



REGISTROS PALEOMAGNÉTICOS Y MAGNETISMO PALEOAMBIENTAL EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

J.C. Bidegain¹, S.S. Jurado¹

¹ LEMIT-CIC, Calle 52 e/121 y 122, 1900. La Plata, Argentina.

RESUMEN

Los sedimentos del Pleistoceno expuestos en una cantera (“Tosquera San Pedro”) en las proximidades de la localidad del mismo nombre, fueron estudiados desde el punto de vista magnetoestratigráfico y paleoambiental. La sucesión sedimentaria estudiada está integrada por sedimentos tipo loess y horizontes paleopedológicos. La unidad más joven corresponde a los sedimentos del post pampeano (La Postrera), que apoyan en discordancia sobre sedimentos de la Formación Buenos Aires. En los sectores medio y basal se identifican las unidades correspondientes a la Formación Ensenada. La parte superior presenta direcciones de polaridad normal y se asigna al cron Brunhes (< 0.78 Ma), las unidades más antiguas se asignan al cron Matuyama superior (> 0.78 Ma) y al Jaramillo (0.99 Ma). Los ciclos climáticos, relativamente más secos presentan picos de susceptibilidad de campo por encima de 300×10^{-5} SI y los relativamente más húmedos presentan valores por debajo de 100×10^{-5} SI.

Palabras clave: Pleistoceno, loess, magnetoestratigrafía, paleoambientes.

ABSTRACT

Pleistocene sediments exposed in a quarry (“Tosquera San Pedro”) in the surroundings of the town of the same name, were studied by applying paleomagnetism and environmental magnetism. The sequence exposed is integrated by loess-like sediments and paleopedological horizons. The youngest unit corresponds to the so called postpampean sediments (La Postrera) disposed discordantly on the Buenos Aires Formation. The Ensenada Formation is represented by the layers exposed in the middle and basal sectors of the profile today.

The upper part of the geological section shows normal polarity directions that were assigned to Brunhes Polarity Chron (< 0.78 Ma), older units were assigned to upper Matuyama (> 0.78 Ma) and Jaramillo (0.99 Ma). The sediments of climate arid cycles show susceptibility peaks above 300×10^{-5} SI, conversely, sediments of more humid climate cycles show values below 100×10^{-5} SI.

Keywords: Pleistocene, loess, magnetostratigraphy, paleoenvironments.

Introducción

Los sedimentos tipo loess y paleosuelos expuestos en los distintos frentes de explotación de una cantera (Tosquera San Pedro $33^{\circ} 42' 50''$ S y $59^{\circ} 38' 8''$ W), situados a la margen derecha del Río Paraná permiten establecer zonaciones de magnetopolaridad. Las sucesiones sedimentarias del Pleistoceno presentan polaridades normales y reversas asignables al cron Brunhes (< 0.78 Ma) y parcialmente al cron Matuyama (> 0.78 Ma), como ha sido demostrado en diversos trabajos (Bobbio *et al.*, 1986, Orgeira, 1987, 1990, Bidegain, 1991, Nabel *et al.* 1993). En trabajos más recientes (Bidegain *et al.*, 2009), también se indicó que el límite BM (Brunhes/Matuyama) coincide generalmente, aunque no exactamente, con un paleosuelo de polaridad reversa determinado en la cantera de Hernández ($34^{\circ} 54' 28''$ Lat. S, $58^{\circ} 00' 41''$ Long. W) en los alrededores de La Plata (Bidegain, 1991).

A fin de realizar interpretaciones de las condiciones paleoambientales, los valores de los parámetros magnéticos obtenidos mediante un magnetómetro de muestra vibrante (VSM) se relacionaron con los de variación de la concentración de los óxidos de los elementos, tales como Na_2O , K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , medidos mediante fluorescencia de RX.



