera con campos magnéticos débiles (entre 0,01 y 1 militesla).

El estudio magnetoestratigráfico se realizó en el Laboratorio de Geología del Cuaternario del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia".

Area de muestreo

El sector de la llanura pampeana que rodea a la localidad de Baradero, en un radio aproximado de 10 km del casco urbano, está formado por cuatro unidades geomorfológicas: un área plana hacia el sudoeste y un área de lomas hacia el noreste, el estuario del arroyo Arrecifes y el río Paraná con sus barrancas.

De todas ellas, el área de las barrancas es el que presentó afloramientos naturales, aptos para ser estudiados, si bien también se realizaron observaciones en canteras ubicadas en los alrededores de la ciudad.

Este área se caracteriza por la presencia de uno de los cauces mayores del delta del Paraná, el Paraná de las Palmas, que corre a lo largo de la barranca. Mide 80 a 100 m de ancho y su actividad de divagación es prácticamente nula. En su margen izquierda aparece una llanura de mareas, heredada de la ingresión holocena, caracterizada por canales rectos bien conservados de 20 a 40 m de ancho.

En su margen derecha, la barranca del río tiene entre 8 y 18 m de altura y su pendiente, cercana a la vertical, está poco evolucionada. Sus elementos típicos son pequeñas cárcavas, de 100 a 150 m de largo y 30 a 50 m de ancho; raramente se observan áreas de erosión más amplias, de unos 500 m de largo y 1 a 2 km de ancho. Tanto unas como otras se produjeron por erosión hídrica superficial, sin intervención de deslizamientos u otros movimientos en masa. El talud de acumulación, al pie de la barranca, es reducido. Normalmente cubre una cuarta parte de la misma y en algunos sectores falta por completo.

Los sedimentos expuestos corresponden a la sección superior de los Sedimentos Pampeanos en esta región, cuyo espesor es de 40-45 m (González Bonorino 1965). La parte inferior permanece cubierta y la base se encuentra a -30 m s.n.m. (Santa Cruz 1972).

El trabajo se ha desarrollado sobre un perfil principal, ubicado en la cantera de Hisisa, donde se obtuvo la secuencia más completa para el área (16 m de altura) y de otros tres perfiles complementarios que

fueron extraídos de los afloramientos Norte, Autódromo y Balneario, donde se controlaron las observaciones y cambios registrados en la cantera de Hisisa (Fig.1).

Se reconocen 6 a 8 unidades litoestratigráficas, las que están presentes en casi todos los perfiles observados. La descripción de las mismas, se realiza en forma integrada.

Litoestratigrafía

La descripción se brinda desde la base aflorante de las barrancas, hacia el tope y se consigna en primer término la observación de campo y luego los resultados de los análisis de laboratorio realizados para cada nivel. Con el fin de evitar repeticiones, se han agrupado siempre que fue posible, los comportamientos similares.

Unidad I (1,64 m)

Se presenta en el campo como un limo arcilloso, castaño amarillento moderado (10YR5/4), consolidado, masivo. Esta unidad se caracteriza por el incremento paulatino del contenido de carbonato de calcio hacia el techo.

Se distinguen en ella cuatro niveles; uno inferior de 0,3 m carente de carbonatos, suprayace otro nivel de 0,45 m donde se encuentran esporádicas concreciones de calcretas, el tercero de 0,3 m con un mayor contenido de calcretas en forma de concreciones y láminas y el superior de 0,5 m donde la calcificación es intensa y se forma un banco de tosca. El contacto entre los niveles es transicional.

El análisis granulométrico lo caracteriza como arena limosa, con su moda principal en la fracción 62-88 micrómetros. Las partículas mayores a 125 micrómetros (3-6%) son agregados que han persistido los pretratamientos efectuados, los que aumentan su proporción hacia el techo de la unidad. La elevada proporción de agregados arcillosos (20-25%) enmascara la valoración precisa del contenido granulométrico. La aplicación de metodologías de dispersión más eficaces, modificará seguramente esta caracterización hacia términos más finos. Por otra parte, el aumento de agregados arcillosos hacia el techo de la unidad coincide con una disminución en la proporción de arcillas (5-10%).

La fracción gruesa está compuesta mayoritariamente por trizas vítreas, fragmentos líticos y agregados arcillosos, feldespatos alcalinos, plagioclasas, cuarzo y en menor proporción minerales opacos y pesados. La arcilla está constituida mayoritariamente por un interestratificado ilita-

esmetita altamente ílítico (ilita de categoría II). Se prefirió utilizar el término ilita porque la variedad presente cumple con las características atribuidas a ésta (menor agudeza en las reflexiones basales, ligera asimetría y menor contenido de potasio que las micas bien cristalizadas). Se consideró de utilidad intentar diferenciarlas por el comportamiento de sus reflexiones 001, 002 y 003 frente a la glicolación según el criterio de Srodon y Eberl (1984). Así cuando la reflexión 002 recae en valores de 17,82 0 y la 003 en 26,8 0, sin sufrir modificaciones en posición e intensidad en la glicolación, estamos en presencia de ilita pura (categoría I); el desplazamiento y la mayor asimetría basal reflejan categorías II o III.

El índice de cristalinidad de la ilita (Hw) es moderado, con tendencia decreciente hacia el techo. Estos interestratificados de la Unidad I podrían ser IEII con un grado de expansión menor al 15%. En forma subordinada existen esmetitas con picos de difracción poco definidos indicando mezcla de minerales dioctaédricos. Estas esmetitas frente a los calentamientos progresivos en las submuestras potásicas van colapsando, resolviéndose en una única reflexión a 10A a los 550 grados centígrados.

El porcentaje de carbonato de calcio se incrementa hacia el techo de esta unidad, con valores entre 1% y 2%. La materia orgánica es sumamente baja, como en el resto del perfil (0,031%) y la relación férrico a ferroso es de 8,7% (Fig. 2).

Unidad II

Está constituida por limos arenosos (1,10 m) castaño moderado (5YR4/4) y calcretas (5YR6/1). El grado de estructuración, cantidad y tipo de calcretas presentes en esta unidad, varía tanto lateral como verticalmente.

Los primeros 40 cm presentan una estructura débil, en bloques aplanados e irregulares, de aristas marcadas, con calcretas en forma de tabiques irregulares de hasta 2 cm de espesor. En forma transicional esta unidad adquiere una estructura en bloques laminares de 2 cm de espesor y 6-8 cm en sentido horizontal, en cuyos planos de ruptura se observan calcretas con diseño en enrejado.

En toda la unidad se presentan cantidades variables de marcas de raíces y bioerosión, que le confieren distintos grados de porosidad, en tanto que en la zona laminar, se observan además pátinas y dendritas de manganeso.

El análisis granulométrico indica que tanto las calcretas como el material original que queda entre las estructuras reticulares, son limos arenosos, con un poco más de arena fina para el sedimento calcificado. Por otra parte, el elevado contenido de agregados

arcillosos observados (30-40%), indica que, como en la unidad anterior, éstos alteran los valores de las fracciones granulométricas hacia términos más gruesos que los reales.

