

LAS COSTRAS CALCÁREAS DEL PLEISTOCENO EN EL REGISTRO DE CAMBIOS DE POLARIDAD MAGNÉTICA DE LA TIERRA

MAGNETOESTRATIGRAPHY IN PLEISTOCENE SEDIMENTS IN THE NORTH OF MAR DEL PLATA, BUENOS AIRES PROVINCE

J.C. Bidegain¹, M.L. Gómez Samus²

1.- Investigador Independiente CIC-LEMIT. jcbidega@yahoo.com.ar

2.- Becario Doctoral CONICET-LEMIT

RESUMEN

La presente contribución se refiere a los registros paleomagnéticos obtenidos en costras calcáreas y en sedimentos loessoides de la localidad de Camet, al norte de Mar del Plata. Los resultados obtenidos confirman la existencia del límite Brunhes/Matuyama (0,78 Ma) en los acantilados de la zona. Las muestras de las unidades U1 y U2 en la base del perfil presentan polaridad reversa y se asignan al cron de magnetopolaridad Matuyama (>0,78 Ma), las muestras de las unidades U3 a U7 son de polaridad normal y se asignan a Brunhes (>0,78 Ma). El patrón de susceptibilidad magnética es similar al obtenido en sedimentos loésicos del norte de la provincia de Buenos Aires. Los sedimentos menos pedogenizados presentan valores relativamente más elevados ($390 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), los paleosuelos valores intermedios ($70 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) y los horizontes hidromórficos ($17 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) los valores más bajos. El valor de susceptibilidad dependiente de frecuencia, que se utiliza para estimar la contribución superparamagnética, es bajo a lo largo de todo el perfil, aunque se incrementa en los horizontes pedogenizados. Estimamos que la presente contribución puede ser de utilidad a la paleontología y particularmente a la bioestratigrafía debido a la existencia de fauna de vertebrados fósiles.

Palabras clave: *Pleistoceno, Magnetoestratigrafía, Brunhes, Matuyama, Ensenadense.*

ABSTRACT

The present contribution refers to one sedimentary sequence exposed at Camet (37° 53'34'' S. Lat. and 57° 31'16'' W. Long.), north of Mar del Plata. Paleomagnetic directions as well as magnetic parameters were measured on samples collected from seven units separated by discontinuities. The obtained results confirm the existence of the BBM in sediments and calcrete layers assigned to the Ensenadean at the base of the cliffs. The samples from the units labelled U1 and U2 at the base of the profile show reverse polarity while the samples collected from units U3 to U7 show normal polarity. The pattern of magnetic susceptibility follows that of the north of the Buenos Aires province. The less pedogenized sediments show the higher LF susceptibility ($390 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) while the paleosols ($70 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) and gley ($17 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) horizons show the lower values. Frequency dependent susceptibility (χ_{fd}) employed, to estimate the superparamagnetic contribution, is low along the profile but it increases in the pedogenized horizons and decreases markedly in loess. Due to the findings of mammal fossils in the Pleistocene cliffs of Camet, the present contribution may probably be of value for paleontological and particularly for the biostratigraphical research.

Keywords: *Pleistocene, Magnetostratigraphy, Brunhes, Matuyama, Ensenadean.*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó en las barrancas costeras del Barrio Félix Camet, en las cercanías del GADA 601 (Grupo de Artillería de Defensa Aérea) a los 37°53'34'' de Latitud Sur y 57°31'16'' de Longitud Oeste (Figura 1A). En esta contribución cabe resaltar dos aspectos que adquieren relevancia a la hora de establecer la confiabilidad de una metodología puesta en funcionamiento en procesos naturales. El primero se refiere al control de datos anteriores obtenidos en los laboratorios de Utrecht (Holanda) y de Tandil [1] y el segundo se refiere a que por primera vez se indican los registros paleomagnéticos en costras calcáreas. Aspecto que entendemos novedoso pues no ha sido mencionado en trabajos anteriores [2-4], posiblemente porque las mismas son muy duras para ser muestreadas y generalmente presentan bajos valores de susceptibilidad magnética.

La técnica utilizada se basa en que los materiales alojantes de las "costras calcáreas", en este caso en particular, son limos o limo arenosos con mayor concentración (relativa) de minerales ferrimagnéticos. Por tal razón la intensidad del magnetismo remanente natural (MRN) puede ser, como en el caso analizado, relativamente más elevado que en otras capas.

El objetivo general del trabajo de investigación es contribuir al establecimiento de una magnetoestratigrafía confiable para los depósitos Plio-Pleistocénicos de la región pampeana, no sólo de la costa Atlántica sino también hacia el interior de la provincia. Por ello el desarrollo de la técnica de muestreo a los fines de obtener registros estables de las direcciones paleomagnéticas constituye un aporte significativo.

La investigación en curso, por otra parte, prevé la medición de los parámetros magnéticos (Magnetismo de Rocas), para utilizarlos como herramientas en la interpretación de las condiciones paleoclimáticas y paleoambientales [5-7]. Por ello, en la presente contribución se indican los valores de susceptibilidad magnética, como primera aproximación, por ser un parámetro indicador de las variaciones en la concentración de minerales ferromagnéticos. El resto de los parámetros medidos en laboratorio forman parte de futuras contribuciones.

Antecedentes en la investigación

Ameghino [8] fue uno de los primeros investigadores que visitó la zona. Más recientemente Schnack et al. [9] agrupa los sedimentos con el nombre de Formación Santa Clara (Pleistoceno superior), Fasano [10] divide esta formación en dos miembros, y correlaciona al miembro inferior con el Ensenadense [8,11,12], y al miembro superior con el Bonaerense [11,12]. Martínez [13] propone un esquema estratigráfico integrado para la franja eólica periserrana.