Metodología

En el perfil geológico se diferenciaron seis unidades estratigráficas (U1-U6), separadas por discontinuidades litológicas con contactos netos entre las mismas. Dentro de estas unidades se determinaron paleosuelos y horizontes calcáreos. Se extrajeron 70 muestras paleomagnéticas y se midió la susceptibilidad volumétrica de campo. Paralelamente se extrajeron muestras no orientadas para medición de parámetros magnéticos en el laboratorio y sedimento (1/2 kg) para estudios sedimentológicos, mineralógicos y químicos. El magnetismo remanente natural (m_{rn}) de todas las muestras se midió mediante un magnetómetro rotativo Molspin y se efectuó la desmagnetización por campos magnéticos alternos (cma) con un equipo desmagnetizante de la misma empresa. Debido a los bajos valores de intensidad inicial (I°) de algunas muestras, se decidió realizar la desmagnetización de las muestras a partir de campos (cma) de 2.5 mT. El magnetómetro fue calibrado con muestra patrón (776 mA·m⁻¹) y cada 5 mediciones se realizó un control de calibración.

Los datos paleomagnéticos se procesaron con el programa Super-IAPD y se representaron mediante redes estereográficas, curvas de desmagnetización y diagramas “*end point*”. Los parámetros magnéticos se obtuvieron mediante un magnetómetro de muestra vibrante (VSM) que brinda los ciclos de histéresis. El ciclo proporciona los valores de saturación (M_s), remanencia (M_r), campo coercitivo (H_c) y coercitividad de la remanencia (H_{cr}), parámetros que luego se utilizan en la interpretación magnetoclimática. El análisis químico se realizó mediante un Espectrómetro de Fluorescencia de Rx marca SPECTRO IQ II, que brinda el porcentaje de los elementos presentes expresados como óxidos.

Análisis de los resultados

Se determinaron 6 capas (U1-U6) separadas por discontinuidades en un perfil de 13.20 m de espesor, las mismas están integradas por sedimentos loessoides con paleosuelos, niveles calcáreos y horizontes gley (fig. 1). La unidad superior (U1) que contiene al suelo actual (franco arcillo-limoso), está integrada por sedimentos finos limo-arcillosos correspondientes al postpampeano, y está separada de la U2 por una discordancia depositacional. La unidad U2 son limos con niveles edafizados y variaciones laterales gris verdosas que se relacionaron con ambientes paleolagunares. El contacto entre U2 y U3 es neto y marcado por la presencia de entoscamientos horizontales de escaso espesor (cm), la parte inferior de la U3 es un limo que en los niveles superiores de la misma es menos arenoso. Culmina en el tope con un horizonte Bt de 30 cm, lateralmente ha sido afectada por canales que subyacen al paleosuelo mencionado. Un nuevo nivel calcáreo separa a la unidad U3 de la U4; esta última, es limo-arcillosa y se caracteriza por la presencia de un paleosuelo conspicuo, de 1.30 m de espesor. La unidad U5 esta integrada por sedimentos franco arcillo-limosos, con bochones calcáreos posiblemente de origen pedológico y desarrollo de horizontes B y Btg en el tope, con abundantes pátinas de óxidos ferro-manganesíferos, la base es un limo masivo con concreciones calcáreas (BCK). La U6 es limo- arcillosa, presenta concreciones carbonáticas con cemento silíceo, la parte expuesta actualmente es de 1.30 m.

En la Figura 1 se consigna la susceptibilidad volumétrica de campo y los valores de declinación (D) e inclinación (I) características; en relación al perfil geológico, la columna magnetoestratigráfica se indica a la derecha de la misma figura. Los sedimentos del post pampeano (U1), los de la Formación Buenos Aires (U2) y los de la parte superior de la Formación Ensenada (U3) presentan direcciones predominantemente normales y se asignan al cron de magnetopolaridad Brunhes (< 0.78 Ma); parte de los sedimentos de la U4 y parte de la U5 son de polaridad reversa y se asignan al Matuyama superior (> 0.78 Ma). En la base del perfil (U6) se pudieron extraer muestras que presentaron direcciones de polaridad magnética normal y un nivel de baja I° (6 a 9 mA/m) que presenta direcciones anómalas, ese sector se asigna al subcron Jaramillo (0.99 Ma).