La mineralogía de la fracción gruesa está compuesta mayoritariamente por los mencionados agregados arcillosos, trizas vítreas y fragmentos líticos, feldespatos alcalinos, cuarzo y plagioclasas, y por debajo del 1% minerales opacos, hornblenda, piroxenos y como accesorios granate, epidoto y zircón.

La fracción arcilla está constituida por ilita categoría II y esmetitas, estas últimas mejor definidas que en el nivel anterior y el tenor de caolinita, que en el resto de la secuencia no supera el valor de trazas, en este nivel alcanza a conformar entre el 2 y el 5%.

El índice de cristalinidad de la ilita es muy bajo.

El porcentaje de carbonato de calcio es el mayor de toda la secuencia, con valores superiores a 2,5%. La materia orgánica y el contenido de hierro son sumamente bajos.

Unidad III (1,30 m)

Está compuesta por limos arenosos castaño claro (5YR6/4) con estructura en bloques pequeños, de 1-2 centímetros. Esta unidad presenta un patrón de meteorización característico, que la distingue, vinculado a sus estructuras prismáticas y bioturbaciones de origen paleopedológico. También se observan artesas (2,50 m x 0,40 m) con laminación interna de limo y arcilla.

Predomina arena muy fina (33%) en la parte inferior y hacia el techo se incrementa el tenor de limo fino y arcilla. La mineralogía de la fracción gruesa es similar a la anterior. En la fracción fina las proporciones de esmetitas e ilitas son similares, siendo estas últimas puras (categoría I) con alto grado de cristalinidad. Hacia el techo este índice disminuye, coincidentemente con la aparición de ilita categoría III (mezcla de ilita categoría I y II).

Esta Unidad presenta características paleopedológicas marcadas (Luna *et al.* 1990).

El porcentaje de carbonato de calcio es del 0,4%, valor que con ligeras fluctuaciones se mantiene para el resto del perfil.

Unidad IV (2,50 m)

Está constituida por limo arenoso castaño claro (5YR6/2), masivo, friable. Presenta calcretas en candelero y laminares, que al ser afectadas diferencialmente por la erosión, adquieren un aspecto cavernoso. Se observan marcas de raíces y bioerosión, en algunos sectores parcialmente rellenos con óxidos de hierro, pequeñas artesas (de unos 1,50 m x 0,40 m), y crotovinas de contornos redondeados de 1,50 m de diámetro aproximadamente; estos cuerpos se encuen-

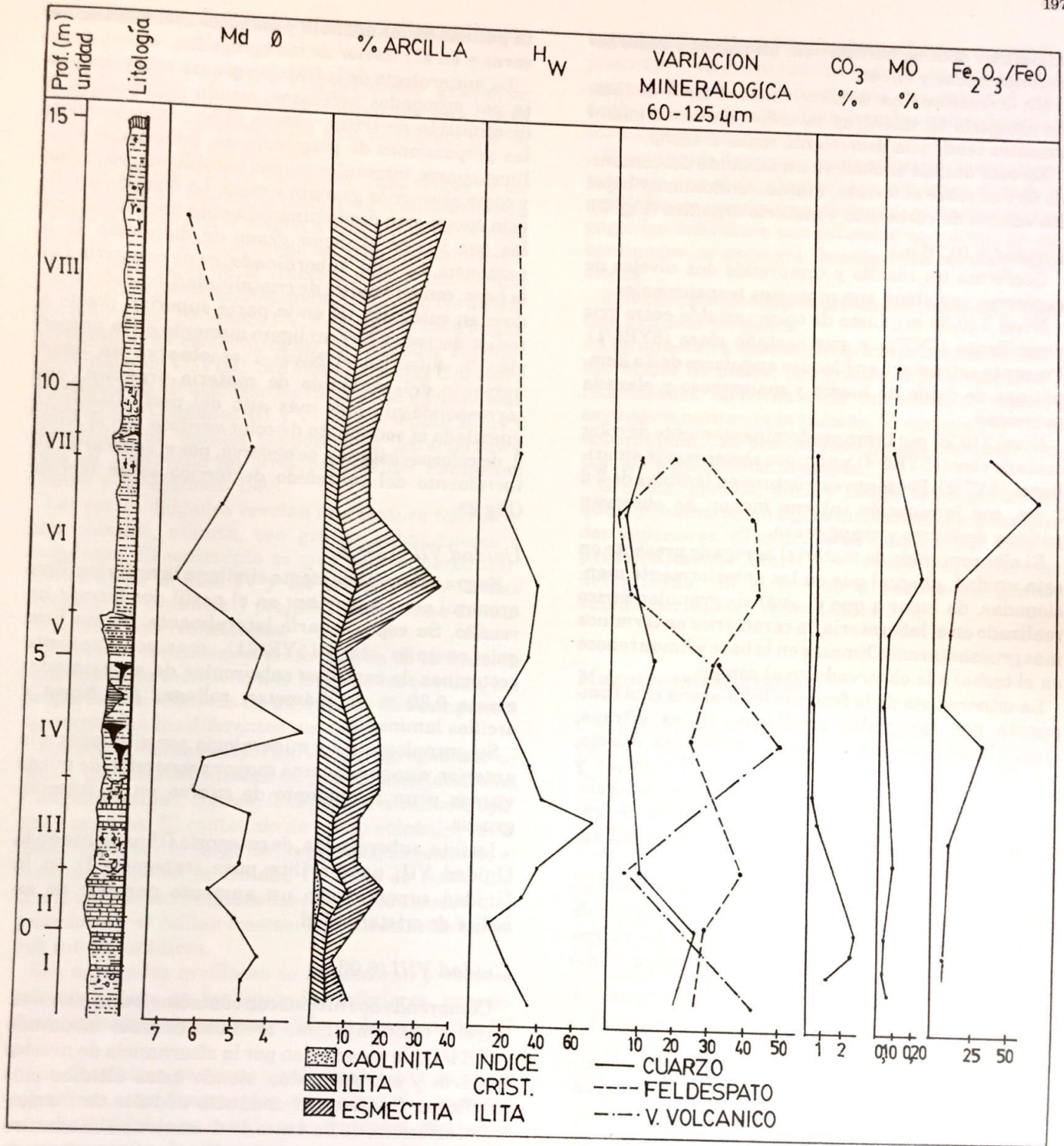


Figura 2: Variaciones de la granulometría (Md ϕ), del porcentaje de arcillas, del índice de cristalinidad de la illita (H_w), de los contenidos de cuarzo, feldespatos y vidrio volcánico en la fracción limo, de los porcentajes de carbonato, materia orgánica (Mo) y de la relación de óxidos férrico/ferroso en los perfiles de Baradero.

tran generalmente rellenos por limos y arcillas laminares.

En su base predomina la arena muy fina, mientras que en el techo lo hace el limo grueso. La mineralogía

de esta fracción indica la mayor proporción de vidrio volcánico de todo el perfil (más de 50%); agregados arcillosos, líticos, feldespatos alcalinos, plagioclasas y cuarzo, en orden decreciente y en menor proporción,

minerales opacos, hornblenda, piroxenos y como accesorios micas y zircón.