Las investigaciones realizadas entre Mar del Plata y Santa Clara del Mar [1,14,15] indican que la cronozona Matuyama está mejor representada en el arroyo La Tapera, y que no se registran niveles de polaridad reversa en el perfil del Arroyo Santa Elena, que se asigna al cron Brunhes (<0,78 Ma). Los estudios paleomagnéticos realizados en sedimentos expuestos hacia el sur del Mar del Plata indicaron una zonación magnetoestratigráfica Brunhes, Matuyama, Gauss [16,17] e inclusive hasta Gilbert [18,19]. Recientemente Bidegain y Rico [20] realizan nuevos perfiles paleomagnéticos en Chapadmalal y también al sur de Miramar, en la zona de Punta Hermengo.

Desde el punto de vista bioestratigráfico, cabe mencionar que en las proximidades del GADA 601 se exhumó un resto de *Mesotherium cristatum* [21], el autor lo ubica en la edad mamífero ensenadense y en relación con la magnetozona Matuyama. Prevosti et al. [22] citan para los acantilados cercanos al arroyo Santa Elena la presencia de los canidos *Theriodictis platensis* y *Protocyon spp.*, también edad mamífero ensenadense pero que de acuerdo a la magnetoestratigrafía están en la magnetozona Brunhes. Cabe consignar que, como se ha mencionado en trabajos anteriores, el límite entre las zonas de magnetopolaridad (Brunhes/Matuyama) no es coincidente con el límite entre las unidades geológicas formacionales ni con las edades bioestratigráficas. Más bien, como se indicó en buen número de perfiles paleomagnéticos, realizados al norte de la provincia de Buenos

Aires [23], la parte final de la edad mamífero ensenadense corresponde con la parte basal del cron de polaridad normal Brunhes (<0,78 Ma). Del mismo modo el límite Brunhes/Matuyama no tiene relación con el límite entre las unidades formacionales sino que se registra en la Formación Ensenada.

METODOLOGÍA

La metodología desarrollada apunta a dar respuesta a interrogantes de interés en el campo de la geología, la paleontología, el paleomagnetismo y el magnetismo ambiental. A tales fines el trabajo comenzó con la observación y descripción de las unidades geológicas presentes en los acantilados de la zona de F. Camet, con lo cual se construyó un perfil geológico (Figura 1B). Se tuvo en cuenta el tipo de contacto entre las capas, la continuidad o discontinuidad en la sucesión, las variaciones laterales, presencia de valles fluviales, paleocanales, crotovinas y entoscamientos en sus distintas formas. Todo ello a los fines de obtener registros paleomagnéticos completos de la localidad para establecer una magnetoestratigrafía confiable.

El perfil paleomagnético se efectuó mediante un sacatestigos a pistón (Swedish piston, modificado por Bidegain), de sección cuadrada, brújula Brunton, martillo y cinta métrica. Las muestras orientadas se extrajeron a equidistancias de 5 a 60 cm, el material se colocó en cubos de plástico de 8 cm³ y se adicionó un adhesivo vinílico, no magnético, para fijar los granos y evitar así el movimiento de los mismos durante el traslado y la medición.

En total se recolectaron 60 muestras paleomagnéticas en dos campañas. A partir de los resultados obtenidos de la medición de las muestras de la primera campaña, en la segunda se intensificó el muestreo en aquellos niveles de interés.

