

ESTRATIGRAFÍA Y MAGNETOESTRATIGRAFÍA DE LA COBERTURA NEÓGENO-CUATERNARIA DEL SECTOR CENTRAL DE TANDILIA

STRATIGRAPHY AND MAGNETOSTRATIGRAPHY OF THE NEOGENE-QUATERNARY SEDIMENTARY COVER IN THE CENTRAL AREA OF TANDILIA

M. Gómez Samus,¹ Y. Rico², J.C. Bidegain³

1.- Becario Doctoral CONICET-LEMIT. gomez_samus@yahoo.com.ar

2.- Profesional Adjunto CIC-LEMIT. yamrico@hotmail.com

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

7

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es dar respuesta a interrogantes de índole cronológica en la cobertura Neógeno-Cuaternaria del sector central de la provincia geológica de Tandilia. Los estudios magnetoestratigráficos son considerados como una vía adecuada para tal fin. Se obtuvieron 182 muestras paleomagnéticas en tres secciones geológicas correspondientes a las Formaciones Las Ánimas, Vela y Barker. El análisis de los datos paleomagnéticos indica que las Formaciones Las Ánimas y Vela son de polaridad normal, y se atribuyen, con seguridad, al Cron Brunhes (< 0,781Ma). La Formación Barker, en cambio, posee polaridades normales e inversas y se asigna a los Cronos Gauss (2,581 – 3,596 Ma) y Gilbert (3,596 – 6,033 Ma). Los parámetros de magnetismo de rocas indican diferencias entre las unidades estudiadas; los mismos se analizarán en futuras contribuciones con el fin de realizar interpretaciones de las condiciones paleoambientales en el lapso de tiempo considerado.

Palabras clave: *Neógeno, Plioceno, Pleistoceno, Cuaternario, Gilbert, Gauss, Brunhes, Tandilia.*

ABSTRACT

This work aims to know the age of the Neogene-Quaternary sedimentary cover from the central area of the geologic province of Tandilia. The magnetostratigraphic studies are considered suitable tools for this target. A set of 182 paleomagnetic samples were collected from three geologic profiles corresponding to Las Ánimas, Vela and Barker Formations. Paleomagnetic data indicate that Las Ánimas and Vela Formations provide normal polarity samples and were assigned to the Brunhes Polarity Chron (< 0.781Ma). The Barker Formation contains normal and reverse polarities directions. For this reason

this Formation was assigned to Gauss (2,581 – 3,596 Ma) and Gilbert (3,596 – 6,033 Ma) Polarity Chrons. The values of magnetic parameters are different among the layers, reflecting differences to be considered in the near future in order to estimate the paleoenvironmental conditions during the considered time span.

Keywords: Neogene, Pliocene, Pleistocene, Quaternary, Gilbert, Gauss, Brunhes, Tandilia.

INTRODUCCIÓN

El objetivo general del presente trabajo es propender a dar respuesta a interrogantes de índole cronológica en la cobertura Neógeno-Cuaternaria de la provincia geológica de Tandilia, Argentina. Consideramos a los estudios magnetoestratigráficos una vía apropiada para tal fin.

Los perfiles en estudio se ubican en el sector central del Sistema de Tandilia (Figura 1), en los partidos de Tandil, Benito Juárez y Lobería, provincia de Buenos Aires.

La sedimentación Cenozoica tardía continental en

la provincia de Buenos Aires habría comenzado con la prefase del tercer movimiento de la orogenia andina, cuyo primer efecto sería el inicio de la regresión del mar parense (Pascual et al, 1965). Los depósitos se caracterizan por su relativa homogeneidad y se comprenden de limos arenosos y limos arcillosos de colores castaños del llamado Plateau de loess de Argentina, de procedencia principalmente andina, pero con evidencias de redepositación por acción fluvial (Teruggi, 1957). Según el mismo autor, la mineralogía de dichos sedimentos se compone de plagioclasas, cuarzo, ortoclasa, vidrio volcánico, feldespatos alterados, fragmentos de rocas volcánicas y ópalo orgánico.