En la fracción fina se incrementa el tenor de ilita, de categoría II, mientras su índice de cristalinidad muestra tendencia decreciente hacia el techo.

En esta unidad se observa un aumento del contenido férrico sobre el ferroso, manteniéndose muy bajos los valores de carbonato y materia orgánica (Fig. 2).

Unidad V (0,70 m)

Conforma un resalto y comprende dos niveles de espesores variables, con contactos transicionales.

Nivel 1 (0,50 m): Limo de color variable entre gris amarillento (5Y7/2) y gris castaño claro (5YR6/1). Presenta estructura en bloques angulares de 2 a 3 cm, pátinas de óxido de hierro y manganeso y elevada porosidad.

Nivel 2 (0,20 m): Limo predominantemente de color castaño claro (5YR6/4) y algunos sectores gris amarillento (5Y7/2). Presenta estructura en láminas de 2 a 3 cm, con laminación interna menor. Se observan pátinas de hierro y manganeso.

El alto contenido de material agregado presente en esta unidad, al igual que en las anteriormente mencionadas, da lugar a que el análisis granulométrico realizado en el laboratorio, la caracterice en términos más gruesos (arenas limosas en la base y limo arenoso en el techo) a lo observado en el campo.

La mineralogía de la fracción limo-arena está compuesta por agregados arcillosos, trizas vítreas, plagioclasas, litoclastos, cuarzo, minerales opacos, hornblenda, piroxenos y como accesorios micas y zircón. La fracción arcilla está formada por proporciones similares de esmectitas e ilitas, éstas pertenecientes a la categoría III. El índice de cristalinidad aumenta ligeramente su valor en este nivel.

Si bien a lo largo de todos los perfiles se han reconocido rasgos pedológicos con distinto grado de desarrollo, este nivel es el que presenta los rasgos pedogénicos más conspicuos, tanto mega como microscópicamente (Luna *et al.* 1990).

Unidad VI (2,40 m)

Comprende dos niveles con contacto transicional.

Nivel 1 (2,20 m): Limo arenoso gris verdoso (5GY6/1), masivo, algo plástico. Presenta nódulos de material limoso, en algunos sectores abundantes, de forma predominantemente ecuanter, bordes subredondeados, con pátinas de manganeso tapizando su superficie.

Nivel 2 (0,20 m): Limo arenoso gris castaño moderado (5YR4/4). Estructura en bloques angulares de 2 cm, que a su vez rompen en bloques menores. Presen-

ta pátinas de manganeso y barnices arcillosos en las caras y en el interior de los agregados.

La mineralogía de la fracción gruesa está compuesta por agregados arcillosos, siendo significativa la disminución de trizas vítreas (5%), manteniéndose las proporciones de plagiocalasas, feldespatos alcalinos, cuarzo, minerales opacos, hornblenda, piroxenos y como accesorios granate y mica. La fracción arcilla está compuesta predominantemente por esmectitas, las que tienen el mejor grado de definición de la secuencia. La ilita, subordinada, es de categoría I en la base, con alto índice de cristalinidad, transformándose en categoría III en la parte superior, donde el índice decrece y hay un ligero aumento en la proporción de ilita. En el Nivel 1 se observa un ligero aumento del contenido de materia orgánica, que corresponde al valor más alto del perfil (0,227%), vinculado al sedimento de color verdoso. En el Nivel 2, de colores castaños, se observa, por el contrario, un incremento del contenido de férrico sobre ferroso (Fig.2).

Unidad VII (1,00 m)

Es granulométricamente similar a la anterior (limo arenoso) pero se destaca en el perfil por formar un resalto. Su espesor varía lateralmente. Es un limo gris castaño claro (5YR6/1), masivo. Presenta crotovinas de contorno subcircular de aproximadamente 0,80 m de diámetro, rellenas por limos y arcillas laminados.

Su granulometría y mineralogía son similares a la anterior, aunque con una mayor proporción de trizas vítreas y un incremento de cuarzo en la fracción gruesa.

La ilita, subordinada, de categoría III presente en la Unidad VII, pasa a ilita pura (categoría I) en la Unidad superior, con un aumento paralelo de su índice de cristalinidad.

Unidad VIII (6,00 m)

Comprende dos niveles con contactos transicionales.

Nivel 1 (4,50 m): Limo arcilloso castaño moderado (5YR4/4). Se caracteriza por la alternancia de niveles masivos y estructurados, siendo estos últimos más arcillosos. Contiene abundantes nódulos de manganeso, esféricos, de 2 a 4 mm de diámetro y abundantes calcretas de formas variadas. En algunos sectores se observan marcas de raíces de hasta 1 cm, rellenos por limos verdosos.

Nivel 2 (1,50 m): Limo arcilloso gris castaño claro (5YR6/1), predominantemente masivo. Presenta nódulos de manganeso de 2 a 4 mm de diámetro y

calcretas en forma de concreciones y rellenando marcas de raíces.

Las Unidades VI, VII y VIII presentan grietas de desecación (slikensides) que cubren las superficies donde afloran, característica ésta producida por su alto contenido en esmectitas.

En la Unidad VIII se han encontrado restos de un *Sclerocalyptus*, que no ha podido ser identificado con exactitud, pero que le asigna a esta unidad una edad mayor a la de la extinción de los grandes mamíferos.

La mineralogía de la fracción arcilla indica una composición predominantemente ílítica en las unidades inferiores (Unidades I-V) y de composición predominantemente esmectítica en las unidades superiores (Unidades VI-VIII). Sin embargo en las Unidades donde se han identificado los rasgos pedogénicos más conspicuos (Unidades III y V), se presentan ilitas y esmectitas en iguales proporciones, característica ésta ya observada en otros perfiles del Pampeano (Nabel y Spiegelman 1988).

Los cortes delgados revelan una textura microscópica clástica, abierta, con granos subangulosos a angulosos. El sedimento es muy poroso, particularmente en la unidad IV y los poros son de formas irregulares, ecuanes y prolados, hallándose en muchos casos interconectados.

Si bien la composición mineralógica de la fracción limo-arena se mantiene a lo largo de los perfiles, las proporciones relativas de algunos de sus componentes varían en las diferentes unidades.

Los componentes mayoritarios son agregados arcillosos, vitroclastos, litoclastos, plagioclasas (andesina y oligoandesina), cuarzo, feldespatos alcalinos, opacos y pesados. El contenido de vidrio volcánico varía notablemente a lo largo de los perfiles, alcanzando el máximo valor en la Unidad IV (más de 50%). Las trizas vítreas son límpidas e incoloras, con canalículos y vacuolas y se hallan frescas. Los vitroclastos castaños son esporádicos.

Los agregados arcillosos se encuentran presentes principalmente en las unidades inferiores, presentando máximos de concentración en las unidades III y V.

Los litoclastos provienen principalmente de rocas volcánicas, son fragmentos de pastas de texturas variadas (felsíticas, porfíricas, fluidales, etc.), con distintos grados de alteración que varían desde moderada a total. Numerosos individuos presentan intensa impregnación ferruginosa. En proporción muy subordinada se encuentran fragmentos de volcanitas más ácidas.

