

# MAGNETOESTRATIGRAFÍA Y PARÁMETROS MAGNÉTICOS EN LOS ACANTILADOS DE LA COSTA BONAERENSE

## MAGNETOSTRATIGRAPHY AND MAGNETIC PARAMETERS IN THE COASTAL CLIFFS OF BUENOS AIRES PROVINCE

*Y. Rico<sup>1</sup>, M.L. Gómez Samus<sup>2</sup>, J.C. Bidegain<sup>3</sup>*

*1.- Profesional Adjunto CIC-LEMIT. yamrico@hotmail.com*

*2.- Becario Doctoral CONICET-LEMIT. gomez\_samus@yahoo.com.ar*

*3.- Investigador Principal CIC-LEMIT. jcbidega@yahoo.com.ar*

### RESUMEN

Mediante técnicas paleomagnéticas y de magnetismo de rocas se estudian 6 perfiles ubicados en los acantilados costeros entre la localidad de Chapadmalal y el sur de Necochea. Se trata de sedimentos principalmente de origen fluvial, aunque también hay depósitos eólicos (loessoides). Se reconocen facies depositacionales de diferentes texturas, aunque predominan las facies areno-limosas y limo-arenosas. Las facies post-depositacionales, están representadas por paleosuelos y calcretas, que en algunos casos constituyen paleosuperficies de extensión regional. Estos sedimentos contienen minerales portadores de remanencia magnética (titano-magnetitas), que permiten registrar cambios de polaridad. Los estudios paleomagnéticos permitieron definir la presencia de sedimentos de polaridad normal, reversa y ecuatorial. Las zonas de magnetopolaridad fueron asignadas a los cronos Brunhes ( $< 0,78\text{Ma}$ ), Matuyama ( $2,6$  a  $0,78\text{Ma}$ ) y Gauss superior ( $2,9$  a  $2,6\text{Ma}$ ) en los perfiles de mayor potencia ubicados al este de Miramar. Estos resultados han permitido acotar la edad de estos sedimentos entre el Plioceno tardío y el Holoceno, siendo el Pleistoceno la época más representada en estos acantilados. En los alrededores de Necochea, también se determinaron cambios de polaridad en los perfiles de Bahía de Los Vientos y Punta Negra, mientras que en Balneario Los Ángeles toda la sucesión es de polaridad normal. El análisis de los parámetros magnéticos indica una mayor concentración de titano-magnetitas en la fracción limo grueso. Los bajos valores de  $\chi_{df}$  ( $< 5\%$ ), indican el escaso o nulo aporte de la fracción super-paramagnética en la mayoría de estos depósitos.

**Palabras clave:** *Buenos Aires, Cenozoico tardío, Magnetoestratigrafía, Parámetros magnéticos.*

## ABSTRACT

By paleomagnetic and rock magnetic techniques, six profiles located on coastal cliffs between the town of Chapadmalal and southern Necochea are studied. These profiles are mainly integrated by fluvial sediments, although aeolian deposits (loessial) are also represented. Depositional facies of different textures are recognized, mainly integrated by sandy-loam and silt-sandy fractions. Post-depositional facies are represented by paleosols and calcretes, which in some cases are paleosurfaces with regional extension. The sediments contain magnetic remanence carrier minerals (titanium-magnetite), which answer for the polarity records obtained. Paleomagnetic studies allow us to define the presence of sediments with normal, reverse and equatorial polarity directions. East of Miramar, thicker sections show normal and reverse polarity directions that are assigned to Brunhes (<0.78Ma) Matuyama (2.6 to 0.78Ma) and Upper Gauss (2.9 to 2.6 Ma). According to the magnetostratigraphy the time span of the sedimentary sequences is placed between the Holocene and the Pleistocene, being dominantly Pleistocene. Polarity changes were also determined in the profiles of Bahía de los Vientos and Punta Negra, in the surroundings of Necochea, while in Balneario Los Angeles the entire sequence shows normal polarity samples. The analysis of magnetic parameters indicates a greater concentration of the titanium-magnetites in the coarse silt fraction, frequency dependent susceptibility values,  $\chi_{df} < 5\%$ , indicate a little contribution of super-paramagnetic minerals in all the samples analysed.

**Keywords:** Buenos Aires, Late Cenozoic, Magnetostratigraphy, Magnetic parameters.

## INTRODUCCIÓN

La presente contribución se refiere a los avances obtenidos en el período 2011 – 2014, respecto a la determinación de zonas de magnetopolaridad y parámetros magnéticos, en sucesiones sedimentarias aflorantes en los acantilados de la costa bonaerense, entre las localidades de Chapadmalal y Necochea. Los estudios realizados se enmarcan en un proyecto de tesis doctoral en desarrollo y han comprendido el estudio de 6 perfiles geológicos, denominados de noreste a suroeste: “Punta San Andrés” “San Eduardo del Mar”, “Fogones de la Costa” “Bahía de los Vientos” “Punta Negra” y “Balneario Los Ángeles”.

El área de estudio se encuentra comprendida en el extremo sur de la Provincia Geológica de Tandilia, abarcando los sectores proximales del piedemonte de dicho cordón serrano, donde la sedimentación continental del Cenozoico tardío comenzó en el Mioceno (circa 12-11Ma), luego del retiro del Mar Paranense.

Durante el siglo XX, estos sedimentos, han sido

intensamente estudiados desde el punto de vista geológico y paleontológico, particularmente en el sector comprendido entre las ciudades Mar del Plata y Miramar. Los primeros estudios establecen para la región pampeana un esquema estratigráfico y cronológico basado en la litología y el contenido fosilífero (Ameghino, 1908; Frenguelli, 1921, 1928; Kraglievich, 1952, 1959; Pascual et al, 1965; Tonni y Fidalgo, 1982; Fasano y Schnack, 1984; Tonni et al, 1987). Teruggi, determina el origen volcánico-piroclástico de los estos sedimentos y posteriormente, debido a la homogeneidad textural y mineralógica de estos depósitos, propone junto a otros investigadores la diferenciación de unidades a través del reconocimiento de discontinuidades asociadas a paleosuperficies (paleosuelos y costras calcáreas) y discordancias erosivas (paleocanales). Tomando como base esta línea de pensamiento, Zárate propone para el sector de Chapadmalal la diferenciación de unidades alostratigráficas limitadas por discontinuidades.

Estos depósitos de origen predominantemente fluvial, han sido interpretados como depósitos de planicie de inundación y canales fluviales a partir

del análisis de elementos arquitecturales. Los depósitos eólicos (loess y médanos) se encuentran restringidos en general al tope de las secuencias. En los acantilados del sector Chapadmalal – Miramar, se reconocen litofacies depositacionales de diversa textura (psefticas, psamíticas, pelíticas y heterolíticas), aunque predominan las areniscas y las limolitas. Estos depósitos se encuentran afectados por procesos post-depositacionales que originaron paleosuleos y niveles calcáreos con distinto grado de desarrollo y madurez.