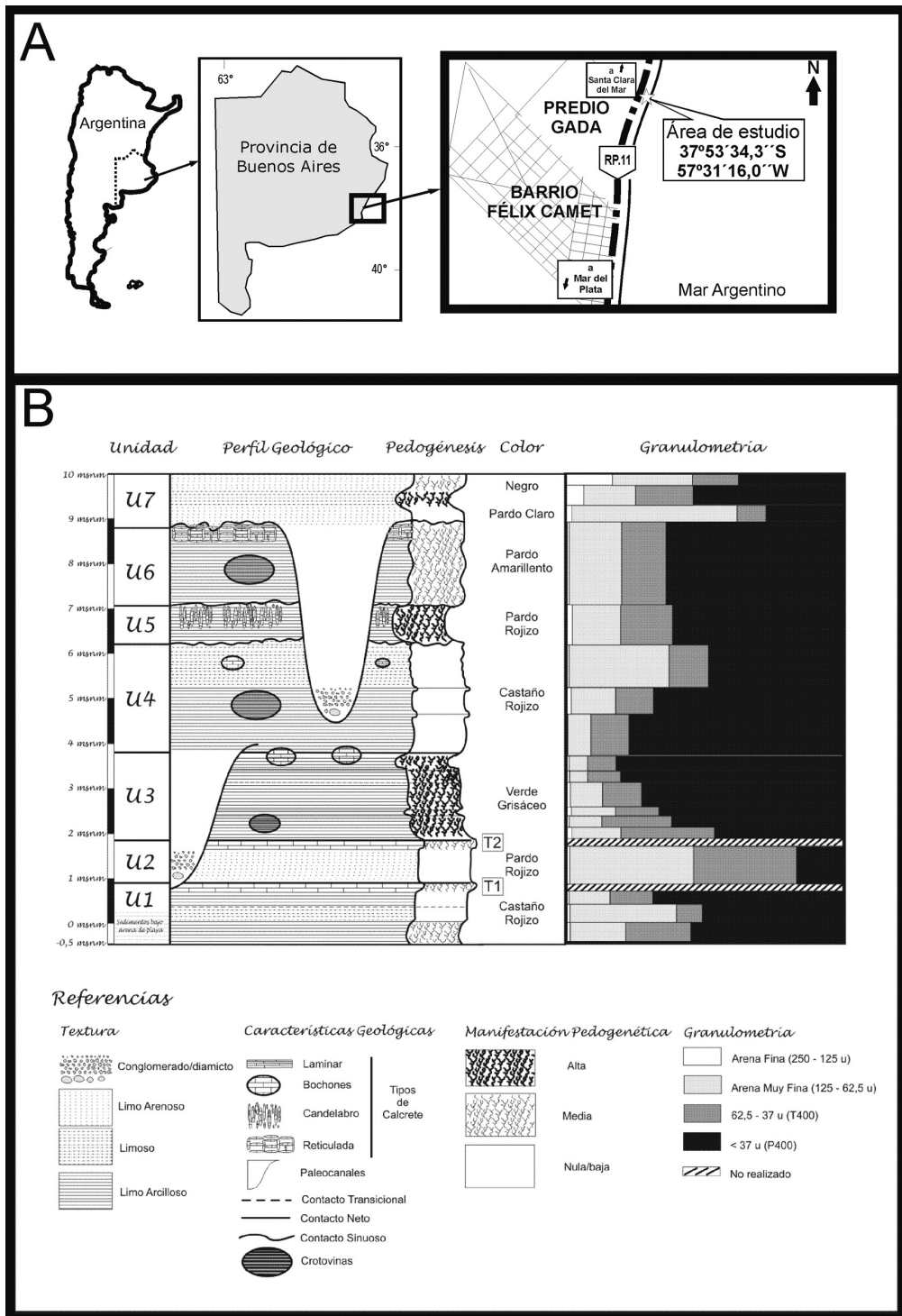


Figura 1. A) Plano de localización del área de estudio en Camet.

B) Unidades establecidas (U1-U7) en el perfil geológico de Camet, texturas y estructuras, diferenciación de horizontes pedogenizados y granulometría mediante gráfico de barras.

En aspecto novedoso, en el sentido de aportar datos confiables de registros paleomagnéticos, lo constituyen las mencionadas costras calcáreas. Debido a que las costras calcáreas de Camet, presentaron valores relativamente elevados de susceptibilidad, se extrajeron bloques orientados de dos niveles distintos (T1 y T2) (Figura 2). Para extraer los bloques orientados de tosca se utilizó brújula brunton, masa y cortafierro.

En el laboratorio, mediante broca de 1" se obtuvieron testigos cilíndricos de 25 mm de diámetro, luego se midieron las direcciones magnéticas del mismo modo que en las muestras de sedimentos detríticos (Figura 2).

Todas las muestras fueron medidas en el Área de Paleomagnetismo del LEMIT mediante un magnetómetro rotativo Minispin de la empresa Molspin Ltd. En una primera etapa se midieron

las magnetizaciones remanentes naturales (MRN) de todas las muestras y luego se efectuó la desmagnetización por campos magnéticos alternos (CMA) linealmente decrecientes, mediante un desmagnetizador de la misma empresa. El proceso de "lavado magnético" se realizó a partir de campos bajos de 2,5 militesla (mT) a los fines de evitar la destrucción de la muestra y hasta campos pico que variaron, según los casos, entre 50 y 80 mT. Es decir, las muestras con mayor contenido en titanomagnetitas requirieron campos más bajos para alcanzar el "end point" en el diagrama de Zijderveld, por ello se las considera "blandas" desde el punto de vista paleomagnético, en tanto que en las muestras en las que se incrementó la coercitividad de la remanencia (duras), fue necesario aplicar campos más elevados. El comportamiento magnético en este último caso se relaciona con el efecto que produce la presencia de minerales de hierro más oxidados, del tipo

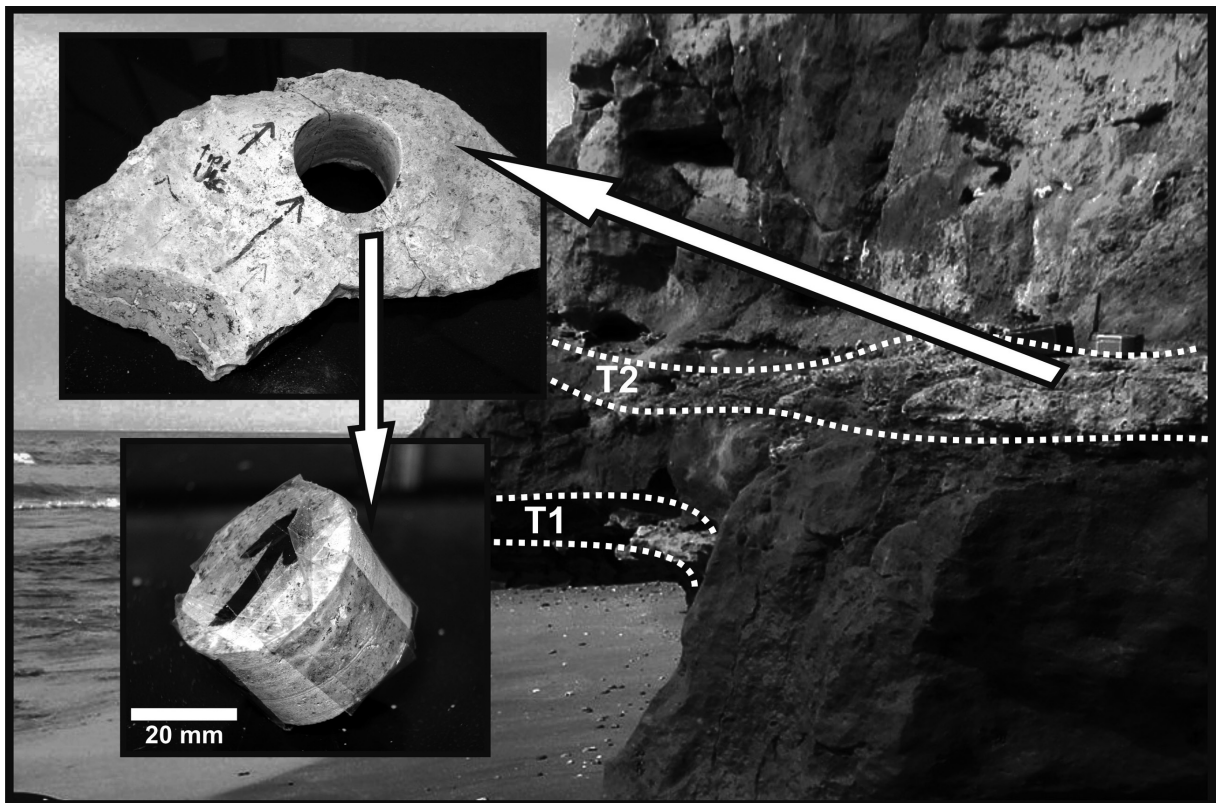


Figura 2. Costras calcáreas del perfil geológico, bloques orientados y testigos obtenidos para medición de las direcciones paleomagnéticas.