La plagioclasa se presenta en dos variedades, la

más abundante es del tipo andesina básica, con hábito prismático, hay esporádicos individuos zonales, con vidrio adherido a sus contornos. La variedad más ácida es oligoandesina. En general se hallan frescos o con alteración incipiente.

El contenido de cuarzo, si bien fluctúa, se mantiene más bajo que el de plagioclasas a lo largo de todo el perfil. Posee, predominantemente, extinción relámpago, los individuos con extinción ondulosa son subordinados, se presenta límpido o con escasas inclusiones.

El feldespato alcalino es ortosa con marcada alteración arcilloso-sericítica.

Los minerales opacos son principalmente óxidos e hidróxidos de hierro, con granos subredondeados a redondeados. La hornblenda, con hábito prismático, es predominantemente castaña, la variedad verde es subordinada. Los piroxenos se hallan en menor proporción y predomina la augita.

Granate, epidoto, mica y zircón son esporádicos, aunque muestran un ligero incremento en las unidades superiores. El granate es incoloro. La mica es principalmente biotita, a veces parcialmente deferrizada. El zircón se presenta en granos subidiomorfos bien redondeados.

Magnetoestratigrafía

El estudio magnetoestratigráfico se basa en el análisis de 146 muestras. A todas ellas se les midió el magnetismo remanente natural (mrn) y la susceptibilidad magnética. El análisis de la estabilidad magnética por medio de campos magnéticos alternos linealmente decrecientes (CA), se realizó en 78 de ellas, utilizando la misma metodología que fuera descripta en Nabel y Valencio (1981).

Las mediciones mrn y del magnetismo remanente estable (mre) han evidenciado que la metodología utilizada ha sido eficiente en el estudio magnetoestratigráfico de estos sedimentos.

El proceso de desmagnetización por CA, en la mayoría de las muestras, eliminó el 80% de la intensidad de la mrn con campos entre 15mT/25 militeslas. Las direcciones de mre han sido aisladas entre 10 y 40 militeslas, valores entre los cuales los especímenes han perdido sus componentes secundarios de magnetización o gran parte de su intensidad (Fig. 3).

Las direcciones del mrn y del mre obtenidas luego de haber sido sometidas a lavado magnético por CA, han sido graficadas en la Fig.4. En la misma puede observarse una significativa reducción de la disper-

si6n de las direcciones de mrn despu3s de ser sometidas al tratamiento de lavado y un agrupamiento alrededor de tres direcciones, dos de las cuales son coincidentes con la direcci6n y la ant3poda del campo geomagn3tico dipolar axial para el 3rea, cuya inclinaci6n es de 53° y la tercera es oblicua.

Durante el proceso de desmagnetizaci6n se ha observado la presencia de componentes secundarias, que se superimprimen a las mre. Ello se evidencia con mayor claridad en muestras con direcciones de mre de polaridad reversa, donde se observa un aumento en las intensidades de la mrn durante las primeras etapas de lavado (Fig. 3).

Las muestras obtenidas han evidenciado comportamientos magn3ticos diferentes que se han mantenido constantes por tramos de perfil.

Las muestras 2 y 7 (Fig. 3) fueron extra3das de la secci6n basal de la cantera de Hisisa (Unidad I). Despu3s del tratamiento de desmagnetizaci6n a3n conservan direcciones oblicuas de magnetizaci6n. Este comportamiento se ha reiterado en muestras obtenidas de secciones equivalentes de otros perfiles en el 3rea, sugiriendo que el mismo se3ala un acontecimiento de magnetizaci6n.

La Unidad II, inmediatamente por encima de la anterior, corresponde a un afloramiento con alto contenido de carbonatos y muy baja respuesta magn3tica, por lo que no se lograron obtener direcciones.

Las muestras 19 y 23 fueron extra3das de la secci6n inmediatamente superior a la anterior (Unidad III), presentan direcciones de polaridad reversa y ejemplifican el comportamiento magn3tico de la mencionada unidad, que aflora en la mitad inferior de las barrancas.

Entre las muestras correspondientes a las unidades I, II y III que presentaron polaridades oblicuas y reversas, se registraron en forma saltuaria direcciones que se alejan de los valores medios de las mre (Fig.4b). La distribuci6n saltuaria de las mismas no permite identificarlas como expresiones de un acontecimiento de magnetizaci6n debido al campo magn3tico terrestre.

Las muestras 40, 59, 79 y 131, con direcciones de polaridad normal, fueron tomadas de las secciones superiores de las barrancas y ejemplifican el comportamiento magn3tico de las muestras de las unidades IV, V, VI, VII y VIII. Las muestras extra3das de este sector de los perfiles evidenciaron un comportamien-