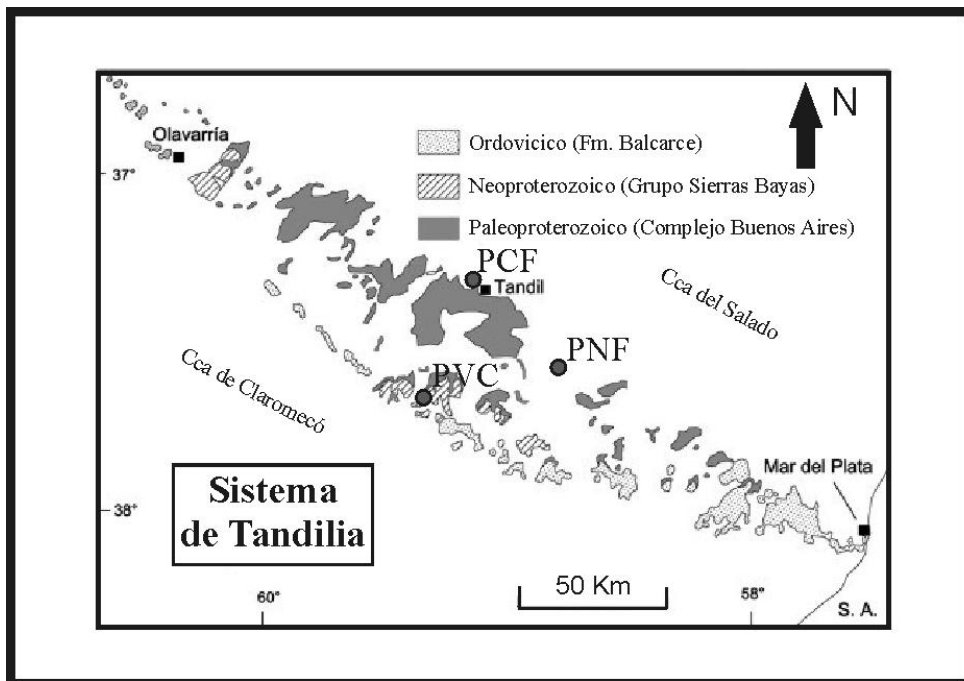


Figura 1. Mapa geológico del Sistema de Tandilia (modificado de Iñiguez, 1999) y ubicación de los perfiles en estudio. PCF: Perfil Calle Fangio; PNF: Perfil Napaleofú; PVC: Perfil Villa Cacique.

Los minerales pesados corresponden a óxidos de hierro (magnetita, ilmenita y óxidos limoníticos), anfíboles y piroxenos. Por otro lado, González Bonorino (1965) reconoce, a partir de muestras extraídas por perforaciones en el área metropolitana de Buenos Aires y alrededores, dos zonas con características mineralógicas distintivas. La zona superior se caracteriza por abundancia de illita y plagioclasa, en tanto la zona inferior se distingue por la abundancia de cuarzo y montmorillonita, con escaso o nulo vidrio volcánico. El autor propone que las diferencias se deben a un cambio de área de aporte y considera a la zona cuarzo-montmorillonítica como Preensenadense, que sería de edad mayor a 2,2 Ma según el esquema de Verzi y Montalvo (2008).

En cuanto a la estratigrafía regional, Zárata (2005) individualizó cuatro intervalos estratigráficos separados por discordancias: Mioceno tardío (12-11 a 7-6? Ma), Mioceno tardío-Plioceno (7-6? a 3,2 Ma), Plioceno-Pleistoceno tardío (3,2 a 0,040-0,030 Ma) y Pleistoceno tardío – Holoceno (0,040-0,030 Ma hasta el presente). Las discordancias que separan algunos de estos intervalos estratigráficos fueron vinculadas por Folguera Telichevsky (2011) a la tectónica andina, a fuerzas originadas en la dorsal centro-oceánica y a los acomodamientos isostáticos, sin descartar la importancia de las fluctuaciones climáticas.

El Sistema de Tandilia fue definido como un conjunto de montañas en bloque, formado por discontinuos relieves de diferente entidad, que sobresalen entre 50 y 250 m por encima del llano circundante (Teruggi y Killmurray, 1975). Limita al noreste con la Cuenca del Salado, mediante un sistemas de fallas normales con vergencia al noreste, y al suroeste con la Cuenca de Claromecó (Ramos, 1999). La edad de la elevación de los bloques es aún discutida, Teruggi y Killmurray (1975) consideran que se produjo en el Cenozoico tardío, y estiman que en el terciario se reactivaron las fallas regionales como consecuencia de la orogénesis andina. Demoulin et al (2005) consideran que se trata de un paisaje longevo que

atribuyen al Mesozoico.

Los análisis granulométricos y mineralógicos en sedimentos y paleosuelos del Cenozoico tardío del Sistema de Tandilia (Rabassa, 1973; Teruggi et al., 1973) indican que, en parte, esos depósitos son de tipo coluvial, esto es evidente en los sitios en los que los sedimentos alóctonos están mezclados con materiales de piedemonte.