hematita. Algunas muestras evidenciaron ser portadoras de fuerzas coercitivas muy elevadas por lo que los campos desmagnetizantes fueron de 100 y 120 mT (militesltas).

La susceptibilidad magnética volumétrica fue tomada en el campo con un susceptibilímetro marca Bartington MS2 con sensor MSF. Se realizaron tres mediciones por punto, a una equidistancia entre puntos de 5 y 30 cm, luego se consignó el valor promedio de las mediciones.

Los parámetros de magnetismo ambiental son medidos en el laboratorio de física Arroyo Seco de la UNICEN (Tandil) y comprende la medición de susceptibilidad másica (χ) en alta y baja frecuencia a los fines de extraer el valor del factor susceptibilidad dependiente de la frecuencia. Actualmente se realizan mediciones de magnetismo remanente isothermal (MRI), coercitividad de la remanencia (Hcr) y magnetización remanente anhística (MRA), los resultados forman parte de futuras contribuciones, donde también se incorporarán datos provenientes del análisis mineralógico, del análisis mediante SEM-EDAX, por D_{rx} y mediante Fluorescencia de Rx. El análisis granulométrico realizado hasta el presente se refirió a la utilización de tamices (T120, T230, T400), previa eliminación de materia orgánica y carbonatos mediante H_2O_2 y HCl respectivamente.

PERFIL GEOLÓGICO

La sucesión estudiada (Figura 1B), corresponde a sedimentos continentales loessoides en facies depositacionales (eólicas, fluviales y lacustres) y facies postdepositacionales (paleosuelos y toscas). Según interpretaciones de Teruggi e Imbellone [24] y también de Zárate [25], estas secuencias sedimentarias costeras han sido afectadas por distintos procesos erosivos en los que se destaca la presencia de superficies de erosión generadas por paleocanales [26].

El perfil geológico es de 10,50 m y se dividió en siete unidades mayores (U1 – U7), individualizadas

en base a discontinuidades que sugieren cambios en las condiciones paleoambientales. Las unidades pueden estar compuestas de sub-unidades separadas por contactos transicionales pero no necesariamente limitadas por discontinuidades litológicas.

Las observaciones de campo resumidas en forma gráfica en la misma figura indican las unidades diferenciadas. Los sedimentos más antiguos de la base corresponden a U1, están parcialmente cubiertos por arena de playa y presentan un espesor de 1,30 m. Está integrada por una alternancia de limos arcillosos masivos, loessoides, color castaño rojizo. Durante la pleamar la unidad queda parcialmente cubierta por agua, por lo que se encuentra muy sometida a la erosión generada por las olas. En la parte cubierta por arenas de playa presenta estructuras prismáticas de origen pedogenético, esto pudo comprobarse mediante la realización de una excavación con pala. La U1 culmina con un nivel de tosca con estructura en venas, laminada, de apreciable continuidad lateral (T1). La unidad designada como U2 corresponde a una sucesión de limos arenosos, con nódulos de arcilla en la base. Presenta abundantes concreciones de Fe-Mn que adquieren mayor tamaño hacia el techo, donde aumentan su concentración. En el tope se encuentra un nivel de tosca laminar de apreciable continuidad lateral (T2), que en parte es cortado, al igual que toda la unidad, por paleocanales. La U3, cuya extensión lateral (sólo interrumpida por paleocanales), es de unos 2 kilómetros, sigue el rumbo NE-SO de la costa. Corresponde a una sucesión de paleohorizontes Btg, arcillo-limosos, de color verde grisáceo a gris violáceo, con tonalidades verde blanquecinas en la parte superior.

La U4, en contacto neto sobre la anterior, está integrada por sedimentos arcillo limosos a limosos. Están dispuestos en tres capas tabulares de color rojo oscuro a castaño rojizo cuya continuidad lateral se encuentra interrumpida por una gran cantidad de paleocanales. No se pudo constatar algún sector de esta unidad que no haya sido

afectada por la dinámica paleofluvial.

La U5, en discordancia erosiva sobre U4, corresponde a un paleosuelo limo arcilloso con espesores que oscilan entre 0,7 y 1 m. Es de color castaño rojizo, presenta estructura de pequeños prismas de volumen menor a 1 cm^3 cuyas caras poseen pátinas de Fe y Mn de color negro-azuladas. Finalmente, por sectores, la unidad se encuentra coronada por concreciones de tosca en candelabro que se asociarían a procesos de pedogénesis en períodos de sequía [25]. Su continuidad lateral se encuentra muy afectada por paleocanales.

En discordancia erosiva sobre U5 se encuentra U6, compuesta por sedimentos limo-arcillosos de color castaño claro, una marcada reacción al HCl evidencia la presencia de carbonatos dispersos, asociados a procesos pedogenéticos. El techo de la unidad, en ocasiones se encuentra coronado por precipitaciones carbonáticas con estructura en enrejado (calcaire cloisonné, según D'Orbigny). Al igual que las unidades subyacentes se encuentra afectada por abundantes paleocanales que interrumpen su continuidad lateral.