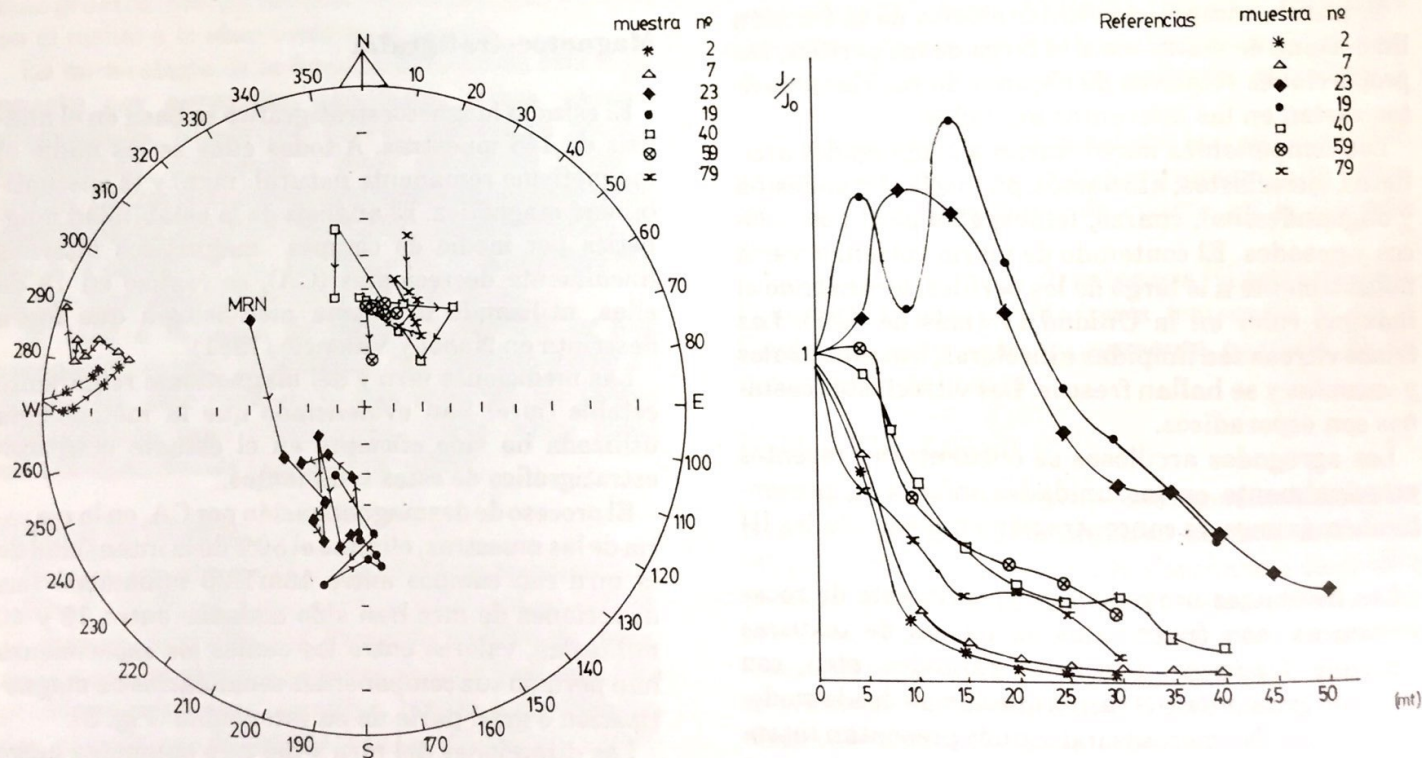


Figura 3: Variaciones en la direcci6n e intensidad del mre, luego de cada etapa de desmagnetizaci6n por CA. Muestras 2 y 7 corresponden a la Unidad I, muestras 19 y 23 corresponden a la Unidad III, las muestras 40, 59 y 79 representan el comportamiento magn3tico de las Unidades IV, V, VI, VII, VIII.

to magnético muy estable. Las componentes secundarias registradas fueron eliminadas en las primeras etapas de lavado.

En los diferentes perfiles se han registrado uno o dos cambios de polaridad magnética. En todos ellos se ha registrado un cambio de polaridad, de normal a reversa, dentro de la unidad IV o más frecuentemente entre las unidades III y IV.

Este cambio de polaridad magnética es interpretado como el límite Brunhes-Matuyama ocurrido hace 0,73 Ma (Fig.5).

En las secciones más completas, se ha registrado un segundo cambio de polaridad de reversa a oblicua hacia la base de los afloramientos, la que se presenta sistemáticamente en las secciones inferiores de los perfiles y dentro del sector de polaridad reversa (Fig.5).

Debido a la repetición sistemática de este comportamiento en secciones equivalentes de los diferentes perfiles del área, se interpreta que este sector basal ha registrado un evento corto de polaridad dentro de

la sucesión reversa (Valencio 1980).

Sobre la base de la mre aisladas, se calcularon los polos geomagnéticos virtuales (pgv) para cada muestra, cuya posición promedio corresponde al polo paleomagnético de la secuencia, el que está ubicado a los 87°S, 38°E ($A_{90}=3,2^\circ$; $K=60,23$; $N=52$). Con estos valores se calcularon los apartamientos polares y la polaridad de cada muestra, lo que permitió elaborar la magnetoestratigrafía de la secuencia (Fig.5).

Los valores de la intensidad de la mrn son siempre coherentes con los de la susceptibilidad magnética, indicando que las variaciones verticales que se registran en sus valores, están vinculados a cambios en el ambiente de sedimentación y no a cambios en la intensidad del campo geomagnético.

Los cambios en los valores de susceptibilidad permiten diferenciar secciones dentro de los perfiles. Dichos cambios coinciden con cambios macroscópicos observados entre unidades e incluso presentan un comportamiento diferenciado dentro de algunas de ellas. Por ejemplo la Unidad V tiene en su base valores

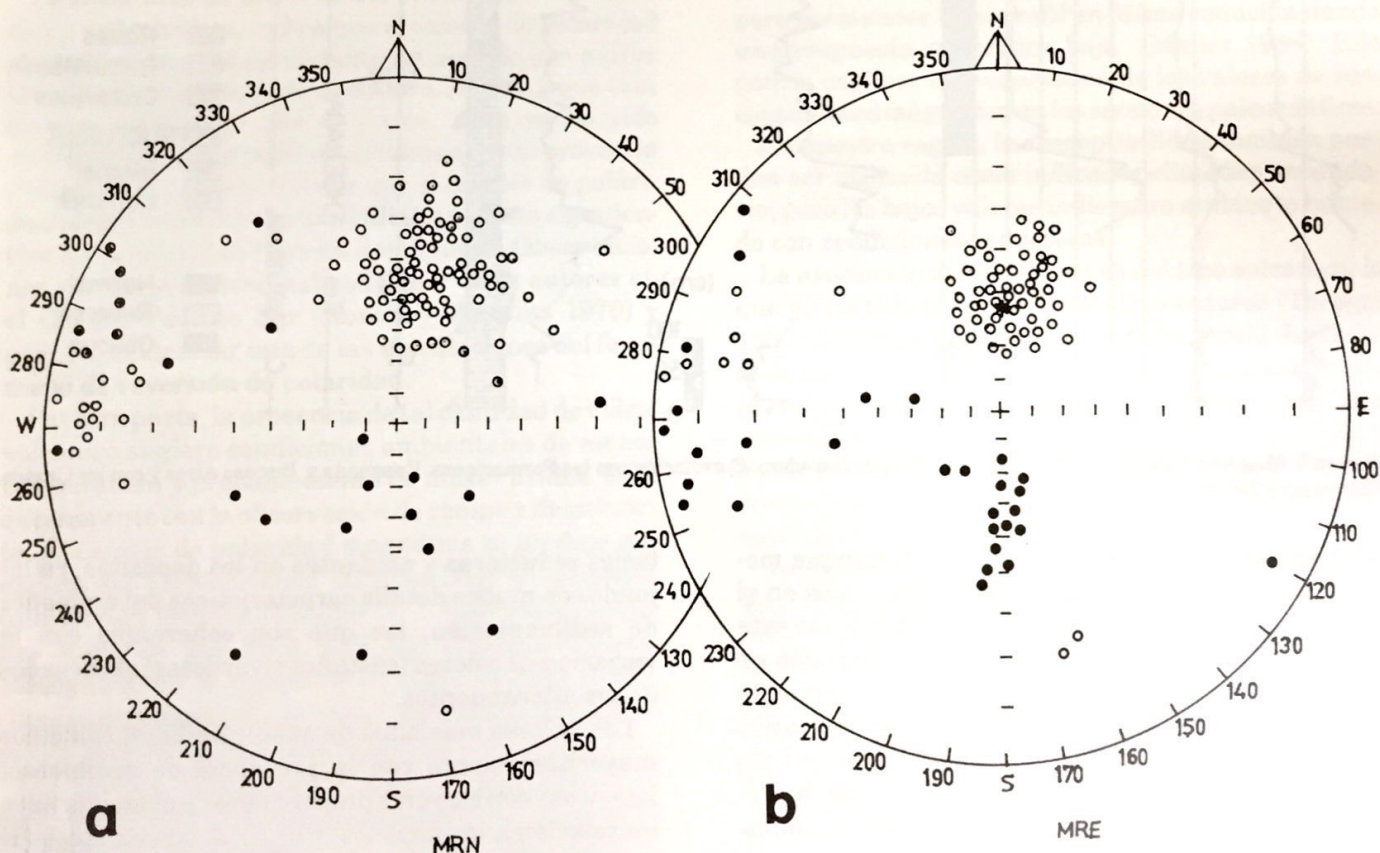


Figura 4.a: Direcciones del magnetismo remanente natural (mrn) ○, inclinación negativa, ●, inclinación positiva. b: Direcciones del magnetismo remanente estable (mre). *, dirección del campo dipolar axial.