El registro fósil de la zona de estudio es abundante y ha permitido elaborar un esquema bioestratigráfico sobre la base de asociaciones faunísticas, pero debido a que la procedencia y ubicación de los mismos resulta dudosa en varios casos, actualmente se encuentra en revisión. Debido a esto, diversos autores reconocen la importancia del Paleomagnetismo en la construcción de un marco estratigráfico para el Cenozoico tardío de la provincia de Buenos Aires, que permita acotar la edad de estos sedimentos y propiciar la correlación de unidades litológicas.

Los primeros estudios paleomagnéticos en el sector costero corresponden a Orgeira y Valencio (1984), Orgeira (1987, 1988, 1990) y Roucco (1989, 1990). Para los perfiles “Barranca de Los Lobos”, “El Muelle” y “Balneario Cruz del Sur”, ubicados en los alrededores de Chapadmalal, los autores determinan la alternancia de zonas de polaridad normal y reversa, y definen la magnetoestratigrafía de los mismos apoyándose en el contenido fosilífero y en las unidades formacionales diferenciadas.

Posteriormente, se realizan nuevos perfiles magnetoestratigráficos al norte de Mar del Plata (Bidegain et al, 2005a; Bidegain y Gomez Samus, 2012). Estudios paleomagnéticos y de magnetismo paleoambiental fueron realizados recientemente en la zona de Chapadmalal (Bidegain y Rico, 2012) y Miramar (Rico y Bidegain, 2013).

La determinación de parámetros magnéticos, como

la susceptibilidad magnética ( $\chi$ ), la magnetización de saturación ( $M_s$ ), la magnetización remanente ( $M_r$ ), la coercitividad ( $H_c$ ) y la coercitividad de la remanencia ( $H_{cr}$ ) y sus relaciones interparamétricas, permiten caracterizar la mineralogía magnética en relación con el ambiente sedimentario y el clima.

## OBJETIVOS

El objetivo de la investigación en curso es definir la magnetoestratigrafía y caracterizar la mineralogía magnética de las sucesiones sedimentarias que afloran en los acantilados del sector comprendido entre Chapadmalal y el sur de Necochea, para aportar a la resolución de problemáticas estratigráficas, geomorfológicas, de génesis, paleoambientales y paleoclimáticas.

## METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo utilizada comprendió el análisis de bibliografía, trabajos de campo, laboratorio y gabinete.

### Trabajo de campo

El trabajo de campo comprendió la descripción geológica de las sucesiones sedimentarias, toma de fotografías, medición de la susceptibilidad magnética in situ y recolección de muestras totales y paleomagnéticas.

La descripción geológica de campo, comprendió la diferenciación de facies sedimentarias teniendo en cuenta color, textura, estructuras sedimentarias, bioturbación, presencia de fósiles, geometría y espesor de los cuerpos de roca y tipos de contacto. Se extrajeron muestras representativas de aproximadamente 1 kg para análisis granulométricos, mineralógicos y determinación de parámetros magnéticos. La susceptibilidad magnética in situ ( $\kappa$ ), se midió cada 10 y 15 cm de separación, mediante la utilización de un susceptibilímetro de campo marca Bartington, con sensor MS2F. La extracción de muestras

paleomagnéticas, se realizó a escala de detalle (cada 5, 10 y 15 cm de separación) mediante la utilización de un sacatestigos de sección cuadrada, construido con materiales no magnéticos. En la Figura 1 se puede observar el muestreador utilizado, diseñado por el Dr. Mörner y modificado por el Dr. Bidegain para tal fin. Esta herramienta está compuesta por un cuerpo de hidrobronce y una barra de aluminio inserta en el interior de dicho cuerpo, que sirve de pistón para expulsar el material. Las muestras se extraen orientadas, teniendo en cuenta la posición del norte magnético mediante la utilización de brújula geológica y posteriormente son transferidas a porta-muestras cúbicos donde el material es fijado con adhesivo vinílico.



Figura 1. Muestreador para paleomagnetismo.

## Trabajo de Laboratorio

Las determinaciones realizadas en laboratorio, incluyeron análisis granulométricos, mineralógicos, paleomagnéticos y medición de parámetros magnéticos.

### *Análisis granulométricos*

El análisis granulométrico de las muestras, se realizó según el método propuesto por Smith (1985), para el estudio de minerales magnéticos.

La técnica propone el uso de ultrasonido para la disgregación de la muestra y de una solución amoniacal débil para la dispersión de la suspensión obtenida. El objetivo de esta técnica es evitar la modificación química de los minerales constitutivos del sedimento y en especial de la fracción magnética, de relevante interés en este estudio.

A partir de una muestra de material seco a estufa a una temperatura de 40°C y posteriormente desagregado con rodillo de vidrio, se obtuvo previo cuarteo, una muestra representativa de 20 g. La separación granulométrica se efectuó mediante tamizado y decantación, teniendo en cuenta en este último caso, las variables consideradas por la Ley de Stokes. De esta manera, en primer lugar, se separó una fracción más gruesa ( $< 6 \Phi$ ) integrada por arenas y limos medianos a gruesos, de otra más fina ( $> 6 \Phi$ ) compuesta por partículas tamaño limo fino hasta arcillas. A su vez, mediante la utilización de una batería de tamices, la fracción arena fue separada en sub-fracciones.

### *Concentración de minerales magnéticos*

Mediante la utilización de un imán de aleación neodimio, hierro y boro, se obtuvieron concentrados magnéticos. Esto fue realizado para las distintas fracciones granulométricas, obteniéndose en cada caso, un concentrado fuertemente magnético y otro menos magnético.

### *Análisis mineralógicos*

El análisis mineralógico de las distintas fracciones obtenidas, tanto magnéticas como no-magnéticas, fue realizado bajo lupa binocular, microscopio óptico de polarización y microscopía de barrido electrónico con EDAX. La fracción arena gruesa ( $\sim 1\text{mm}$ ) fue analizada bajo lupa binocular, las fracciones arena fina a limo grueso mediante microscopio óptico de polarización y las fracciones más finas, mediante microscopía de barrido electrónico.

### *Análisis paleomagnético*

En el laboratorio de paleomagnetismo del LEMIT, mediante la utilización de un magnetómetro rotativo marca Molspin y un desmagnetizador por campos magnéticos alternos, se midió el magnetismo remanente natural (MRN) y se determinó la magnetización remanente característica (MRC), para un total de 405 muestras. Para la obtención de la MRC, las muestras fueron desmagnetizadas mediante la aplicación de campos magnéticos alternos desde 2,5mT (militesla) hasta campos pico de 80 y 100mT, a intervalos variables entre 2,5 - 5 y 10mT. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el Software SUPER-IAPD-99 y representados en estereogramas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización.