Finalmente, U7 comprende sedimentos loésicos, limo-arenosos, en los que se desarrolla el suelo actual. Estos sedimentos cubren la superficie de erosión y rellenan los paleocanales suavizando la topografía. El material es de baja consistencia, macizo, presenta abundantes oquedades labradas por aves.

En algunas zonas, parte del suelo actual se encuentra decapitado y/o sepultado por sedimentos y restos de origen netamente antrópico.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

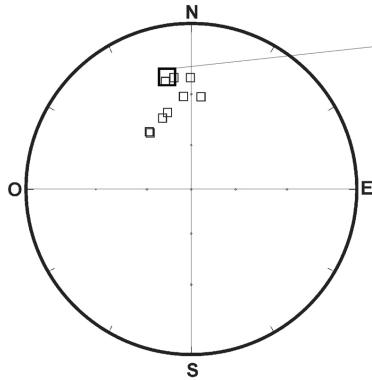
Del análisis granulométrico (Figura 1B) surge que los sedimentos estudiados son de granulometría fina a muy fina. El intervalo más grueso correspondiente a la fracción arena fina (0,25 – 0,125 mm), alcanza el 16% en los 60 cm superiores del perfil, en el resto del mismo el porcentaje es muy bajo (<3%).

La fracción arena muy fina (0,125 – 0,0625 mm.) varía entre 6 y 60%, superando el 40% en U2 y U7, la fracción que en parte corresponde a limo grueso (0,062 – 0,037 mm) oscila entre 10 y 40%. Como se indica en el perfil granulométrico de la Figura 1B la fracción por debajo de 37 micrones (limos), salvo en algunos niveles, es netamente dominante variando entre 26 y 89%.

Los datos paleomagnéticos se representaron mediante red estereográfica, curvas de desmagnetización y diagramas de Zijderveld o "end-point". Tres cuartas partes del perfil geológico presentan direcciones de polaridad normal desde el suelo actual hasta una profundidad de 8 metros que fue asignada al cron Brunhes (<0,78 Ma.). Las direcciones de polaridad reversa que se determinaron en el tramo basal del perfil geológico fueron atribuidas al cron Matuyama (>0,78 Ma.).

El proceso de adquisición de remanencia magnética en las costras calcáreas se relaciona con el magnetismo remanente natural (MRB) adquirido por mezclas de cemento Portland con distintas razones a/c (Figura 3A). Las muestras analizadas de cemento Portland se dejaron fraguar durante 7 días y luego se extrajeron testigos orientados con broca de 1" y se midieron en el laboratorio [27]. Estas direcciones, como es lógico esperar corresponden al campo magnético terrestre actual (CMT) y se producen gracias a la presencia de partículas hierro alfa en el mismo cemento Portland, que quedan bloqueadas en la dirección del campo magnético una vez secado y compactado el material. En condiciones naturales, en las costras calcáreas, con matriz de minerales detríticos entre los que se encuentra la magnetita, las aguas sobresaturadas en CaCO_3 precipitan en los intersticios que dejan los granos y luego por el secado se produce el bloqueo de la magnetita en la dirección del campo magnético terrestre (CMT) en el momento de la compactación (tosca). Las muestras de costras calcáreas de la Figura 3B, a diferencia de lo que ocurre con un cemento portland fraguado en CMT (como el actual), presentan direcciones de polaridad reversa (hemisferio sur),

A Muestras paleomagnéticas en cemento Portland



CMT en la ciudad de La Plata

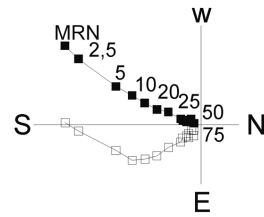
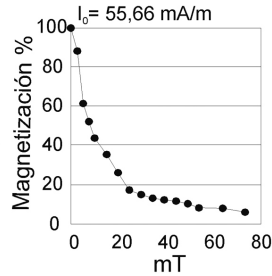
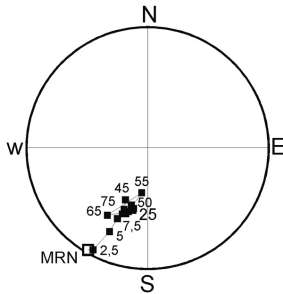
Declinación: 354,3°

Inclinación: -36,3°

Intensidad: 23,7 μ T

B Muestras paleomagnéticas en calcretes

T1



54

T2

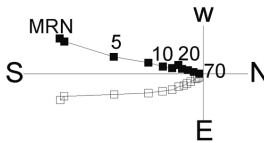
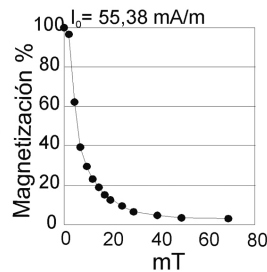
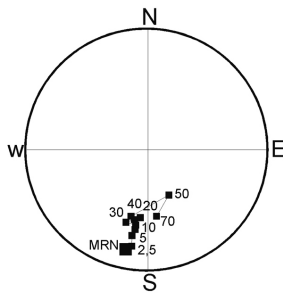


Figura 3. A) Red estereográfica correspondiente a direcciones (declinación e inclinación) obtenidas en muestras de cemento portland (pasta). Las direcciones se corresponden con el CMT en la ciudad de La Plata $D = -5,7^\circ$ e $I = -36,3^\circ$. Datos proporcionados por el Observatorio de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP.

B) Redes estereográficas, curvas de desmagnetización y diagramas de Zijderveld correspondientes a muestras de costras calcáreas (T1 y T2) del perfil de Camet.

desde el inicio del proceso de desmagnetización. Cabe destacar que T1 y T2 son muestras distintas pero el comportamiento frente al “lavado” magnético en ambas es similar y las direcciones son de polaridad reversa hasta el final del proceso, como se indica en la red estereográfica.