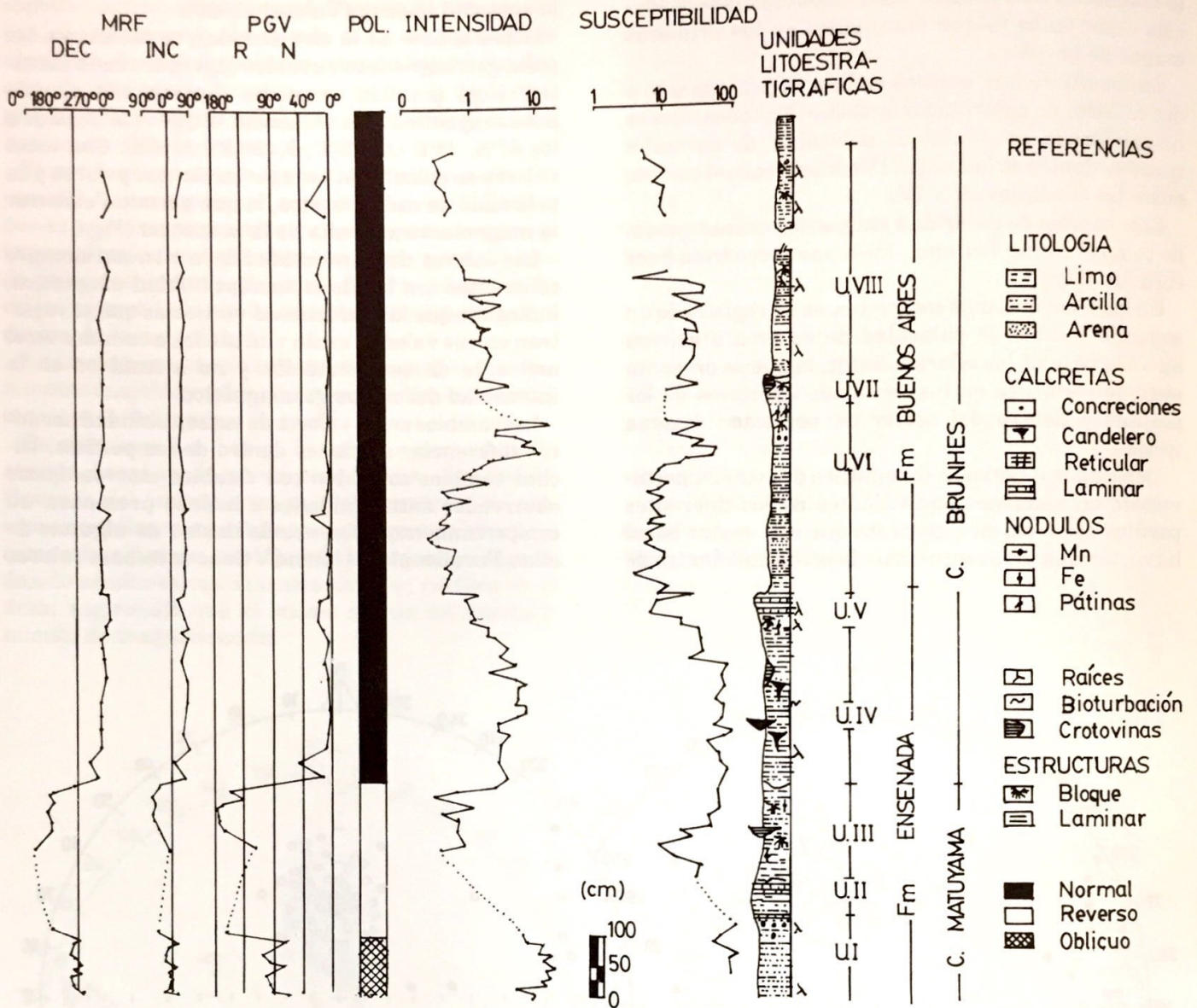


Figura 5: Magneto y litoestratigrafía de los perfiles de Baradero. Correlación con las Formaciones Ensenada y Buenos Aires y con los Cronos Matuyama y Brunhes.

relativamente altos de susceptibilidad, aunque menores que la sección infrayacente, y más bajos en el tope de la misma. Particularmente debido a que esta unidad ha sido identificada como un paleosuelo de valor regional (Luna *et al.* 1990), el comportamiento de la susceptibilidad magnética puede ser indicativo de la distribución de los óxidos de hierro en un horizonte paleoedáfico con cierto grado de hidromorfismo (Maher 1986), como los presentes en nuestra región.

La variación de los valores de susceptibilidad en la unidad VI, a su vez, podría señalar la presencia de

facies reductoras y oxidantes en los depósitos, reflejando con mucho detalle características del ambiente de sedimentación, las que son coherentes con la variación de colores (castaños y verdosos) observados en los afloramientos.

Los valores más altos de susceptibilidad coinciden mayoritariamente con la presencia de sedimentos loessicos y con mayores proporciones de óxidos férricos, en relación a los ferrosos (Fig. 5). A su vez, los bajos valores de susceptibilidad magnética (Unidades III, V, y secciones de las unidades VI y VIII), coinciden con la presencia de paleosuelos con rasgos hidro-

mórficos (Unidades III y V) y/o con sedimentos depositados en ambientes reductores, probablemente lúmnicos (secciones de las Unidades VI y VIII).

Discusión de resultados

Los resultados paleomagnéticos obtenidos son consistentes entre las secciones y producen una zonación de polaridad claramente definida.

El límite Brunhes-Matuyama ha sido identificado en los diferentes afloramientos estudiados, en el mismo nivel estratigráfico y en similar posición topográfica.

Este límite está restringido a un intervalo sedimentario estrecho entre las unidades III y IV y generalmente se encuentra por encima de un geosol, que hemos denominado "Geosol Hisisa", que a su vez se superpone a un horizonte calcáreo. En todos los casos estudiados, se encuentra localizado dentro de un horizonte con elevado contenido de vidrio volcánico y en la sección superior de la Formación Ensenada.

La presencia de dicho límite vinculado a un horizonte vitroclástico, indica que el cambio de polaridad magnética se produjo durante un período con mayor actividad volcánica en la cordillera. Debido a que ésta es una correlación que se repite, pues ya ha sido observada en otros perfiles estudiados en la provincia (Nabel 1991), podría indicar que el cambio de polaridad magnética esté vinculado a un aumento significativo de la actividad interna del planeta. Observaciones similares fueron realizadas por otros autores en el Océano Pacífico Sur (Kenett y Watkins 1970) y podrían evidenciar una de las vinculaciones del fenómeno de reversión de polaridad.