Si bien existen varios trabajos vinculados a la estratigrafía de los depósitos del Cenozoico tardío del Sistema de Tandilia (Tapia, 1937; Teruggi et al, 1973; Martínez, 2000; Zárata y Mehl, 2010; Poiré et al, 2013; entre otros), los lineamientos estratigráficos generales para el área de las sierras de Tandil fueron establecidos por Rabassa (1973). El esquema propuesto por el autor muestra cinco unidades litoestratigráficas. Las Formaciones Barker, Vela y Las Ánimas ocupan las áreas interfluviales. En cambio, las áreas fluviales están representadas por sedimentos aluviales de edad reciente que se apoyan en discordancia erosiva sobre la Formación Tandileufú, ésta a su vez se apoya en discordancia sobre la Formación Vela.

En el trabajo antes citado se describe a la Formación Barker como una limolita castaño rojiza, arcillosa, de génesis probablemente eólica. A la Formación Vela como limos areno arcillosos, castaño claros, originados por sedimentación eólica, pero con indicios importantes de acción hídrica. Los mismos culminan con una costra calcárea de extensión regional, denominada Paleosuperficie Tandil (Teruggi et al. 1973). Ambas Formaciones presentan desarrollo local de niveles de conglomerados, propios de zonas de piedemonte. En discordancia erosiva sobre la costra calcárea regional, tiene lugar la sedimentación de limos arenosos de origen predominantemente eólico pertenecientes a la Formación Las Ánimas. De forma simultánea, a los depósitos basales de la Formación Las Ánimas, se generaron los depósitos fluviales de la Formación Tandileufú, que comienzan con arenas gruesas que pasan a limos arcillosos en la parte superior. Posteriormente, continuó la sedimentación fluvial, dando lugar

a la formación del Aluvio de edad reciente, integrado por limos grises, más o menos arenosos. En el mismo trabajo, Rabassa (1973) caracteriza mineralógicamente las unidades en estudio, por vía óptica (Tabla 1) y por difracción de rayos-X. La Formación Barker es rica en montmorillonita, pobre en illita, prácticamente carece de vidrio volcánico, predominando el vidrio castaño sobre el incoloro, es llamativa la abundancia de litoclastos de origen volcánico. La Formación Vela es rica en illita, pobre en montmorillonita y el vidrio volcánico es un componente muy importante, siendo los fragmentos incoloros mucho más abundantes que los de color castaño. La Formación Las Ánimas contiene abundante vidrio volcánico incoloro, escaso vidrio castaño y la relación montmorillonita-illita es variable.

En cuanto a la asignación temporal, Rabassa (1973) asignó una edad Pleistoceno tardío-Holoceno a la Formación Las Ánimas en función de su contenido fósil. El mismo autor asigna la Formación Vela al Pleistoceno medio; sin embargo, Gasparini et al (2012) mencionan fósiles correspondientes a biozonas cuyas edades oscilarían entre 130 y 11 ka (Cione et al, 2007) en los niveles superiores. En relación con la ubicación temporal de la Formación Barker, su edad es hasta ahora incierta. No se conocen hallazgos fosilíferos ni dataciones por otras vías. Rabassa (1973) le asigna con dudas una edad Plioceno – Pleistoceno inferior. Folguera Telichevsky (2011) propone para la Formación Barker una edad Mioceno tardío-

Plioceno temprano en base a correlaciones con unidades litoestratigráficas presentes en el Sistema de Ventania y en la provincia de La Pampa. Por otra parte, Zárate y Mehl (2010) correlacionaron esta unidad con afloramientos de limolitas castaño rojizas, de aspecto macizo, ubicadas en las cabeceras del arroyo Azul así como en excavaciones en la localidad de Olavarría (80 Km al NO de la zona de estudio, Figura 1) y proponen una edad Pliocena. Recientemente en dichas excavaciones, Poiré et al (2013) citan la presencia de vertebrados fósiles asignados a biozonas cuya edad oscilaría entre 2,2 y 4,5 Ma (Verzi y Montalvo, 2008) y Gómez Samus et al (2014) registran polaridades magnéticas normales, que atribuyen al cron Gauss (2,581 – 3,596 Ma).

TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

El trabajo comenzó con la observación y descripción de las unidades geológicas expuestas. Se construyeron tres perfiles geológicos (PCF, PNF, PVC) correspondientes a cada localidad en estudio (Figuras 2, 3 y 4), para ello se tuvo en cuenta el tipo de contacto entre las capas, la continuidad o discontinuidad en la sucesión, las variaciones laterales, y la presencia de calcretas. En base a las características de los cuerpos sedimentarios, fue posible en la mayoría de los casos, vincularlos al esquema litoestratigráfico de Rabassa.