La distinta concentración de minerales magnéticos a lo largo del perfil proporciona variaciones en el valor de intensidad del m_{rn}, desde valores bajos de I° entre 2 - 4 mA/m hasta un máximo que supera los 90 mA/m. A la derecha, en la Figura 1b, se indica mediante redes, curvas y diagramas *end point* el comportamiento de

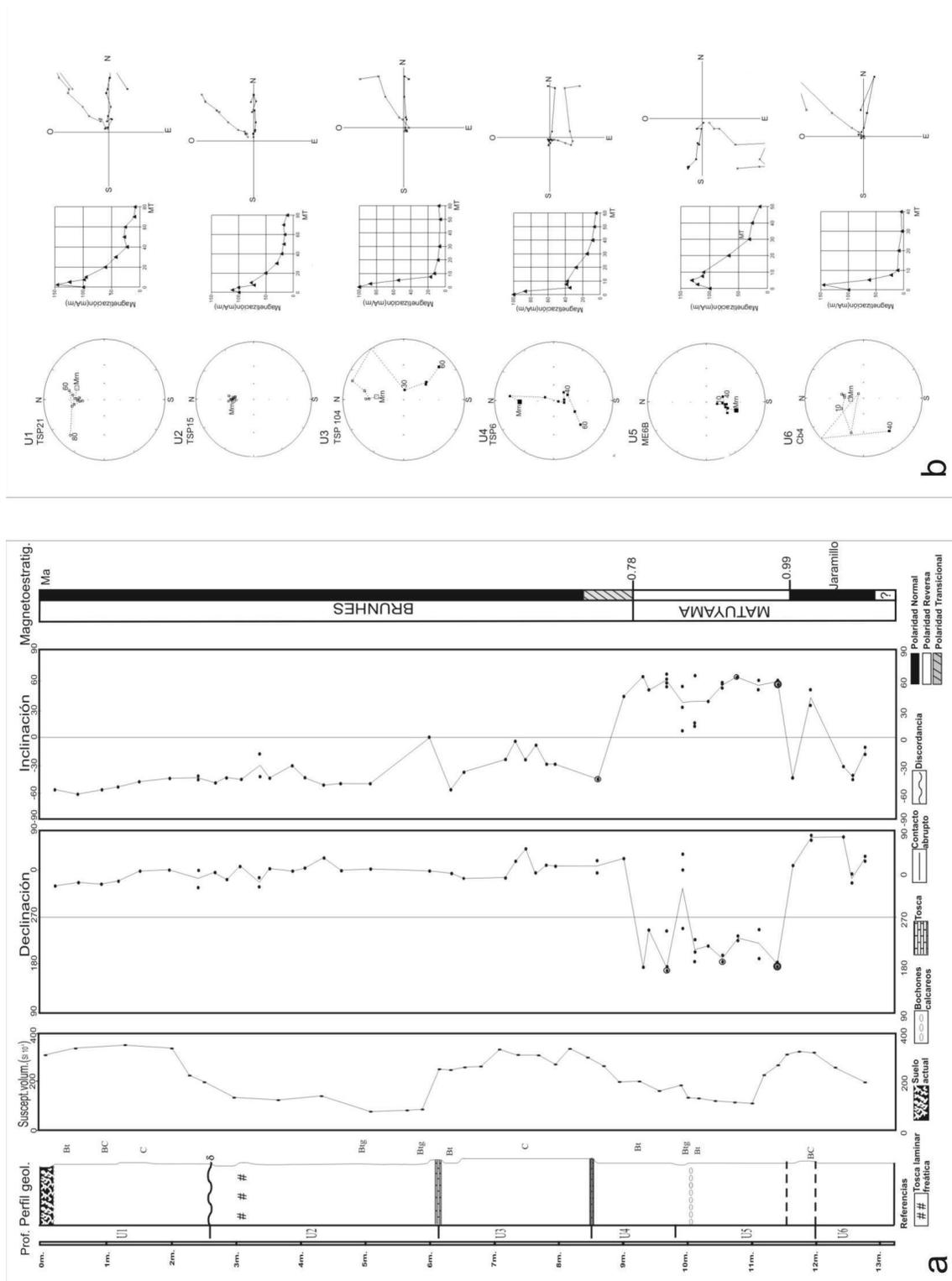
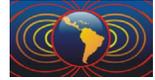


Figura 1. A. Perfil geológico de la cantera de San Pedro con unidades estratigráficas identificadas; susceptibilidad volumétrica y direcciones paleomagnéticas; hacia la derecha la columna magnetoestratigráfica. B. Comportamiento frente al lavado magnético de muestras representativas de los niveles estratigráficos.



algunas muestras representativas del perfil.