Por otra parte, la presencia de tal cantidad de vidrio volcánico sugiere condiciones ambientales de menor temperatura y probablemente de mayor aridez. Esto es coherente con la observación de campo y de gabinete. El cambio de polaridad magnética se produjo por encima del "Geosol Hisisa" (Unidad III) y en la base de una sección loésica (Unidad IV). Estas observaciones sugieren que hace 0,73 Ma (límite Brunhes-Matuyama) en la región de estudio, las condiciones climáticas pasaron de ser más húmedas (y probablemente más cálidas) a más secas (y frías).

Los valores de susceptibilidad son generalmente mayores en las secciones loésicas, disminuyendo en un orden de magnitud en los niveles de paleosuelos (Fig. 5). Este comportamiento se ha repetido en todas las secciones estudiadas, y puede ser utilizado como indicador secundario de dichos cambios. Debido a que

los valores de susceptibilidad están directamente relacionados a las condiciones de oxidación, dichos valores han sido utilizados como indicadores climáticos secundarios (Liu *et al.* 1985).

En el loess de la China, por ejemplo, los sedimentos depositados en ambientes fríos y secos, usualmente contienen el Fe como FeO, por lo que la susceptibilidad magnética es menor que en sedimentos depositados en climas húmedos y cálidos donde el Fe₂O₃ es el estado prevalente. Sin embargo no es posible trasladar mecánicamente las observaciones realizadas en otros lugares del planeta. En nuestra región, los sedimentos que evidencian la presencia de un clima más húmedo y cálido, con el desarrollo de rasgos pedogenéticos, presentan, a diferencia de los observados en China y en el centro de Europa, susceptibilidades menores que aquéllos depositados en condiciones secas y frías. Esta característica de los Sedimentos Pampeanos en el área, probablemente esté vinculada a la presencia de rasgos hidromórficos asociados a los paleoedáficos observados los que presentan condiciones ferrosas prevalecientes. En suelos permanentemente húmedos y de drenaje pobre, el Fe movilizado por los procesos edáficos puede no haberse perdido, pero permanece en el perfil en forma reducida dando una respuesta magnética baja (Maher 1986). Ello podría explicar la disminución de los valores de susceptibilidad magnética en las secciones paleoedáficas.

En nuestra región, la susceptibilidad también pueden ser utilizada como indicador climático secundario, pero los bajos valores indicarían ambiente húmedo con condiciones reductoras.

La asociación mineralógica es del tipo volcánica, lo que ya ha sido observado por otros autores (Teruggi 1957; González Bonorino 1965; entre otros). La fuente de aporte del vidrio volcánico, de naturaleza ácida, se relaciona con el vulcanismo pleistoceno. Su proveniencia es compleja, pero su frescura y angulosidad, indican un medio de transporte principalmente eólico, aunque también hay evidencias de retransporte.

Si bien en la mayor parte de las muestras analizadas se observan estructuras y rasgos edáficos (Brewer 1964; Andreis 1981), éstos tienen su desarrollo más conspicuo en las Unidades III y V. La Unidad V ha sido considerada por sus características mega y microscópicas, como así también por su extensión areal, un geosol de valor estratigráfico, representa el techo de la Fm. Ensenada y la separa de la Fm. Buenos Aires suprayacente (Luna *et al.* 1990). Es por ello y de acuerdo a normas estratigráficas vigentes (Código Argentino de Estratigrafía 1992) que proponemos la denominación de "Geosol Tala" para el mismo. Dillon

(1985) menciona la presencia de una paleosuperficie en el 6rea que denomin6 "Suelo Gral. Savio", pero no hemos podido acceder a una descripci6n de la misma, por lo que no sabemos si se refiere a la aqu6 designada.

La Unidad III tambi6n presenta conspicuos rasgos ed6ficos, los que han sido descriptos en detalle en Luna *et al.* (1990). Si bien no se ha podido verificar la extensi6n areal de dicha Unidad, pues se encuentra frecuentemente cubierta, la importancia estratigr6fica de la misma, debido a que se6ala el final del Cron Matuyama, nos induce a identificarlo con un nombre. El mismo ha sido elegido sobre la base del lugar donde es posible observarlo con mayor claridad, por lo que se le ha denominado "Geosol Hisisa".

En estas unidades se ha observado la presencia de ilita-esmectita en iguales proporciones, lo que ya hab6a sido observado en otras unidades paleoed6ficas de la Ciudad de Buenos Aires (Nabel y Spiegelman 1988).

La parte superior del perfil (Unidades VI, VII y VIII) presentaron direcciones de magnetizaci6n de polaridad normal, por lo que se les ha asignado una edad paleomagn6tica Brunhes (menor que 0,73 Ma). A su vez, restos de *Sclerocalyptus* encontrados en las secciones cuspidales permiten acotar la edad de su techo, asegurando que su depositaci6n es anterior a la extinci6n de los grandes mam6feros.

Estas unidades pueden correlacionarse con la Fm. Buenos Aires (Unidades VI y VII) y quiz6 tambi6n con la Fm. La Postrera (Unidad VIII) (Fidalgo, com. pers.), del Pleistoceno superior. Dichas formaciones est6n presentes en esta regi6n en facies diferentes a las observadas y descriptas en la regi6n oriental, probablemente vinculadas a ambientes l6mnicos y muchas veces afectadas por procesos de 6xido-reducci6n. Su asociaci6n mineral6gica con predominancia de esmectitas, probablemente se vincule a la presencia de un mayor contenido de agua en el momento de su depositaci6n.

Las unidades inferiores (I a V) presentan una asociaci6n mineral6gica con poco cuarzo, vidrio volc6nico abundante en uno de los niveles (Unidad IV) y predominancia de ilita en la fracci6n fina, equivalentes a la Zona I subzonas b y c definidas por Gonz6lez Bonorino (1965) para la ciudad de Buenos Aires y descriptas por Riggi *et al.* (1986) en La Plata. Corresponden a la secci6n superior de la Formaci6n Ensenada que aflora en esta regi6n.

La distribuci6n mineral6gica en la fracci6n fina, con predominancia de esmectitas en la Fm. Buenos Aires

y de ilita en la Fm. Ensenada, es equivalente a la hallada en la Laguna Yalca (Dangavs y Dalla Salda 1973).

Conclusiones

Las Unidades de I a V reconocidas en el campo se correlacionan con la secci6n superior de la Fm. Ensenada. En la misma, se han identificado dos geosoles, uno de caracter6sticas regionales que representa el techo de la formaci6n (Unidad V) y que hemos denominado "Geosol Tala". El l6mite superior del mismo corresponde a la paleosuperficie que separa la Fm. Ensenada de la Fm. Buenos Aires suprayacente, en la regi6n.

El otro geosol reconocido en la Fm. Ensenada, es el que ha sido denominado "Geosol Hisisa" (Unidad III) y representa el final del Cron Matuyama en la regi6n. Si bien la ubicaci6n topogr6fica del mismo (se encuentra pr6ximo a la base de los perfiles y frecuentemente se halla cubierto) ha impedido reconocer su extensi6n areal, su importancia estratigr6fica justifica su designaci6n.