El muestreo paleomagnético se efectuó mediante un sacatestigo a pistón de sección cuadrada, brújula

Tabla 1. Unidades litoestratigráficas Neógeno-Cuaternarias correspondientes a los interflujos del sector central del Sistema de Tandilia (Rabassa, 1973) y promedios de los porcentajes de los minerales de la fracción arena (modificado de Rabassa, 1973). Qz: Cuarzo; FK: Feldespato potásico; Pl: Plagioclasas; L: Litoclastos volcánicos; V: Fragmentos vítreos; Op: Minerales opacos (óxidos e hidróxidos de hierro); P: resto de los minerales pesados (Homblenda, Dióxido, Zircón, Epidoto, Granate).

Unidades Litoestratigráficas (Rabassa 1973)	Mineralogía de la Fracción Arena (%) (Modificado de Rabassa, 1973)						
	Qz	FK	Pl	L	V	Op	P
Fm. Las Ánimas	11,00	4,71	9,40	20,80	51,25	0,84	1,36
Fm. Vela	10,18	3,96	10,79	35,20	36,00	3,57	1,20
Fm. Barker	15,28	3,77	9,46	62,69	4,19	2,40	1,63

Brunton, martillo y cinta métrica. Se extrajeron 182 muestras orientadas, a equidistancias verticales de 5 a 30 cm, distribuidas en 7 perfiles paleomagnéticos (Figuras 2, 3 y 4). 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 posterior medición. Todas las muestras paleomagnéticas fueron medidas en el Área de Paleomagnetismo del LEMIT mediante un magnetómetro rotativo Minispin de la empresa Molspin Ltd.

En una primera etapa se midió la magnetización remanente natural (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 fin de evitar la destrucción de la muestra y hasta campos pico que variaron, según los casos, entre 40 y 80 mT. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software SUPERIAPD2000 para identificar las componentes del Magnetismo Remanente Característico (MRC)

de cada muestra.

Paralelamente al muestreo paleomagnético se extrajo de ½ a 1 kg de sedimento de cada una de las unidades determinadas en los perfiles geológicos, obteniendo un total de 91 muestras. Este material se utilizó en la medición de parámetros magnéticos, análisis químico por fluorescencia de rayos-X, análisis mineralógicos vía óptica y por rayos-X y en los análisis granulométricos.

Los parámetros magnéticos fueron medidos en el Laboratorio de Física Arroyo Seco (IFAS-UNICEN-CONICET). Previo a la medición, los sedimentos fueron colocados en cajas de plástico, cúbicas, de 2 cm de lado, y se les agregó Silicato de Sodio analítico para fijar los granos durante su manipulación y medición. En una primera etapa, se realizaron mediciones magnéticas no destructivas, se midió la susceptibilidad magnética mediante un suceptibilímetro MS2 Bartington con sensor MS2B en baja (χ_{lf} , 470 Hz) y alta (χ_{hf} , 4700 Hz) frecuencia y se calculó el factor Susceptibilidad dependiente de la frecuencia (cf%). Los valores de susceptibilidad magnética anhistérica (χ_{MRA}) fueron obtenidos con un equipo pMRA acoplado

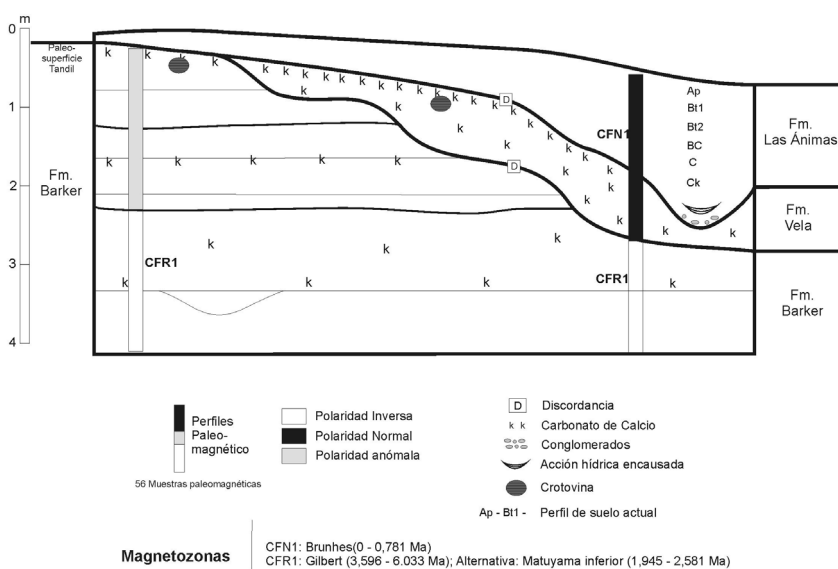


Figura 2. Perfil Calle Fangio (PCF), ubicado a los 37°17'37'' Lat.S. y 59°11'43'' Long. O., Partido de Tandil.