Las muestras TSP 21 y TSP15 corresponden a la zona de polaridad normal de la parte superior del perfil asignada a Brunhes (< 0.78 Ma), presentan componentes viscosas que son eliminadas a campos muy bajos de 2.5 a 5 mT; el comportamiento frente al lavado magnético de todo ese sector de polaridad normal es muy similar, independientemente de la intensidad inicial del mrn. La muestra TSP104 de la unidad 3, en la misma figura, presenta una inversión de las direcciones por encima de 30mT. La muestra TSP6 presenta una componente viscosa que es eliminada a 5 mT; luego de este campo pico aplicado hay un leve incremento de la intensidad debido a que se expone al “lavado” la componente principal, luego la caída es asintótica. En la red estereográfica se observa el cambio de signo de la polaridad, que en torno al 10 % de la I° (40 mT) presenta direcciones en el hemisferio sur y a campos mas elevados las mantiene. La muestra indicada como ME6B, de la unidad 5, presentó direcciones de polaridad reversa en todas las etapas de desmagnetización. Para el MRN, D = 234.2°, I = 65.7°, para un campo pico de 50 mT, D = 180.1°, I = 51°. A pesar de no cambiar el signo de la magnetización, presenta componentes secundarias de magnetización que son “lavadas” a 10 mT a partir de lo cual la caída de la intensidad hacia el origen en el diagrama “end point” indica la desmagnetización de la componente principal de la remanencia. La base del perfil (U6) presenta direcciones predominantemente normales de polaridad como se indica en la Figura 1b (CB4) correspondiente a la muestra extraída de los sectores con I° relativamente más elevada. Por debajo de estos sectores se obtuvieron muestras que presentan valores relativamente mas bajos de I° y que proporcionan direcciones anómalas. No se puede afirmar que en esos niveles estemos en presencia de una nueva transición (Jaramillo/ Matuyama Medio) al no poderse extraer muestras por debajo de los mismos por la presencia del nivel freático.

La susceptibilidad volumétrica de campo se indica en relación con el perfil geológico en la Figura 1a. La susceptibilidad másica en alta y baja frecuencia fue medida en todos los niveles muestreados para paleomagnetismo y se calculó el factor susceptibilidad dependiente de la frecuencia. Los valores máximos de susceptibilidad másica corresponden siempre a las capas menos afectadas por la pedogénesis ($154.6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) y los más bajos a los niveles más meteorizados ($24.83 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), el valor de F oscila entre un mínimo 1.6 % en niveles gley y un máximo (5.72 %) en un paleosuelo de la zona de polaridad reversa asignada a Matuyama superior lo cual indicaría que en esos niveles hay un incremento de la fracción SP. La saturación del magnetismo remanente isoterma (SIRM) se alcanza en todas las muestras en torno a las 300 mT y el campo inverso (back field) se ubica en torno de 30 mT, valores que se corresponden con las titanio-magnetitas, con bajo contenido en titanio. Los valores de Ms y Mr son consistentes con los de susceptibilidad (fig. 2), es decir, se incrementan en loess o loessoides menos meteorizados, la caída de estos valores se produce en paleosuelos, calcretas y principalmente en horizontes gley.