Esto permitió determinar la existencia de depósitos de polaridad normal y reversa y en consecuencia, acotar la edad magnética de los mismos favoreciendo la correlación de las unidades litológicas. En el presente trabajo, se consideró la última versión de la Tabla Estratigráfica Internacional, editada por las ICS en 2013 ([www.stratigraphy.org/upload/ISChart2013.pdf](http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2013.pdf)), que establece el límite Plio-Pleistoceno en 2,588Ma y el límite Pleistoceno Inferior – Medio en 0,78Ma.

### *Medición de parámetros magnéticos*

La medición de parámetros magnéticos se realizó en diversos laboratorios de la provincia de Buenos Aires, como el Instituto de Física Arroyo Seco de la UNICEN, el laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel Valencio” de la UBA y el Departamento de Física de la UNLP.

La susceptibilidad másica ( $\chi$ ), en alta (4700 Hz) y en baja (470 Hz) frecuencia, se midió mediante la utilización de un equipo Bartington MS2B y se determinó el valor de la susceptibilidad dependiente de la frecuencia ( $\chi_{df}$ ) ó factor F (=  $100 \times [\chi_{470} - \chi_{4700}] / \chi_{470}$ ).

Los valores de magnetización remanente isothermal de saturación (MRIS) y coercitividad de la remanencia ( $H_{cr}$ ), se obtuvieron mediante un magnetómetro de pulso ASC Scientific modelo IM-10-30 y un magnetómetro rotativo Minispin marca Molspin.

Los parámetros del ciclo de histéresis se obtuvieron mediante la utilización de un Magnetómetro de Muestra Vibrante (VSM). Estos parámetros son: el magnetismo de saturación ( $M_s$ ), el magnetismo remanente a saturación ( $M_{rs}$ ), la fuerza coercitiva ( $H_c$ ) y la coercitividad de la remanencia ( $H_{cr}$ ).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian similitudes y diferencias entre los 6 perfiles estudiados, que se detallan a continuación.

### **Geología de campo**

La presencia de acantilados a lo largo de la costa bonaerense alterna con franjas medanosas de considerable extensión. La altura de estos acantilados es variable y en Chapadmalal se registran exposiciones de hasta 28 m. Para el tramo estudiado, hacia el este de la ciudad de Miramar, se registran los mayores espesores en los perfiles “Punta San Andrés” y “San Eduardo del Mar”, con alturas máximas cercanas a los 16m. Hacia Necochea, en los perfiles “Fogones de La Costa”, “Bahía de Los Vientos”, “Punta Negra” y “Balneario Los Ángeles”, la altura de estos no supera los 10 m.

Las playas asociadas a acantilados activos en la zona de estudio son angostas y están limitadas por plataformas de abrasión rocosas en los sectores submareales.

Si bien existe cierta similitud textural entre las litofacies diferenciadas en los distintos perfiles y en general predominan los depósitos de origen fluvial, se advierten diferencias relacionadas con la energía del ambiente, el desarrollo de paleosuelos

y la precipitación de carbonato de calcio.

Las secuencias en general están integradas por niveles alternantes de conglomerados, areniscas, limolitas y arcillitas, afectados por procesos post-depositacionales que dieron origen a la formación de paleosuelos y calcretas.

Los depósitos conglomerádicos son significativos en el sector cuspidal de la mayoría de estas sucesiones sedimentarias, aunque también se observan en los sectores medios asociados a paleocanales y rellenando crotovinas.

Los depósitos de arenisca, principalmente arenolimosos, se observan masivos, laminados y con estratificación entrecruzada, muy compactos y con escaso cemento. Se asocian a depósitos tanto fluviales como eólicos, aunque estos últimos se encuentran menos representados. Entre las litofacies de areniscas fluviales, es común observar intercalaciones de lentes de arena gruesa de escasos centímetros de espesor. La geometría de estos depósitos varía desde tabular a irregular ó cóncava en la base y plana en el techo, en relación a las características del agente de transporte y del ambiente de depositación. Se interpreta a estos cuerpos de roca o litosomas como depósitos de canal y planicie de inundación.

Las litofacies de areniscas eólicas se incrementan hacia el sur de Necochea. Son depósitos de arena color grisácea, muy bien seleccionados, friables, con estratificación entrecruzada y espesores que no superan el 1,5 m, considerando exclusivamente las dunas fósiles. La falta de cemento y escasa cohesión de estos materiales, favorece en algunos sectores la erosión actual de estos niveles, generando profundas hendiduras, que provocan la caída de grandes bloques en el frente del acantilado y en consecuencia su retroceso.

Las litofacies limo-arenosas y limo-arcillosas, se incrementan considerablemente en el perfil “Fogones de La Costa” y se asocian a depósitos de loess, de planicie de inundación, a paleosuelos y

paleolagunas. Los depósitos de loess, se hacen más notorios en el tope de las secuencias y generalmente son coronados por una costra calcárea de gran dureza, sobre la cual se construyeron los caminos consolidados de la zona costera.

Los paleosuelos presentan distinto grado de desarrollo en el tramo estudiado. En algunos perfiles los mismos presentan espesores que no superan los 20cm como ocurre al oeste de Miramar, mientras que en otros constituyen secuencias de paleosuelos superpuestos con espesores de hasta 2 y 3 m, como ocurre en Punta San Andrés y San Eduardo del Mar. Se trata de horizontes B, carbonáticos y no-carbonáticos, algunos estructurados en bloques subangulares y otros laminares. Presentan rasgos de hidromorfismo como concreciones, pátinas y dendritas de Mn, concreciones de Fe y venillas sub-horizontales de arcilla color anaranjada. Es común observar estos rasgos de intensa gleyzación en depósitos laminares con precipitación de carbonato de calcio pulverulento. También se observan canalículos radiculares, trazas fósiles de invertebrados como tubos meniscados (*Taenidium isp* y *Beaconites isp*.) y cámaras rellenas por láminas de arcilla dispuestas concéntricamente (*Castrichnus incolumnis*). La abundancia de trazas fósiles es notoria en los niveles medios del perfil “San Eduardo del Mar” donde se pueden observar trazas de lombrices que evidencian el desarrollo de suelos en planicie de inundación. Los tubos meniscados representan períodos de mayor humedad relativa y las cámaras de estibación de lombrices representan períodos de menor humedad relativa (Hasiotis, 2004).