Las Unidades VI a VIII se correlacionan con la Fm. Buenos Aires. Dentro de estas unidades tambi6n se ha observado el desarrollo de niveles paleoed6ficos aunque 6stos no han sido a6n formalmente designados.

Se ha identificado el l6mite Brunhes-Matuyama, en la secci6n superior de la Formaci6n Ensenada, entre las unidades III y IV o en la Unidad IV, por encima del "Geosol Hisisa", aproximadamente a los 6-7 m s.n.m..

El l6mite Bruhnes-Matuyama se encuentra localizado en el nivel que registra el mayor contenido de vidrio volc6nico del perfil.

Las caracter6sticas sedimentol6gicas asociadas al l6mite Brunhes-Matuyama sugieren que hace 0,73 Ma se produjo un cambio clim6tico en la regi6n, de condiciones h6medas y c6lidas a secas y fr6as.

La distribuci6n de unidades reconocidas en la Formaci6n Ensenada que aflora en las barrancas de Baradero, que es la que se ha estudiado con mayor detalle, sugiere una alternancia de condiciones paleoclim6ticas y paleoambientales durante su depositaci6n. As6, la presencia de niveles loessicos y ed6ficos intercalados, sugiere una alternancia de climas secos y fr6os a h6medos y c6lidos respectivamente.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Comunidad Económica Europea y al Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas, quienes, sobre la base de un convenio de cooperación, han subsidiado este trabajo. Asimismo desean agradecer al Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", que ha brindado la infraestructura necesaria para su realiza-

ción. A Mario Iñíguez Rodríguez y a Martín Iriondo por su permanente apoyo, con quienes se discutió y elaboró cada una de las etapas del trabajo. A J. Maggi quien ha colaborado en las determinaciones espectrográficas.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Andreis, R., 1981. Identificación e importancia geológica de los paleosuelos. En: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ed.). Libro de texto 2: 55p. Porto Alegre.
- Brewer, R., 1964. Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley & Sons, 470 p. New York.
- Burckhardt, C., 1907. La formation pampéenne de Buenos Aires et Santa Fe. En: Lehmann-Nitsche, R. (Ed.). Nouvelles recherches sur la formation pampéenne et l'homme fossile de la République Argentine. Revista del Museo de La Plata 14:146-171.
- Camilión, C., Mormeneo, L., Iñíguez Rodríguez, A. y Maggi, J., 1990. Clay minerals and particle size distribution in loessic sediments of North-East Pampa Plain, Argentina. Resúmenes expandidos Simposio Internacional sobre Loess, pp.49-54. Mar del Plata.
- Comité Argentino de Estratigrafía, 1992. Código Argentino de Estratigrafía. Asociación Geológica Argentina, Serie B Didáctica y Complementaria, 20:1-64.
- Dangavs, N. y Dalla Salda, L., 1973. La Laguna Yalca. Revista del Museo de La Plata, Geología 8 (69):281-313.
- Dillon, A., 1985. Estratigrafía de los depósitos superficiales en el norte de la Prov. de Buenos Aires. Resúmenes de las Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires : 17-18. Tandil.
- Folk, R., 1954. The distribution between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. Journal of Geology, 62:344-359.
- Frenguelli, J., 1946. Las barrancas del Puerto de Rosario. Revista del Museo de La Plata, Geología 4:91-124.
- Gardenal, L.M., 1985. Geología superficial en la Cuenca del Río Arrecifes. Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. 71 p. (Inédito).
- González Bonorino, F., 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 20 (1): 67-148.
- Heller, F. y Liu Tungsheng, 1982. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China. Nature, 300:431-433.
- Kenneth, J.P. y Watkins, N.D. 1970. Geomagnetic polarity change, volcanic maxima and faunal extinction in the South Pacific. Nature, 227:930-934.
- Kukla, G. y Nakagawa, H., 1977. Late Cenozoic Magneto-stratigraphy. Quaternary Research 7:283-293.
- Liu Tungsheng, An Zhisheng, Yuan Baoyin y Han Jiamao, 1985. The loess-paleosol sequence in China and climatic history. Episodes, 8 (1):21-28.
- Luna, A., Nabel, P., Machado, G., 1990. Reconocimiento de un paleosuelo entre las Formaciones Ensenada y Buenos Aires, en el NE de la Provincia de Buenos Aires (San Pedro-Baradero). Resúmenes expandidos Simposio Internacional Sobre Loess, pp.138-142. Mar del Plata.
- Maher, B.A., 1986. Characterization of soils by mineral magnetic measurements. Physics of the Earth and Planetary Interior 42:76-92.
- Nabel, P., 1991. Palaeomagnetic changes recorded in Brunhes-Matuyama boundary of the Pampean Sediments Buenos Aires Prov. Argentina. Abstracts 13^o International Quaternary Association Congress (INQUA). 1 p. China.
- Nabel, P. y Valencio, D., 1981. La magnetoestratigrafía del Ensenadense de la Ciudad de Buenos Aires: su significado geológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 36(1):7-18.
- Nabel, P. y Spiegelman A., 1988. Caracterización sedimentológica y paleomagnética de una sección del Pampeano, en el subsuelo de la Ciudad de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 43(2):224-230.
- Nabel, P., Machado G., Luna, A., 1990a. Criterios diagnósticos en la estratigrafía de los "Sedimentos Pampeanos" del Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas 11^o Congreso Geológico Argentino, 2: 121-124. San Juan.
- Nabel, P., Machado, G., Luna, A., 1990b. Identificación del límite Brunhes-Matuyama (0.73 m.a.) en sedimentos Pleistocenos de la Provincia de Buenos Aires. Resúmenes expandidos Simposio Internacional sobre Loess, pp.91-95. Mar del Plata.
- Riggi, J.C., Fidalgo, F., Martínez, O.R., Porro, N.E., 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el Partido de La Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 41 (3-4):316-333.
- Roth, S. 1898. Catálogo de los mamíferos fósiles conservados en el

- Museo de La Plata. Revista del Museo de La Plata, 8(3):33-160.
- Roth, S. 1920. Investigaciones geol6gicas en la llanura pampeana. Revista del Museo de La Plata, 25:135-342.
- Santa Cruz, J.N., 1972. Estudio sedimentol6gico de la Formaci6n Puelches en la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociaci6n Geol6gica Argentina, 27(1):5-62.
- Srodon, E. y Eberl, D., 1984. Illites. En: Bailey, G. (Ed.) Micas. Review in Mineralogy, 13: 495-539.
- Teruggi, M.E., 1954. El material volc6nico pirocl6stico en la sedimentaci6n cuaternaria argentina. Revista de la Asociaci6n Geol6gica Argentina, 9 (3):184-191.
- Teruggi, M.E., 1957. The nature and origin of Argentine Loess. Journal Sedimentary Petrology, 27 (3):322-332.
- Valencio, D.A., 1980. El magnetismo de las rocas. Editorial Universitaria de Buenos Aires, 351 p. Buenos Aires.
- Vignati, M., 1957. Aportes para el conocimiento de la dentici6n del hombre f6sil de Baradero. Ameghiniana, 1(1-2):101-107.

Recibido: 1º de julio, 1992

Aceptado: 12 de julio, 1993