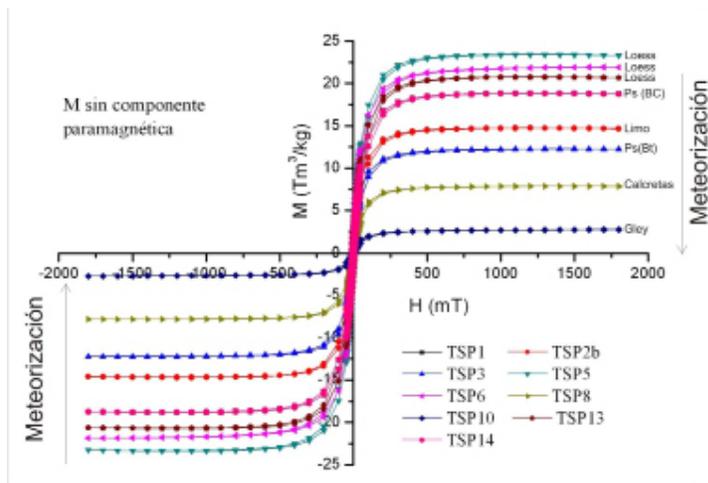


Figura 2. Ciclos de histeresis de muestras de la cantera de San Pedro, en relación con el grado de meteorización



La concentración de los elementos químicos, salvo en algunos niveles de incremento o decrecimiento relativo, es bastante constante a lo largo del perfil. Sobre esta base interpretamos que la meteorización, en mayor o menor grado, ha estado siempre afectando al depósito original (loess). La curva de distribución del hierro total no refleja totalmente el diseño de la curva de susceptibilidad, ello permite confirmar lo establecido en trabajos anteriores (Bidegain 1998), pues la variación de la susceptibilidad magnética (50×10^{-5} SI hasta 300×10^{-5} SI), está principalmente controlada por la concentración de Fe^{+2} , por efecto de la meteorización diferencial del conjunto de minerales presentes, incluidos los magnéticos. Para una mejor visualización de los resultados, la base del triángulo de la Figura 3, corresponde al 40% de la concentración, por lo que el valor de cada muestra analizada varía entre 40 y 100 %. El vértice A es el del material más meteorizado, corresponde a los materiales asociados a caolinita-gibbsita. La línea de los feldespatos tiene un valor de 50% con plagioclasas en un extremo y feldespato potásico en el otro. La línea del 75% corresponde a las arcillas derivadas de la meteorización de los feldespatos (esmeclitas e illita). El patrón de comportamiento de la meteorización de loess y paleosuelos sigue la línea recta hacia el extremo de Al_2O_3 , indicada mediante la flecha, los materiales parentales o menos afectados por la pedogénesis (C, Ck, BC) siempre arrojan los valores de concentración más alejados del extremo indicado con A.

En el triángulo indicado, las muestras de la localidad de San Pedro, Lat. $33^\circ 42' 50''$ S, ocupan una posición intermedia entre las más meteorizadas de Tucumán (Lat. $26^\circ 57'$), Baradero (Lat. $33^\circ 48'$), La Plata (Lat. $34^\circ 57'$) y las de Miramar (Lat. $38^\circ 17'$) y Centinela del Mar (Lat. $38^\circ 26'$). Algunos de los datos sobre composición química del loess Argentino fueron extraídos del trabajo de Sayago *et al.* (2001).

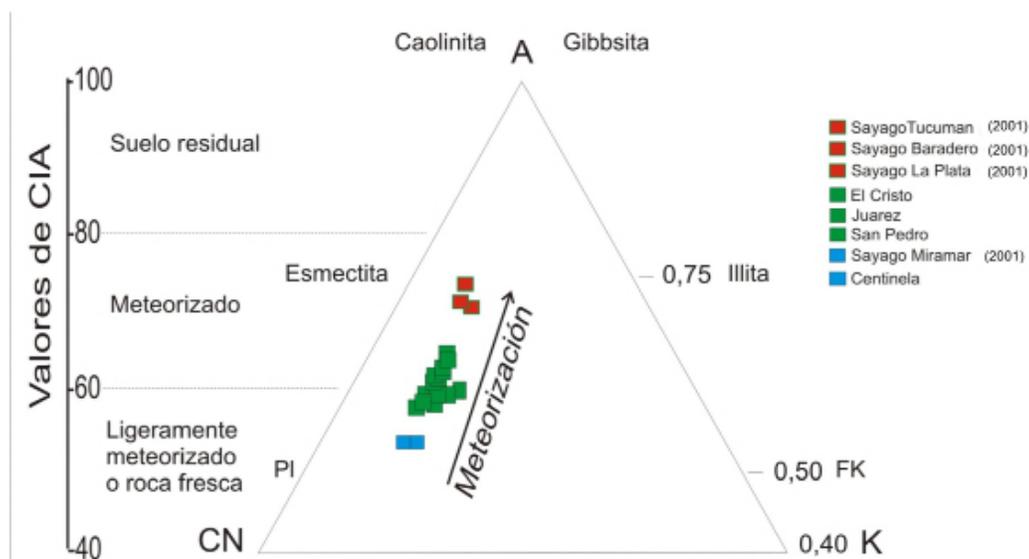
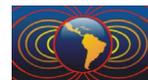