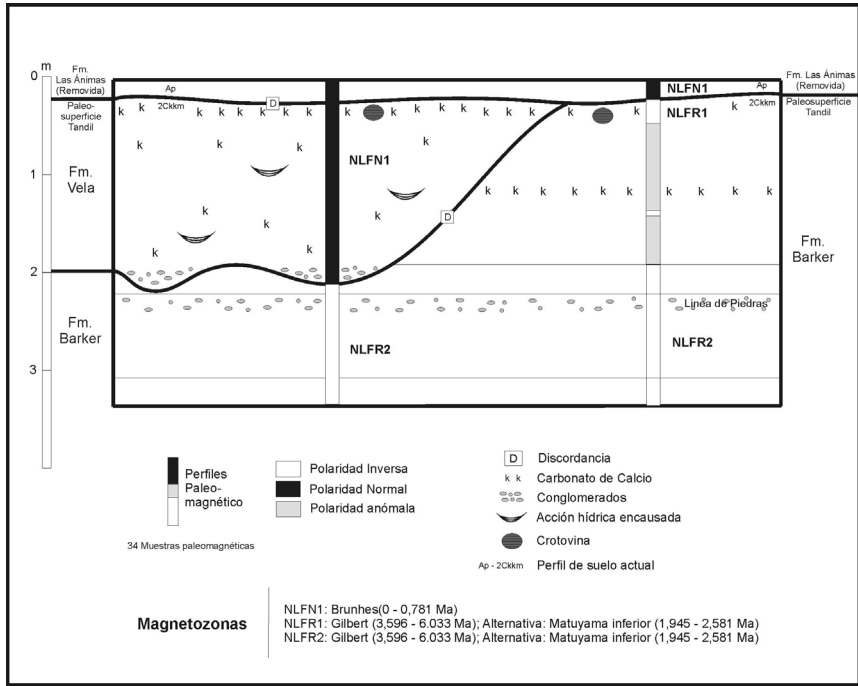


Figura 3. Perfil Napaleofú (PNF), ubicado a los 37°38'08" Lat.S. y 58°44'20" Long. O., Partido de Lobería.

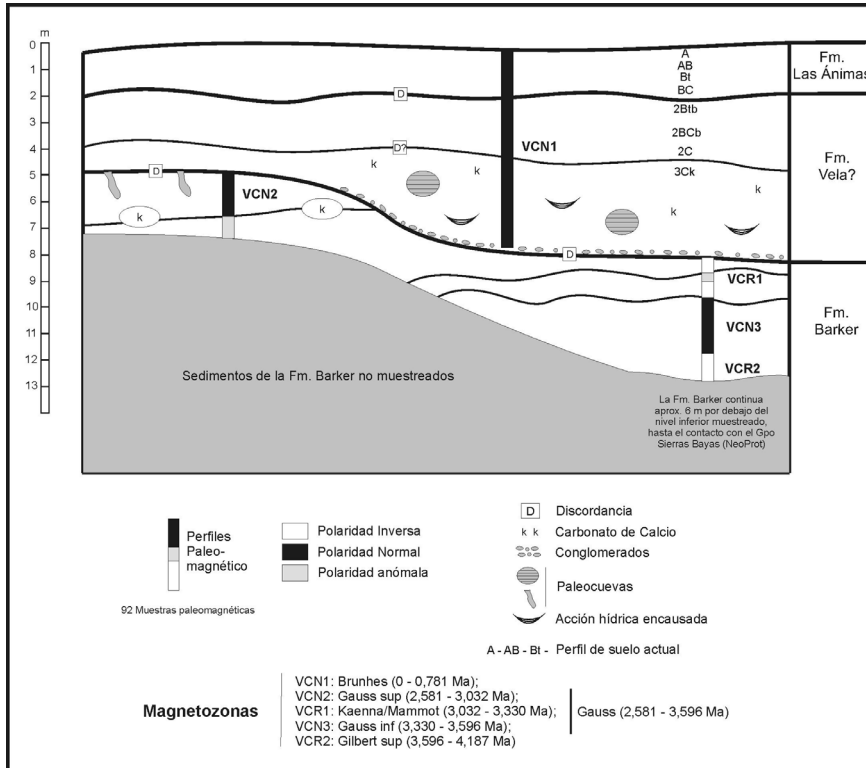


Figura 4. Perfil Villa Cacique (PVC), ubicado a los 37°41'36" Lat.S. y 59°22'08" Long. O., Partido de Benito Juarez.

a un Desmagnetizador por Campos Alternos Molspin Ltd. y un Magnetómetro Rotativo Minispin, Molspin Ltd. El campo alterno fue fijado en 100 mT. A cada muestra se le aplicaron campos directos continuos de 50 μ T y 90 μ T y luego se calculó la χ MRA. Mediante un Magnetizador de Pulso AC Scientific model IM-10-30 se midió el magnetismo remanente isotermal (MRI), el campo máximo aplicado fue de 2T y la medición de remanencia se efectuó con un magnetómetro Molspin. Con los datos obtenidos se construyeron las curvas de adquisición de MRI y se estableció el valor de saturación (MRIS). Una vez alcanzada la saturación, se aplicaron campos inversos (back field), a los fines de obtener los valores de coercitividad de la remanencia (Hcr) y el coeficiente S-ratio.