En las paleolagunas, se incrementa considerablemente la fracción arcilla y los rasgos hidromórficos son muy notorios. Su reconocimiento en el campo resulta sencillo por su coloración verdosa, su estructura en prismas redondeados, homogeneidad textural y geometría lenticular. En algunos sectores, estos depósitos presentan una extensión lateral de cientos de metros, como ocurre al oeste de la ciudad de Miramar, entre La Farola de Punta Hermengo y el

perfil “Fogones de La Costa”.

Los ambientes de pantano, son característicos del Plioceno tardío-Pleistoceno inferior. En ellos se incrementa la fracción arcilla, lo que le da al depósito una apariencia grumosa, de coloración castaño rojiza, muy homogénea. Este tipo de depósitos tiene entre 2 y 3,5 m de espesor, en el sector basal del perfil “San Eduardo del Mar”. En él se observan planos de deslizamiento de tipo slickensides, donde los sedimentos más plásticos se encuentran soportando una pila sedimentaria de aproximadamente 8m de espesor. Las características de estos depósitos son coincidentes con las descritas por Kraglievich (1952) para la formación Chapadmalal.

Las acumulaciones de carbonato de calcio, son un rasgo característico de los acantilados de la costa bonaerense, pudiendo llegar a afectar gran parte de los depósitos líticos, como ocurre en el perfil “Fogones de La Costa”. Contrastan con el resto de los sedimentos por su coloración blanquecina y su variada morfología y dureza. Su origen puede ser tanto freático como edafológico y algunos autores las vinculan a estratos algales (Alonso-Zarsa, 2003). Se pueden encontrar acumulaciones carbonáticas masivas, pulverulentas, laminares, nodulares, como rizoconcreciones (en candelabro), con aspecto de panal de abejas, conformando planchas onduladas. Algunas constituyen pisos calcáreos de gran dureza, que conforman paleosuperficies que se proyectan lateralmente a lo largo del acantilado por cientos de metros y que son de utilidad en la correlación estratigráfica.

Atravesando distintos niveles, inclusive algunos calcáreos de considerable dureza, se observan crotovinas (paleocuevas) con diferente forma, tamaño y relleno. Hay pleocuevas de forma circular, elíptica y alargadas, rellenas con depósitos laminares y diamictos. Algunas llegan a tener diámetros cercanos a 1,5 m, pero en general son inferiores a 0,5m. Asociadas a depósitos de pantano, es frecuente encontrar crotovinas alargadas con secciones transversales circulares de 0,25m y

longitudinales de hasta 2m aproximadamente, que se proyectan en profundidad, algunas verticalmente y otras con dirección oblicua. Estas paleocuevas, contienen en su interior, restos fósiles de edad chapadmalense (Plioceno tardío), que se vinculan con la actividad de pequeños roedores, parecidos a la nutria actual, correspondientes a la biozona de *Ctenomys Chapadmalensis*.

También se registraron tierras cocidas y escorias, en los sectores inferiores y medios de los perfiles del este de Miramar. Las tierras cocidas se presentan en general como pequeñas concreciones de color rojo ladrillo, diseminadas homogéneamente dentro de depósitos limo-arcillosos de coloración castaña. Sólo algunas de ellas, tienen forma ovoidea y llegan a tener 2 cm de diámetro en su eje mayor. Estas también son de color rojo pero su centro es de color negro (Figura 2). Las escorias, son de aspecto vítreo, coloración negra y presentan estructura vesicular (Figura 3). Estos materiales fueron descritos por primera vez por Heusser y Claraz en el año 1865 y han sido relacionados con procesos de alta temperatura asociados a un impacto meteorítico datado en 3.3Ma (Schultz et al, 1998).



Figura 2. Tierra cocida.

### Granulometría y mineralogía

Se determinó la granulometría de los perfiles “Fogones de la Costa” (FC), “Punta Negra” (PN) y “Balneario Los Ángeles” (BLA). Esto comprendió



Figura 3. Vidrio de impacto.

la separación y obtención de las distintas fracciones granulométricas como se indicó en el apartado 3 (Metodología de trabajo).

Los resultados obtenidos evidencian la presencia de depósitos más finos en el perfil de Miramar (FC) y más gruesos en los del sur de Necochea (PN y BLA). Mientras que en Miramar la moda se encuentra en torno a los limos medianos, en el sur de Necochea se encuentra en las arenas muy finas. En FC, la fracción limo mediano (LM) varía entre 30 y 57% en la mayoría de los sedimentos analizados. La fracción arena muy fina (AMF) varía entre 15 y 35%, el limo grueso (LG) entre 5 y 22% y limos finos y arcilla (F) entre 7 y 33%, aunque esta última en horizontes B de paleosuelos y sedimentos paleolagunares, se incrementa notablemente llegando a valores cercanos a 70%. En Necochea (PN y BLA), el porcentaje de AMF en los depósitos muestreados es muy significativo. En PN, esta fracción varía entre 38 y 65%, y en BLA entre 55 y 85%. Las fracciones más gruesas son despreciables (< 3%) en estos depósitos y las fracciones más finas (< 0,062mm) se encuentran subordinadas a la fracción AMF, pero su contenido puede llegar a representar el 45% del total de la muestra. Dentro de esta última fracción, la participación de cada una de las sub-fracciones (LG, LM y F) es semejante en PN y BLA. El contenido de LG es < 25% en PN y < 21% en BLA y el de LM es < 15% en PN y < 12% en BLA.

El aporte de la fracción más fina es mayor en PN, los valores determinados oscilan entre 12% y 35% en el perfil mencionado, mientras que en BLA es inferior a 15%.

Si bien las partículas de tamaño mayor que AMF son escasas (1 a 3%), la presencia de granos redondeados de arena gruesa de 1 mm de diámetro promedio, es notable en estos depósitos. El análisis cualitativo de la misma, permitió determinar el predominio de granos de cuarzo incoloro, litoclastos de origen volcánico y calcedonia en la fracción no-magnética (Figura 4) y agregados de arcilla con revestimientos de óxidos de Fe y Mn en la fracción magnética (Figura 5). No se observaron granos de magnetita de diámetro mayor a 0,5 mm.

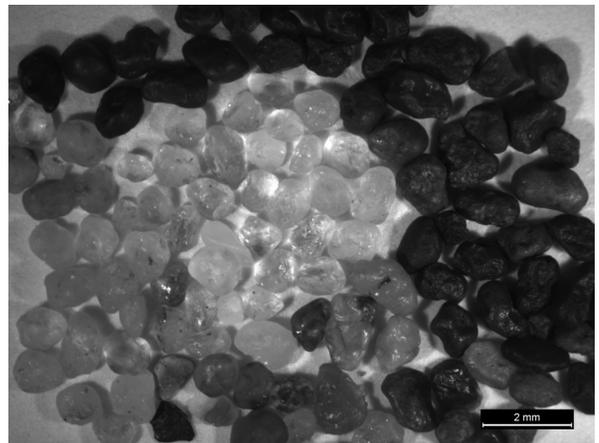


Figura 4. Granos de arena gruesa no magnéticos.