Figura 3. Triángulo que representa la variación del índice $\text{CIA} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) \times 100$ y su relación con el grado de meteorización

Conclusiones

Al igual que en buen número de perfiles realizados en el norte de la provincia de Buenos Aires se comprueba la existencia de registros paleomagnéticos de polaridad normal y reversa que se asignan a Brunhes y a Matuyama. Los niveles de polaridad normal de la zona reversa de Matuyama indican que los sedimentos de la base del perfil tendrían una edad que supera los 0.9 Ma.

La variación de los parámetros de concentración medidos (χ , Mr, Ms) genera un patrón de comportamiento similar en sedimentos del Pleistoceno de todas las localidades estudiadas del norte de la provincia de Buenos Aires.



La magnetita (o titano-magnetita) es el principal portador de la remanencia y la que proporciona los altos y bajos de los parámetros magnéticos de concentración. Ello pone en discusión el carácter de resistato de dicho mineral. Si bien la magnetita presenta mayor resistencia a la alteración que los feldespatos, no sería un resistato pues para provocar la caída de los valores debe sufrir alteración. Ello es evidente cuando se comparan los valores más elevados de (χ , Mr, Ms), que se obtienen en los materiales loessoides menos afectados por la pedogénesis, con los valores más bajos en horizontes más meteorizados. Por otra parte, la formación de magnetita superparamagnética en los paleosuelos del Pleistoceno de la región, no parece ser significativa como para contrarrestar el efecto de la contribución litogénica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y al LEMIT por el apoyo brindado a los fines de poder realizar el trabajo de campo en la zona de San Pedro.

Referencias

- Bidegain, J.C., 1991. Sedimentary development, magnetostratigraphy and sequence of events of the late Cenozoic in Entre Ríos and surrounding areas in Argentina. PhD. Thesis. University of Stockholm, Sweden, 128 p.
- Bidegain, J.C., 1998. New evidence of the Brunhes-Matuyama polarity boundary in the Hernández-Gorina Quarries, north-east of the city of La Plata, Buenos Aires. *Quaternary of South Am. and Antarctic Peninsula* 11, 207-229.
- 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 Int* 209, 175–186
- Bobbio, M.L., Devincenzi, S.M., Orgeira, M.J., Valencio, D.A., 1986. La magnetoestratigrafía del Ensenadense y Bonaerense de la ciudad de La Plata: su significado geológico. *RAGA*, Buenos Aires, 51 (2), 7–22.
- Nabel, P., 1993. The Brunhes–Matuyama boundary in Pleistocene sediments of Buenos Aires Province, Argentina. *Quaternary Int.* 17, 79–85.
- Orgeira, M.J., 1987. Estudio Paleomagnético de los Sedimentos del Cenozoico Tardío en la Costa Atlántica Bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XLII (3e4), 362-376.
- 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 – mammal ages, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 64, Elsevier, Amsterdam, 121– 132.
- Sayago, J.M., Collantes, M.M., Karlson, A., Sanabria, J. 2001. Génesis and distribution of the Late Pleistocene and Holocene loess of Argentina: a regional approximation. *Quaternary International* 76/77, 247-257.