El valor de intensidad inicial (I_0) en ambas capas de tosca fue muy similar, para T1 $I_0 = 55,66$ mA/m y para T2 $I_0 = 55,39$ mA/m. Las curvas de desmagnetización son asintóticas y su comportamiento corresponde al de las titanomagnetitas.

En el diagrama de Zijderveld se observa que con un campo pico de 70 a 75 mT, ambas componentes (V y H), se aproximan al centro del sistema. En T1 se presenta una componente viscosa que es eliminada a campos bajos de 2,5 mT y luego las direcciones son muy estables para las distintas etapas de “lavado”. El 10% de I_0 se alcanza a 25 mT de campo pico.

En la Figura 4 se indican los valores de susceptibilidad volumétrica, las direcciones de magnetización remanente características y la intensidad del magnetismo remanente natural. A la derecha de la misma figura, la escala de magnetopolaridad correspondiente al perfil de Camet.

Los valores mínimos de susceptibilidad volumétrica se registraron en la U3 (30 a 60×10^{-5} SI) que es una sucesión de paleosuelos hidromórficos, los máximos se obtuvieron en las unidades con menor desarrollo pedogenético (U2, U4) y también en U7 que comprende al suelo actual, con valores que oscilaron entre 400 y 1000×10^{-5} SI. Debido a este incremento notable en la parte superior del perfil se realizan estudios mediante lupa, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido de las fracciones arena fina y arena muy fina. En una primera aproximación se observó que las fracciones se diferencian por la morfología. La fracción arena fina es más redondeada y la fracción arena muy fina es angulosa, por otra

parte el aumento de susceptibilidad magnética en esos sectores indica un aumento significativo de la fracción ferrimagnética.

En el IFAS de la UNICEN se midió la susceptibilidad en relación a la masa en alta (4.700 Hz.) y baja (470 Hz.) frecuencia y se calculó el factor $F = (\chi_{470 \text{ Hz}} - \chi_{4700} / \chi_{470 \text{ Hz}}) \times 100$ a los fines de estimar la contribución superparamagnética. Los valores más elevados de susceptibilidad másica en baja frecuencia (χ_{BF}) se obtienen en los sedimentos menos afectados por pedogénesis ($\chi_{BF} = 210 \text{ m}^3/\text{kg}$), los horizontes paleoedáficos presentan valores algo inferiores ($\chi_{BF} = 64 \text{ m}^3/\text{kg}$) y los horizontes hidromórficos los valores más bajos ($\chi_{BF} = 33 \text{ m}^3/\text{kg}$).

A juzgar por los datos obtenidos de F se infiere que la presencia de minerales superparamagnéticos es escasa y no se constata marcada diferencia del registro de este parámetro a lo largo del perfil. En los sedimentos loessoides arenosos basales, los valores de F oscilan entre 1,79 y 3,02%, en los sectores medios del perfil en capas tabulares rojizas los valores variaron entre 1,77 y 5,81% y en los sedimentos limo arenosos del tramo superior entre 1,54 y 3,04%. Los registros más bajos se obtuvieron en horizontes gley ($F = 0,9\%$).

DISCUSIÓN

La sucesión de materiales loessoides y paleosuelos de Camet evidencia una alternancia de condiciones paleoclimáticas y paleoambientales que han favorecido la acumulación y la formación de suelos y por otro lado la erosión.

Los períodos húmedos, con bajo aporte sedimentario y baja tasa de erosión, permitieron el desarrollo de horizontes paleopedológicos en el material loessoide. En algunos sectores esto se presenta bajo la forma de una sucesión de horizontes hidromórficos que sugieren la existencia de una paleodepresión topográfica, labrada por encima del límite BM. Por otra parte adquieren relevancia las profundas y poco distanciadas incisiones