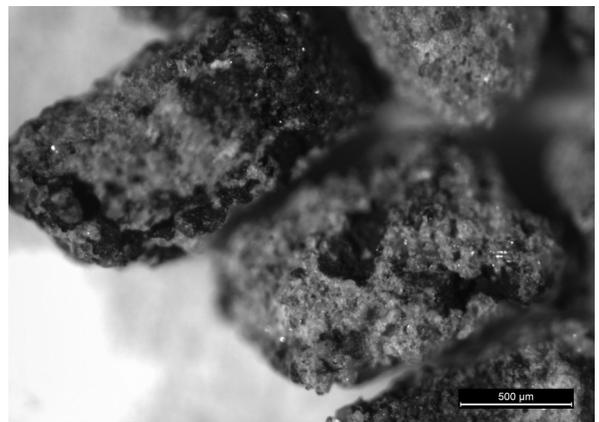
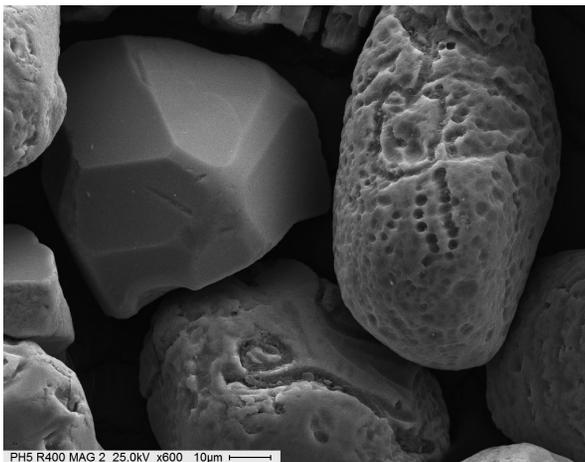


Figura 5. Agregados magnéticos.

En la fracción arena fina (AF), predominan los granos transparentes. Se destaca la presencia de vidrio volcánico en niveles con menor grado de pedogénesis, alcanzando valores cercanos al 30% en horizontes C. Los litoclastos y agregados arcillosos son escasos en esta fracción (< 5%).

En las fracciones AMF, LG y LM del perfil FC, se registra el mayor aporte de cristales de titanomagnetitas, aunque < 5%, y en el concentrado magnético se reconocen dos poblaciones de diferente intensidad, una de color negra, fuertemente magnética, compuesta por titanomagnetitas y otra de menor intensidad, color castaño rojizo, compuesta principalmente por microagregados arcillosos. Los granos de titanomagnetita son sub-angulosos a angulosos y algunos son octaedros perfectos; otros, presentan marcas circulares sobre la superficie de los cristales, algunas de ellas agrupadas en hileras (Figura 6). Si bien el origen de estas marcas no ha sido determinado aún, la geometría y disposición de las mismas nos conduce a pensar en la existencia de actividad bacteriana sobre los granos de magnetita. Los microagregados que constituyen la fracción magnética de menor intensidad, están formados por aluminio-silicatos de hábito fibroso y tabular, que contienen en su interior pequeñas partículas magnéticas.



**Figura 6.** Titanomagnetita con evidencias de actividad bacteriana.

Los resultados de este estudio, permiten constatar cierta homogeneidad mineralógica y textural a lo largo del perfil “Fogones de La Costa”, como señalan diversos autores (Teruggi, 1957; Zárate 1989; entre otros) para el sector costero comprendido entre Mar del Plata y Miramar, aunque quedan importantes aspectos por analizar respecto a los procesos y condiciones ambientales que favorecerían la neoformación de microagregados magnéticos y la alteración superficial de granos de magnetita. La procedencia de litoclastos volcánicos tamaño arena gruesa y la variación en el contenido de vidrio volcánico, son otros aspectos a tener en cuenta para su investigación.

### Paleomagnetismo

Los estudios paleomagnéticos realizados sobre 405 especímenes, permitieron definir la presencia de sedimentos de polaridad normal, reversa y ecuatorial en el sector estudiado. En la Figura 7, se presentan a modo de ejemplo los resultados obtenidos para el perfil “Punta Negra”. En trabajos anteriores (Rico y Bidegain, 2011, 2013a y b; Bidegain y Rico, 2012), las zonas de magnetopolaridad determinadas entre Chapadmalal y Necochea, fueron asignadas a los cronos Brunhes (< 0,78Ma), Matuyama (2,6 a 0,78Ma) y Gauss superior (2,9 a 2,6Ma) en los perfiles de mayor potencia. Estos resultados han permitido acotar la edad de estos sedimentos entre el Plioceno tardío y el Holoceno, siendo el Pleistoceno la época más representada en estos acantilados. El registro de los sub-chrones de polaridad normal Jaramillo (1,05 a 0,99Ma) y Olduvai (2,02 a 1,78Ma) en algunos de los perfiles estudiados, ha posibilitado ajustar aún más la edad de los sedimentos para el Pleistoceno inferior.

Durante el proceso de desmagnetización realizado con el fin de determinar el carácter normal o reverso de los sedimentos, se observó que la mayoría de las muestras pierde el 80% de su valor de intensidad inicial a campos menores a 25 ó 30mT, por lo que la MRC se definió por debajo de dichos campos. Debido a esto, el incremento del campo magnético aplicado durante los primeros 8 pasos

del proceso de desmagnetización fue de 2,5mT por paso. Este cuidadoso procedimiento se efectuó a los fines de no destruir la remanencia magnética proporcionada por los granos de titanio-magnetitas y en consecuencia obtener datos confiables para la reconstrucción de la magnetoestratigrafía.

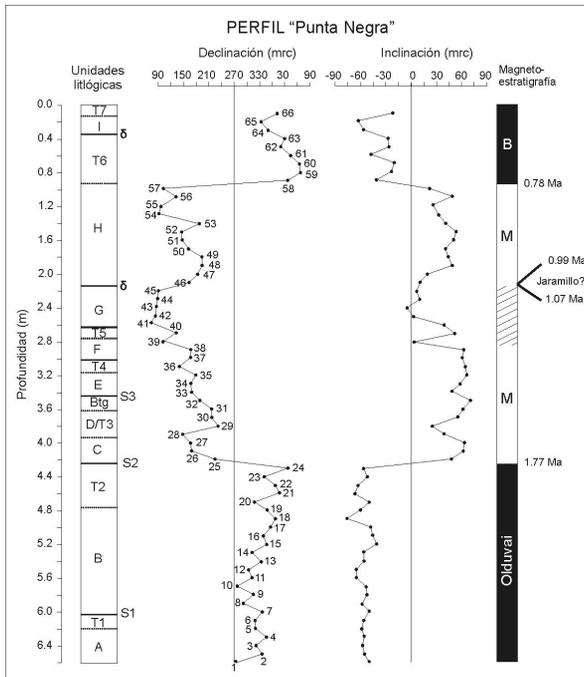


Figura 7. Magnetoestratigrafía del perfil “Punta Negra”.