Mediante la utilización de un espectrómetro de fluorescencia de rayos-X modelo SPECTRO IQ II del LEMIT, fue posible determinar y cuantificar el hierro expresado como óxido (Fe_2O_3). Para realizar las mediciones con el equipo de fluorescencia, a 5g de cada muestra se le adicionó un ligante (Blinder BM-0002 Fluxana) en relación 5:1 en peso, a fin de impedir el movimiento de los granos durante el manejo de la muestra y posterior medición. De esta forma se confeccionaron pastillas de 32 mm de diámetro y de 3 a 5 mm de espesor mediante una prensa con presión de 15 Tn.

Mediante técnicas termogravimétricas se determinó el porcentaje de CaCO_3 . Las muestras fueron tratadas a 550°C, durante tres horas, para eliminar la materia orgánica y el agua de composición; posteriormente se incineraron a 1000°C durante dos horas, descomponiéndose así el CaCO_3 . Por diferencia de masa se obtuvo el porcentaje de CO_2 liberado, que es multiplicado por el factor 2,27 ($\text{PM CaCO}_3/\text{PM CO}_2$) para estimar el % CaCO_3 .

PERFILES GEOLÓGICOS

El Perfil Calle Fangio (PCF) (Figura 2) se ubica en la periferia de la ciudad de Tandil a los 37°17'37" Lat. S. y 59°11'43" Long. O. a una altitud aproximada

de 206 m. Posee una potencia aproximada de 4 m. Se individualizaron tres cuerpos sedimentarios, separados por discordancias erosivas, que fueron asignados a las Formaciones Barker, Vela y Las Ánimas. En el sector superior de la Formación Vela se reconoció la Paleosuperficie Tandil (Teruggi et al, 1973), que involucra también a la Formación Barker allí donde la sección geológica presenta su mayor espesor. El suelo actual se desarrolla sobre la Formación Las Ánimas y corresponde a un Argiudol típico (Soil Survey Staff, 2010) que se asigna a la Serie Tandil (INTA, 1971), lateralmente grada a un Paleudol petrocálcico.

El Perfil Napaleofú (PNF) (Figura 3) se halla sobre la Ruta 227, a 4 Km (al Sur) del poblado de Napaleofú (partido de Lobería), las coordenadas son 37°39'08" Lat. S. y 58°44'20" Long. O., se encuentra una altitud de aproximada de 180 m. Posee 3,20 m de potencia. Se individualizaron tres cuerpos sedimentarios, separados por discordancias erosivas, que fueron asignados a las Formaciones Barker, Vela y Las Ánimas. En el sector medio-basal de los sedimentos asignados a la Formación Barker se observa una capa de 10-15 cm de espesor, constituida por gravas y conglomerados finos, matriz sostén, que corresponderían a una línea de piedras (Johnson y Balek, 1991). En el sector superior del perfil se reconoció la presencia de la Paleosuperficie Tandil (Teruggi et al, 1973), involucrando tanto a la Formación Vela como Barker. Por encima se hallan los sedimentos de la Formación Las Ánimas, el horizonte Ap del suelo actual se desarrolla en esta unidad y presenta evidencias de removilización por actividad antrópica. El suelo actual corresponde a un Paleudol petrocálcico (Soil Survey Staff, 2010) y se asigna a la Serie La Alianza (INTA, 1971).

El Perfil Villa Cacique (PVC) (Figura 4) se ubica a 3 Km al Sudoeste del poblado de Villa Cacique (partido de Benito Juárez) y corresponde a un destape para la explotación de calizas realizado por la empresa Loma Negra. Se ubica a los 37°41'36" Lat. S. y 59°22'08" Long. O, a una

altitud aproximada de 230 m. Posee 12 m de potencia en el momento de realizarse el presente trabajo. Se individualizaron cuatro cuerpos sedimentarios separados por discordancias, el inferior fue asignado a la Formación Barker y el superior a la Formación Las Ánimas. Los cuerpos sedimentarios centrales se asignan con dudas a la Formación Vela. Cabe consignar que el espesor máximo observado de la Formación Barker en la zona fue de unos 13 m, hasta el contacto con las calizas del Grupo Sierras Bayas (Neoproterozoico), sin embargo sólo fue posible acceder a los 6 m superiores. El sector cuspidal de esta Formación presenta paleocuevas elongadas, de disposición subvertical, correspondientes a roedores (probablemente *Actenomys*). Sobre dicha unidad, en discordancia erosiva, se destaca un manto de hasta un metro de potencia, compuesto por conglomerados y brechas, clasto a matriz sostén, que constituyen la base de los sedimentos asignados a la Formación Vela. El suelo actual se desarrolla en los sedimentos loésicos de la Formación Las Ánimas que fue clasificado como un Argiudol típico (Soil Survey Staff, 2010) y asignado a la Serie Barker, o bien a la Serie Tandil (INTA, 1971).