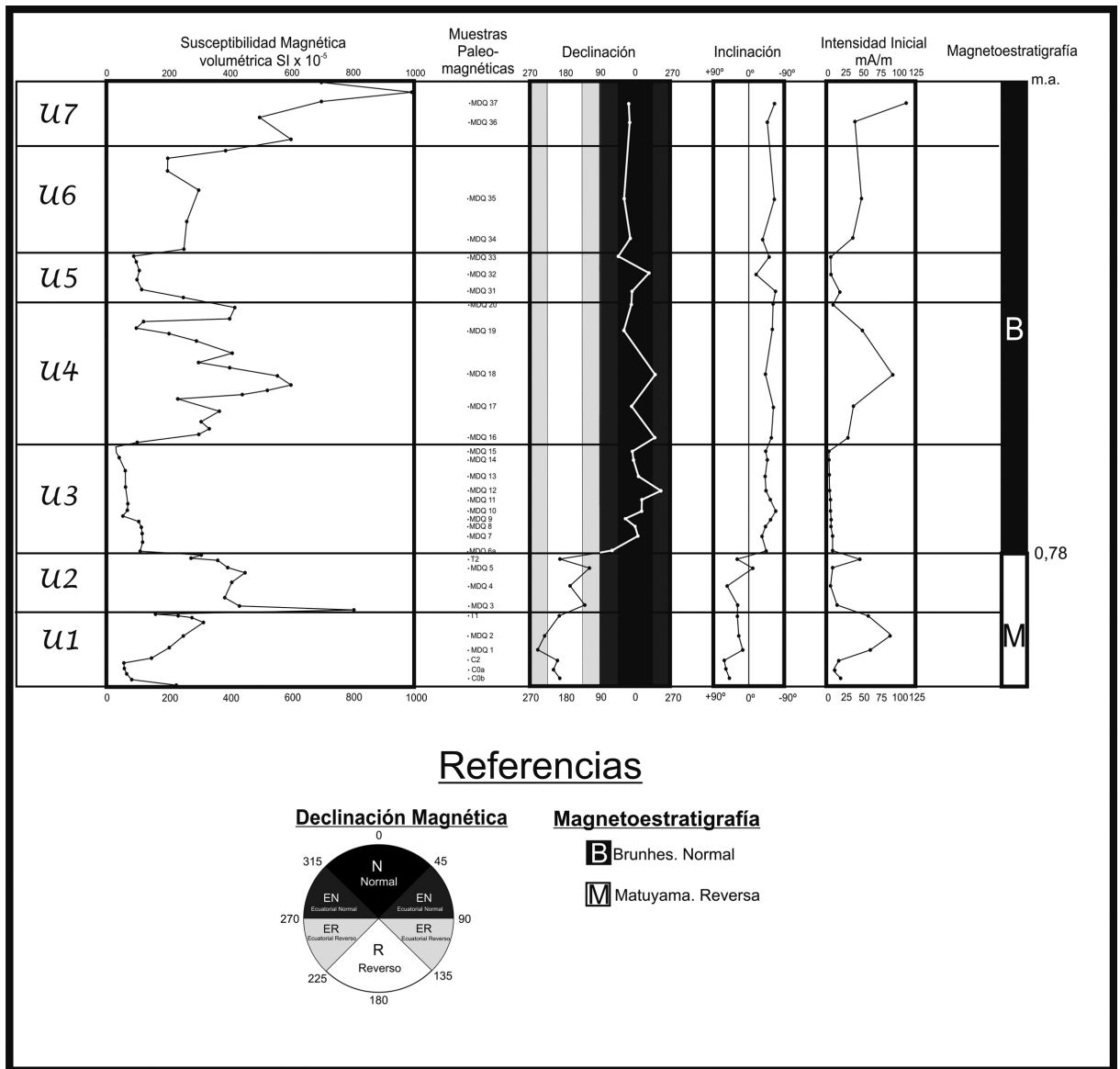


Figura 4. Susceptibilidad volumétrica, declinación, inclinación, intensidad del mrn y zonación de magnetopolaridad de Camet.

fluviales (paleocanales), rellenas por materiales de distinta granulometría (gravas, arenas, limos, arcillas), que provienen de ciclos de sedimentación posteriores y que pueden cortar a varias unidades subyacentes. Este fenómeno estaría en relación con variaciones eustáticas que probablemente tuvieron lugar en la región en distintos momentos del Plio-Pleistoceno.

CONCLUSIONES

Las muestras paleomagnéticas de calcretes, que se incorporan al presente trabajo, presentan un comportamiento frente al “lavado” magnético muy estable y similar al obtenido con cemento Portland. En dicho material industrial las direcciones del CMT se retienen durante el fraguado, cuando el material pierde agua, al compactarse, las

partículas quedan inmovilizadas en la dirección del CMT. En las costras calcáreas el fenómeno es semejante en el sentido de reflejar un proceso de secado en condiciones de relativa estabilidad, no disturbadas, en el cual las aguas sobresaturadas en bicarbonato precipitan como CaCO_3 entre los poros del material detrítico que es portador de los minerales magnéticos.

Del análisis paleomagnético de las muestras surge que existe una clara zonación magnetoestratigráfica. Los sedimentos de U3 a U7 son de polaridad normal y se asignan al cron Brunhes (<0,78 Ma), las unidades U1 y U2 presentan direcciones de polaridad reversa y se asignan al cron Matuyama (>0,78 Ma). Esto se corrobora por la existencia de costras calcáreas que brindan muestras con direcciones paleomagnéticas características y estables.

Los valores promedio más elevados de susceptibilidad másica, se obtienen en los sedimentos menos afectados por pedogénesis ($210 \text{ m}^3/\text{kg}$), los paleosuelos presentan valores promedio algo inferiores ($64 \text{ m}^3/\text{kg}$) y los horizontes hidromórficos los valores más bajos ($33 \text{ m}^3/\text{kg}$). Por otra parte el factor susceptibilidad dependiente

de la frecuencia ($F = \frac{HF - LF}{LF} \times 100$) que se incrementa cuando aumenta la contribución de nanominerales SP (superparamagnéticos) se incrementa en los limos U4, en tanto que los horizontes hidromórficos (U3) presentan los valores más bajos. El modelo de comportamiento de todos los parámetros medidos se corresponde con el establecido en trabajos realizados en el norte de la provincia de Buenos Aires e indican las variaciones paleoclimáticas para el Pleistoceno (Bidegain et al., 2005b). La intensidad del magnetismo remanente natural (I_0) varió entre 2,29 y 107,78 mA/m, con valores máximos en las unidades U1, U4 y U7. Estimamos que la magnetoestratigrafía establecida será de utilidad para los estudios bioestratigráficos a raíz de la existencia de restos de mamíferos fósiles del Pleistoceno en los acantilados de la zona.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Leandro Remón por la colaboración brindada en el trabajo de campo al apoyo económico brindado por el LEMIT para los viajes de campaña y al IFAS de la UNICEN por las facilidades brindadas para medir los parámetros magnéticos.

REFERENCIAS

- 1.- Bidegain, J.C., Osterrieth, M.L., Van Velzen, A.J., Rico, Y. (2005). Geología y registros magnéticos entre arroyo La Tapera y Santa Clara del Mar, Mar del Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60:599-604.
- 2.- Bobbio, M.L., Devincenzi, S.M., Orgeira, M.J. y Valencio, D.A. (1986). La Magnetoestratigrafía del "Ensenadense" y "Bonaerense" de la ciudad de La Plata (excavación nuevo teatro Argentino): su significado geológico. *Asociación Geol. Arg. Rev.* XLI (1-2):7-21.
- 3.- Bidegain J.C. (1991). Sedimentary development, magnetostratigraphy and sequence of events of the late Cenozoic in Entre Ríos and surrounding areas in Argentina. Ph. D. Thesis. Paleogeophysics and Geodynamics, Departament of Geologics and Geochemistry, Stockholm University, Stockholm, Sweden, ISBN-91-7146-915-X. Akademityck AB, Edsbruk, pags. 1-128.
- 4.- Nabel, P., Camilion, M. C., Machado, G. A., Spiegelman, A.T., Mormeneo, L. (1993). Magneto y litoestratigrafía de los sedimentos pampeanos en los alrededores de la ciudad de Baradero, Pcia. de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48(3-4):193-206.
- 5.- Thompson, R., Oldfield, F. (1986). *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin, London, 227 pp.