Las diversas respuestas obtenidas a través de este proceso de “lavado magnético” evidencian diferencias en la litología ferrimagnética. Algunas muestras, pierden su intensidad magnética rápidamente, generándose curvas de desmagnetización asintóticas, características de la magnetita. En otras, la intensidad se incrementa en los primeros pasos y luego decrece paulatinamente. Este comportamiento es característico de muestras que han sido re-magnetizadas posteriormente a su depositación, por lo que evidencian más de un componente de magnetización: una viscosa difícil de desmagnetizar y otra más “blanda” denominada componente principal con la que se define la polaridad. También hay muestras que no alcanzan el valor del campo medio desmagnetizante, inclusive a campos pico de 100 y 120mT y otras

que se desmagnetizan en los primeros pasos y luego a campos altos se incrementa el valor de intensidad.

Los valores de intensidad del magnetismo remanente natural (mrn) varían considerablemente de un depósito a otro. Los valores más altos registrados en los perfiles varían entre 200 y 530\*10<sup>-6</sup> Am<sup>2</sup>/kg y los valores más bajos son inferiores a 10\*10<sup>-6</sup> Am<sup>2</sup>/kg. Los primeros se obtienen en depósitos afectados por acumulaciones carbonáticas de geometría laminar. En este caso, la orientación de partículas magnéticas que genera el incremento de los valores de intensidad, sería favorecida por la oscilación del nivel freático. En promedio, los valores de intensidad en Bahía de Los Vientos (BV) están alrededor de 100\*10<sup>-6</sup> Am<sup>2</sup>/k y son superiores a los obtenidos en los otros perfiles. En Punta Negra y Balneario Los Ángeles el valor promedio de intensidad del MRN se encuentra alrededor de 65\*10<sup>-6</sup> Am<sup>2</sup>/kg, mientras que en San Eduardo del Mar en torno a 30\*10<sup>-6</sup> Am<sup>2</sup>/kg. Un valor de intensidad excepcionalmente alto (1426\*10<sup>-6</sup> Am<sup>2</sup>/kg) se obtuvo sobre una muestra de tierra cocida extraída de este último perfil.

Si bien se constata la posibilidad de determinar la polaridad magnética de los sedimentos continentales del Cenozoico tardío, la falta de continuidad en el registro geológico evidenciada por la existencia de superficies de erosión o de no depositación, complejiza la reconstrucción magnetoestratigráfica. Es por ello que los datos paleomagnéticos obtenidos, se apoyan en el análisis de facies y el registro paleontológico disponible.

Un claro ejemplo que fortalece la necesidad de esta interrelación es el de “Balneario Los Ángeles”. En este perfil (Figura 8), todos los depósitos son de polaridad normal, no se registraron muestras de polaridad reversa, sólo en algunos niveles se observa cierta tendencia ecuatorial (Rico y Bidegain, 2013). La determinación de la edad magnética de esta secuencia, resulta un desafío que se sustenta en el análisis de discontinuidades y el

registro fósil. La existencia de una paleosuperficie de extensión regional, por encima de la cual se registran depósitos de polaridad reversa en otros perfiles de la costa y el hallazgo de fauna de vertebrados de edad Marplatense-Ensenadense por debajo de la misma (Prevosti et al, 2013), refuerzan la idea de que los depósitos de polaridad normal que se encuentran por debajo de la paleosuperficie no pertenecen al cron Brunhes (> 0,78Ma), sino que son más viejos. Es posible que se trate de los sub-chrones Jaramillo (1,07-0,99Ma) y Olduvai (2,02-1,77Ma).

**Parámetros magnéticos**

*Susceptibilidad magnética*

Los valores promedio de  $\chi$  en el sector estudiado, varían entre 140 y 370 x 10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg, pero se registran valores < 10 x 10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg y máximos de 690 x 10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg. El incremento de los valores de  $\chi$ , evidencia un mayor aporte de la fracción ferrimagnética (titano-magnetitas) en facies areno-limosas y limo-arenosas con menor grado de pedogénesis. Estos picos evidencian el comienzo de nuevos ciclos de sedimentación (Rico y Bidegain, 2012). En paleolagunas y niveles calcáreos se obtienen los valores más bajos de  $\chi$  y en horizontes de paleosuelos, estos valores generalmente son inferiores al valor de  $\chi$  promedio obtenido para cada perfil. El contraste de los valores de  $\chi$ , evidencia

la presencia de discontinuidades litológicas que permiten diferenciar las distintas unidades. Los valores de  $\chi$  obtenidos para las distintas fracciones granulométricas indican una mayor concentración de titano-magnetitas en la fracción limo grueso. En esta última los valores de  $\chi$  se incrementan respecto a la fracción más fina (F) en un factor de 5, registrándose valores máximos cercanos a 1200\*10<sup>-8</sup>m<sup>3</sup>/kg en niveles con predominio de la fracción limo. Tanto en Punta Negra como en Balneario Los Ángeles la distribución de magnéticos en relación al tamaño de partículas es semejante en la mayoría de los depósitos.

Los bajos valores promedio de  $\chi_{df}$  (entre 2,5 y 3,9%) indican el escaso aporte de la fracción super-paramagnética en la mayoría de estos depósitos, en concordancia con el tamaño de grano litológico, predominantemente areno-limoso a limoso. Los valores más elevados de  $\chi_{df}$  sobre muestras totales no superan generalmente el 5% y se obtienen en relación a niveles arcillosos. Sólo se registran algunos picos aislados por encima de 6%. Un caso extremo, lo constituye una muestra de tierra cocida con un valor de  $\chi_{df}$  de 9% y susceptibilidad magnética de 400\*10<sup>-8</sup>m<sup>3</sup>/kg. Las mediciones realizadas sobre las distintas fracciones granulométricas permiten determinar el incremento del  $\chi_{df}$  en la fracción más fina (F) y en menor medida en la fracción LM. Estos valores máximos, varían de 5 a 8% y son de 2 a 5 veces