En todos los perfiles analizados, los sedimentos asignados a la Formación Barker presentan abundantes rasgos pedogenéticos (Bloques subangulares con barnices de arcilla, patinas negro azuladas y/o pequeños slikensides, impresiones radiculares y rizoconcreciones). Si bien la abundancia de dichos rasgos varía a lo largo de las distintas capas de la Formación Barker, no es posible distinguir material sin afectación pedogenética. De lo dicho surge que la pedogénesis habría sido una constante durante la depositación de los sedimentos de la unidad en cuestión, en virtud de ello los sedimentos de la Formación Barker podrían considerarse como una sucesión de paleosuelos soldados.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las direcciones medias del magnetismo

remanente característico (MRC) fueron obtenidas a campos picos que oscilaron entre 10 y 30 mT. El tratamiento por CMA se inició a partir de 2,5 y 5 mT con el fin de evitar la destrucción de la remanencia magnética. La máxima desviación angular fue inferior a 15° en todos los casos. A partir de las direcciones magnéticas obtenidas, los perfiles quedan configurados en zonas de distinta polaridad magnética (magnetozonas) (Figuras 2, 3 y 4), que son referidas a la escala de inversiones paleomagnéticas de Gradstein et al (2012).

Las direcciones paleomagnéticas normales, obtenidas en sedimentos asignados a las Formaciones Las Ánimas y Vela, indican que los mismos se depositaron durante el Cron Brunhes (<0,781 Ma). La asignación temporal a la Formación Barker resulta más dificultosa debido a que los datos paleomagnéticos pueden ser interpretados de más de una forma. La interpretación más sencilla consistiría en asignar las magnetozonas CFR1, NLFR1 y VCR1 (Figuras 2, 3 y 4) de polaridad inversa, al Cron Matuyama superior (0,781 – 0,988 Ma). Sin embargo, esta interpretación no se correspondería con las correlaciones establecidas con sedimentos expuestos en excavaciones cercanas (Zárate y Mehl, 2010), que indicarían una edad de mayor a 2,2 Ma, incluso Plioceno. Además, si consideramos las correlaciones a nivel regional (Folguera Telichevsky, 2011), los sedimentos de la Formación Barker podrían ser aún más viejos (Mioceno tardío – Plioceno temprano). Cabe también mencionar que la mineralogía de la Formación Barker (Rabassa, 1973) posee afinidad con la zona cuarzo-montmorillonítica de González Bonorino (1965), considerada mayor a 2,2 Ma.

Las edades más jóvenes para la Formación Barker son asignadas en el perfil de Villa Cacique (PVC) (Figura 4). En la figura se indican las magnetozonas VCN2, VCR1 y VCN3, asignadas al Cron Gauss (2,581 – 3,596 Ma). La magnetozona VCR2 (ubicada debajo de las anteriores) correspondería al cron Gilbert superior (3,596 - 4,187 Ma). Cabe destacar que los sedimentos de la Formación Barker en PVC que continúan por debajo del nivel inferior

muestreado serían más antiguos. La asignación de los niveles superiores de la Formación Barker en PVC al Cron Gauss se ve reforzada por la presencia, en dichos niveles, de paleocuevas de disposición subvertical, con características similares a las descritas recientemente por Rico et al (2014) en sedimentos que asignan al cron Gauss en el sector costero sur de Tandilia (San Eduardo del Mar). Además, Zárata (2005, y trabajos allí citados) describe una situación semejante, en una localidad costera cercana, donde son halladas escorias de impacto, datadas en 3,27 Ma (Schultz et al, 1998). Niveles de polaridad Gauss han sido determinados en diversos afloramientos en el sector costero sur de Tandilia (Orgeira, 1987; Ruoco, 1989; Bidegain y Rico, 2012), incluso Orgeira (1990) determina el límite Gauss-Gilbert (3,596 Ma).

A partir de los datos obtenidos hasta el presente, no es posible establecer con certeza una correlación entre los sectores basales, medios o cuspidales de la Formación Barker y los niveles expuestos en PCF y PNF de dicha Formación. Las magnetozonas halladas en ambos perfiles son de polaridades predominantemente inversas (CFR1, NLFR1 y NLFR2) y podrían ser asignadas, en sentido amplio, al cron Gilbert (3,596–6,033Ma), aunque no descartamos que en algún caso, las mismas sean más jóvenes, incluso Matuyama inferior (1,945 – 2,581 Ma).