- 6.- Kemp, A.R., Derbyshire, E., Xingmin, M. (1999). Comparison of proxy records of Late Pleistocene climate change from a high-resolution loess-palaeosol sequence in north-central China. *Journal of Quaternary Science* 14:91-96.
- 7.- Bidegain, J.C., Evans, M.E., van Velzen, A.J., (2005). A magnetoclimatological investigation of Pampean loess, Argentina. *Geophysical Journal International*. 160:55-62.
- 8.- Ameghino, F. (1908). Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. *Anales Museo Nacional de Buenos Aires. Serie 3ª. X* : 843-428.
- 9.- Schnack, E.J., Fasano, J.L. Isla, F.I. (1982). The evolution of Mar Chiquita lagoon coast, Buenos Aires province, Argentina. En Colquhoun, D.J. ed., *Holocene Sea Level Fluctuations, Magnitude and Causes*. IGCP-INQUA, Columbia S.C. U.S.A.:143-155.
- 10.- Fasano, J. (1991). Geología y geomorfología. Región 3, Faro Querandí-Mar de Cobo, Provincia de Buenos Aires. Informe final para la evaluación del recurso hídrico subterráneo de la región costanera atlántica de la provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones – Universidad de Mar del Plata. 118 p.
- 11.- Frenguelli, J. (1950). Rasgos generales de la morfología geológica de la provincia de Buenos Aires. *LEMIT* 2. 33:1-72.
- 12.- Frenguelli, J. (1957). Neozoico en Geografía de la República Argentina, GAEA, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos 2:1-218.
- 13.- Martínez, G.A. (2001). Geomorfología y geología del Cenozoico superior de las cuencas de los arroyos Los Cueros y Seco, vertiente nororiental de las Sierras Septentrionales, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Tomo 1 y 2. 348 p. Inédito.
- 14.- Bidegain, J.C., Gómez Samus, M.L. (2010). The Brunhes/Matuyama boundary and rock magnetic parameters in Pleistocene loess deposits of Camet, Mar del Plata (Argentina). *International Symposium on the Geology and Geophysics of the Southern Hemisphere, Mar del Plata, Argentina. Bolletino di Geofisica Vol. 51* pp 181 – 183.
- 15.- Bidegain, J.C., Gómez Samus, M.L., Remón, L.E. (2011). Nuevas evidencias del límite Brunhes-Matuyama en los acantilados costeros del norte de Mar del Plata, Partido de General Pueyredón. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén. Actas electrónicas.
- 16.- Orgeira, M.J. (1987). Estudio paleomagnético de sedimentos del Cenozoico tardío en la costa lántica bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42:362-376.
- 17.- Ruocco, M.I. (1990). Paleomagnetic analyses of continental deposits of the last 3 Ma from Argentina: Magnetostratigraphy and fine structures of reversals. Tesis doctoral. Department of Geology and Geochemistry, University of Stockholm. 100p.
- 18.- Orgeira, M.J., Valencio, D. (1984). Estudio paleomagnético de los sedimentos aflorantes en Barranca de los Lobos, provincia de Buenos Aires. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 4:162-173.
- 19.- Orgeira, M.J. (1990). Paleomagnetism of late Cenozoic fossiliferous sediments from Barranca de los Lobos (Buenos Aires Province, Argentina). The magnetic age of the South America land–mamal age. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 64:121-132.
- 20.- Bidegain J.C., Rico, Y. (2012). Magnetostratigraphy and magnetic parameters of a sedimentary sequence in Punta San Andres, Buenos Aires, Argentina. *Quaternary International* 253:91-103.
- 21.- Soilbelzon, E. (2007). Los Mamíferos del Ensenadense (Pleistoceno inferior – medio) del Este de la Región Pampeana, con énfasis en los Xenarthra. Bioestratigrafía, diversidad y correlaciones biogeográficas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 237p. Inédito.

- 22.- Prevosti, F.J., Tonni, E.P., Bidegain, J.C. (2009). Stratigraphic range of the large canids (Carnivora, Canidae) in South America, and its relevance to quaternary biostratigraphy. *Quaternary International* 210:76-81
- 23.- Bidegain, J. C., Rico Y., Bartel, A., Chaparro, M.A.E., Jurado S.S. (2009). Magnetic parameters reflecting pedogenesis in Pleistocene Loess deposits of Argentina. *Quaternary International* 209: 175-186.
- 24.- Teruggi, M.E., Imbellone, P.A. (1987). Paleosuelos loésicos superpuestos en el Pleistoceno superior - Holoceno de la región de La Plata. Provincia de Buenos Aires. Argentina: *Ciencia del Suelo*. 5:175–188.
- 25.- Zarate, M.A. (1989). Estratigrafía y geología del Cenozoico tardío aflorante en los acantilados marinos comprendidos entre playa San Carlos y el arroyo Chapadmalal, partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, U.N.L.P., 222p. Inédito.
- 26.- Teruggi, M.E., Andreis, H.A., Mazzoni, M.M., Dalla Salda, L.H., Spalletti, L.A. (1974). Nuevos criterios para la estratigrafía del cuaternario de las barrancas de Mar del Plata – Miramar. *Anales del LEMIT. Serie 2*, 268:135-148.
- 27.- Bidegain, J.C., Sinito, A.M., Rodriguez, M.E. (1999). Remanent magnetization in portlan-cement-based materials *Studia Geophysica et Geodaetica*. 43:289-302.