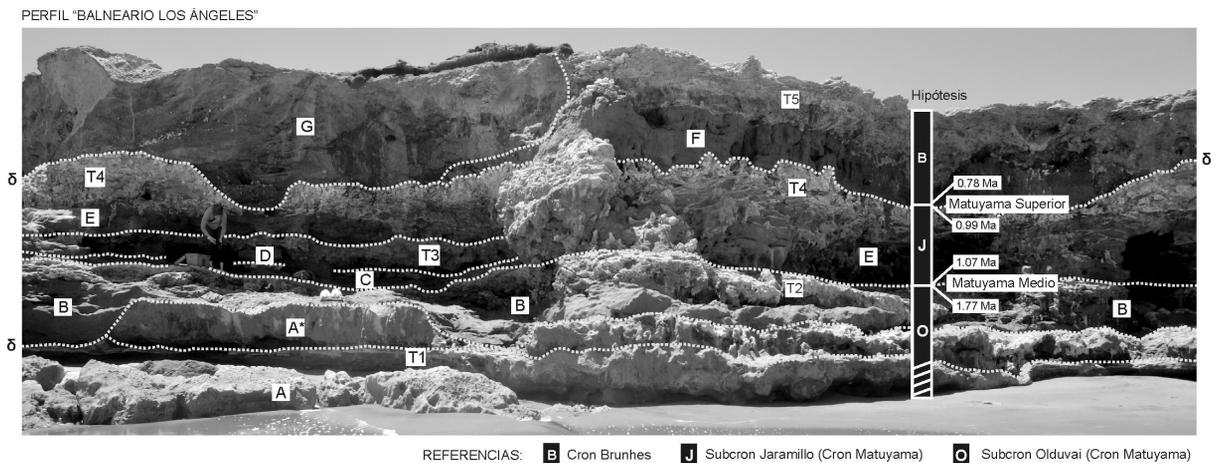


Figura 8. Perfil paleomagnético en el perfil “Balneario Los Ángeles”.

más altos que en las fracciones más gruesas donde los valores de  $\chi_{df}$  no superan el 3%. En casos excepcionales llegan a registrarse incrementos cercanos a 10 en facies limo-arcillosas.

### *Ciclos de histéresis*

Los parámetros magnéticos de concentración  $M_{rs}$  y  $M_s$  obtenidos a partir del ciclo de histéresis, se correlacionan positivamente con los valores de susceptibilidad magnética y los valores de  $H_c$  y  $H_{cr}$ , confirman que el mineral portador de la remanencia magnética en estos sedimentos es la magnetita.

Si bien las relaciones interparamétricas  $M_{rs}/M_s$  vs  $H_{cr}/H_c$  indican un predominio de granos de magnetita tamaño magnético Pseudo Dominio Simple (PDS), estos resultados no se corresponden con el tamaño de grano litológico. La mayor cantidad de granos de titano-magnetita que contienen estos sedimentos son de tamaño limo grueso (entre 37 y 62  $\mu m$ ). Para estos tamaños de partícula, Heider et al (1996), mencionan la existencia de granos multidominio (MD). Las partículas PDS con dos dominios magnéticos, se relacionarían con magnetitas de tamaño cercano a 1  $\mu m$ .

## CONCLUSIONES

Las sucesiones estratigráficas del cenozoico

tardío que afloran en los acantilados de la costa bonaerense entre las localidades de Chapadmalal y el sur de Necochea pueden correlacionarse parcialmente. Si bien las características texturales y mineralógicas son semejantes en los distintos perfiles, se advierten diferencias notables respecto al registro geológico expuesto en cada uno de ellos y al ambiente de depositación. Los hiatus temporales provocan en la mayoría de los perfiles un registro incompleto de la sucesión de crones y eventos magnéticos. Sin embargo, los resultados paleomagnéticos, permitieron ajustar la edad de estos sedimentos a partir de la determinación de magnetozonas de polaridad normal, reversa y ecuatorial, asignadas a los crones Brunhes, Matuyama y Gauss superior. En consecuencia, para los perfiles de Necochea y Miramar, se estima una edad menor a 2Ma, mientras que en Chapadmalal se registran sedimentos más antiguos, que superan los 3,5Ma.

En Necochea, la susceptibilidad magnética ha permitido determinar una mayor concentración de titano-magnetitas en la fracción limo grueso, sin embargo cabe señalar que la fracción arena muy fina es la que mayor cantidad de granos magnéticos aporta debido a que constituye la fracción predominante en estos sedimentos. La susceptibilidad magnética constituye un parámetro sensible a las variaciones relacionadas con la energía del agente de transporte, el ambiente de depositación y los procesos post-depositacionales.

## REFERENCIAS

- Alonso-Zarsa, A.M., 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, v. 60, p. 261-298.
- Ameghino, F., 1908. Las formaciones sedimentarias de la región de Mar del Plata y Chapadmalal. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires* 3 (X): 343-428.
- Bartel, A.A., Bidegain, J.C y Sinito, A.M., 2005. Propiedades magnéticas de diferentes suelos del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60.

Bartel, A.A., Bidegain, J.C. and Sinito, A.M., 2011. Magnetic parameter analysis of climosequence of soils in the Southern Pampean Region, Argentina. *Geofísica Internacional* 50 (1): 9-22.

Beilinson, Elisa, 2009. Análisis de facies y paleoambiental de alta resolución de la aloformación Punta San Andrés (Plio-Pleistoceno), provincia de Buenos Aires, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and basin analysis*. Vol 16 (1) 2009, 57-74. © Asociación Argentina de Sedimentología - ISSN 1669 7316.

Bidegain, J.C., Martinez, G.A., Osterrieth, M.L., Van Velzen, A.J., 1998. Magnetoestratigrafía de la secuencia cenozoica tardía de Camet (Norte de Mar del Plata) provincia de Buenos Aires. 5 Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses 2: 235-238. La Plata.

Bidegain, J.C., van Velzen A. y Rico Y., 2001. Parámetros magnéticos en una secuencia de Loess y Paleosuelos del Cenozoico tardío en la Cantera de Gorina, La Plata: su relevancia en el estudio de los cambios paleoclimáticos y paleoambientales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56(4).

Bidegain, J.C, M.E. Evans, A.J. van Velzen., 2005a. A magnetoclimatological investigation of Pampean loess, Argentina. *Geophysical Journal International* 160: 55-62.

Bidegain, J.C. y Rico, Y. 2012. Magnetostratigraphy and magnetic parameters of a sedimentary sequence in Punta San Andres, Buenos Aires, Argentina. *Quaternary International* 253: 91-103.

Fasano, J., Isla, F. y Schnack, E., 1984. Significado paleoambiental de los depósitos del Pleistoceno Tardío de Camet Norte (partido de Mar Chiquita, pcia de Buenos Aires). *Rev. Asoc. Geol. Arg.* XXXIX (93-4): 244-250.

Freguelli, J., 1921. Los terrenos de la costa atlántica en los alrededores de Miramar (provincia de Buenos Aires) y sus correlaciones. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, t. XXIV: 325-485.

Freguelli, J., 1928. Observaciones geológicas en la región costanera sur de la provincia de Buenos Aires. *Anales de la Facultad de Ciencias de la Educación*, 2:1-145.

Hasiotis, S. T. 2004. Reconnaissance of Upper Jurassic Morrison Formation ichnofossils, Rocky Mountain Region, USA: paleoenvironmental, stratigraphic, and paleoclimatic significance of terrestrial and freshwater ichnocoenoses. *Sedimentary Geology* 167: 177–268.

Heider, F., Zitzelsberger, A and Fabian, K., 1996. Magnetic susceptibility and remanent coercive force in grown magnetite crystals from 0,1 mm to 6 mm. *Physics Earth and Planetary Interiors*. 93: 239-256.

Heusser, J.C. y G. Claraz. 1865. *Neue Denk. (Nov. Mems.) der Allegemeine Schweiz. Gessell.* XXI 27. Zurich.

Kraglievich, J.L., 1952. El perfil geológico de Chapadmalal y Miramar, provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo Municipal de Ciencias Naturales y Tradicional de Mar del Plata* 1:8-37.

Kraglievich, J.L., 1959. Nota acerca de la geología costera en la desembocadura del arroyo Malacara (prov.de Buenos Aires). *Revista del Museo Argentina de Ciencias Naturales*, 1: 3-9.

Orgeira, M.J. y Valencio, D. 1984. Estudio paleomagnético de los sedimentos aflorantes en Barranca de Los lobos, provincia de Buenos Aires. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 162-173.

Orgeira, M.J., 1987. Estudio Paleomagnético de los Sedimentos del Cenozoico Tardío en la Costa Atlántica Bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina XLII (3-4) :362-376.*

Orgeira, M.J., 1988. Estudio geológico y paleomagnético de los sedimentos asignados al Cenozoico tardío aflorantes en los acantilados costeros entre Mar del Plata y Miramar (Pcia. de Buenos Aires). Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

Orgeira, M.J., 1990. Paleomagnetism of late Cenozoic fossiliferous sediments from Barranca de los Lobos (Buenos Aires Province, Argentina). The magnetic age of South American land-mammal ages. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 64: 121-132.

Pascual, R., Ortega Hinojosa, E.J., Gondar, D. y Tonni, E., 1965. Las edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención en aquellas del territorio bonaerense. *Anales CIC - Provincia de Buenos Aires 1 (VI): 165-193.*

Prevosti, F. J.; Echarri, S.; Ercoli, M. D.; Pardiñas, U.F.J.; Ramirez, M. A.; Turazzini, G. F., 2013. Geología y paleontología de las barrancas costeras ubicadas entre Costa Bonita y el Balneario Los Ángeles (Provincia de Buenos Aires): resultados preliminares. *Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados, La Rioja. Resumen.*

Rico Y. y Bidegain J.C., 2011. Parámetros magnéticos en la reconstrucción paleoclimática y paleoambiental de una secuencia del Cenozoico tardío, Punta San Andrés, acantilados de Chapadmalal, provincia de Buenos Aires. CD. II Reunión Bienal de la Asociación Latinoamericana de Paleomagnetismo y Geomagnetismo (LATINMAG), 23 a 26 de Noviembre de 2011, Tandil, Argentina.

Rico Y. y Bidegain, J.C., 2012. Registro de crones Brunhes / Matuyama y parámetros magnéticos en los acantilados del sur de Miramar. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Río Cuarto, 2 al 4 de Octubre de 2012. *Actas de Trabajos completos: 83- 92.*

Rico Y. and Bidegain J.C., 2013a. Magnetostratigraphy and environmental magnetism in a sedimentary sequence of Miramar, Buenos Aires, Argentina. *Quaternary International 317: 53-63, Elsevier Ltd and INQUA.*

Rico, Y. y Bidegain, J.C., 2013b. Magnetoestratigrafía de los acantilados costeros ubicados al suroeste del río Quequén Grande, Necochea, provincia de Buenos Aires, Argentina. Resultados preliminares. *Latinmag Letters, Volume 3, Special Issue (2013), OB14, 1-9. Proceedings Montevideo, Uruguay.*

Roucco, M., 1989. A 3 Ma paleomagnetic record of coastal continental deposit in Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72: 105- 113. doi:10.1016/0031-0182(89)90135.

Ruocco, M., 1990. Paleomagnetic analyses of continental deposits of the last 3 Ma from Argentina:

Magnetostratigraphy and fine structures of reversals. Doctoral thesis, Department of Geology and Geochemistry, University of Stockholm, 100 pp.

Schultz, P., Zárate, M. A., Hames, W., Camilión, C. y King, J. 1998. A 3.3 Ma impact in Argentina and possible consequences. *Science* 282: 2061 – 2063.

Smith, J.P., 1985. Mineral magnetic studies on two Shropshire-Cheshire meres, Unpublished Ph.D. Thesis, University of Liverpool.

Soibelzon, E.; Prevosti, F.J.; Bidegain, J.C.; Rico, Y.; Verzi, D.H. & Tonni, E.P., 2009. Correlation of Cenozoic sequences of southeastern Buenos Aires province: biostratigraphy and magnetostratigraphy. *Quaternary International*, 210: 51-56. doi:10.1016/j.quaint.2009.06.030.

Soibelzon E., Tonni, E.P., and Bidegain J.C., 2010. The Quaternary Outcrops of Punta Hermengo (Buenos Aires province, Argentina): Magnetostratigraphy, Biostratigraphy and the Loss of Paleontological Heritage. *Geosciences* 27: 151-154.

Teruggi, M.E., 1957. The nature and origin of Argentine Loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27 (3): 322-332.

Tonni, E.P. & Fidalgo, F., 1982. Geología y Paleontología de los sedimentos del Pleistoceno en el área de Punta Hermengo (Miramar, Prov. de Buenos Aires, Rep. Argentina): Aspectos Paleoclimáticos. *Ameghiniana*, 19: 79-108.

Tonni, E.P.; Bergman, W.D.; Fidalgo, F.; Goin, F.J. & Quiroga, J.C. (1987). La Fauna Local Centinela de Mar y una nueva Unidad Mamífero para el Pleistoceno Tardío de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *X Congreso Geológico Argentino*, 3: 175-177.

Zárate, M.A. y Fasano, J.L., 1984. Características de la sedimentación Pleistocena de la zona de Chapadmalal, provincia de Buenos Aires: significado de los paleosuelos y costras calcáreas. *IX Cong. Geol. Arg. San Carlos de Bariloche, Actas IV: 57-75.*

Zárate, M.A., 1989. Estratigrafía y Geología del Cenozoico tardío aflorante en los acantilados marinos comprendidos entre Playa San Carlos y Colonia Chapadmalal, partido General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Museo de La Plata, 220 pág.

Zárate, M.A. & Rabassa, J., 2005. Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires* (de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. & Llambías, E., eds.). *Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino*, 8: 119-138.