Parámetros Magnéticos

Los parámetros magnéticos son indicadores de la presencia, concentración y tamaño de grano de los minerales magnéticos, algunos de los cuales tienen la capacidad de retener las direcciones del campo magnético terrestre. Los promedios de los valores medidos de dichos parámetros se indican en la Tabla 2.

Los valores de susceptibilidad másica medidos en baja frecuencia (clf) presentan escasa variación en las muestras extraídas de la Formación Barker. Se registró un valor promedio de $370 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$. Los valores más elevados corresponden a niveles de mayor grado de desarrollo pedogenético. Las muestras extraídas de la Formación Vela, cuyo promedio fue $249,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$, presentan los valores más bajos de clf, en muestras con abundante concentración de carbonato de calcio. Las muestras extraídas de la Formación Las Ánimas tienen un valor promedio de $360,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$, los valores más elevados corresponden a los horizontes A y Bt de los suelos actuales.

El factor susceptibilidad dependiente de la frecuencia ($\text{cdf}\% = 100 \cdot (\text{clf} - \text{chf}) / \text{clf}$) promedio para la Formación Barker fue de 5,25%, siendo mayor que el obtenido en la Formación Vela (3,36%) y Las Ánimas (3,72%). El aumento en $\text{cdf}\%$ podría estar relacionado con una mayor contribución de minerales super-paramagnéticos (SP) (magnetita ultrafina, $< 0,03 \mu\text{m}$) en los sedimentos más afectados por pedogénesis de la Formación Barker. Cabe destacar que el valor más

Tabla 2. Valores promedios, máximos y mínimos de los parámetros magnéticos y del análisis químicos obtenidos en muestras de las formaciones las Ánimas, Vela y Barker

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICA	PARÁMETROS MAGNÉTICOS							QUÍMICA		Normalización por CaCO ₃			
	X _{if}	X _{rd%}	MRIS	H _{cr}	X _{MRA}	S-ratio	MRIS/X _{if}	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	X _{if} /NCO ₃	MRIS/NCO ₃	X _{MRA} /NCO ₃	
Fm. Las Ánimas (n=34)	PROM	360,9	3,72	49,0	38,3	1931	0,95	13,9	4,6	6,05	377,3	51,2	2021
	MÁX	479,5	8,00	64,6	47,6	4470	0,98	19,6	13,0	7,90	507,7	67,2	4652
	MIN	221,2	1,51	32,3	31,8	1043	0,92	9,8	1,2	4,97	250,0	36,6	1092
Fm. Vela (n=17)	PROM	249,6	3,36	36,3	38,4	1298	0,93	14,5	14,0	5,64	283,2	41,4	1465
	MÁX	351,9	6,22	52,3	45,5	2877	0,97	16,7	37,8	9,67	380,5	59,6	2987
	MIN	175,2	1,57	22,8	29,9	875	0,90	12,4	3,8	2,26	186,8	24,1	1065
Fm. Barker (n=40)	PROM	370,7	5,25	45,9	31,0	2423	0,95	12,5	5,7	6,74	388,2	48,1	2535
	MÁX	486,9	7,61	61,1	35,7	3882	0,97	16,0	35,9	9,04	497,5	62,2	3966
	MIN	172,5	3,46	22,5	28,5	1014	0,92	9,0	1,8	2,09	234,4	30,5	1378
(Rabassa, 1973)		10 ⁻⁸ m ³ Kg ⁻¹	%	10 ⁻³ Am ³ Kg ⁻¹	mT	10 ⁻⁶ m ³ Kg ⁻¹	adim	kA/m	%	%	10 ⁻⁸ m ³ Kg ⁻¹	10 ⁻³ Am ³ Kg ⁻¹	10 ⁻⁶ m ³ Kg ⁻¹

elevado de este parámetro (8,00%) corresponde al horizonte A del suelo actual en el perfil de Villa Cacique.

La magnetización remanente isotérmica de saturación (MRIS), al igual que la susceptibilidad magnética, es un parámetro dependiente de la concentración, debido a ello también presenta comportamientos diferentes en las unidades litoestratigráficas estudiadas. Para caracterizar la mineralogía magnética del perfil geológico se realizó el análisis de las curvas de adquisición de MRI y del espectro de coercitividades de la remanencia (Hcr). Los valores de MRIS promedio fueron de 45,9 mAm² Kg⁻¹ para la Formación Barker, 36,3 mAm² Kg⁻¹ para la Formación Vela y 49,0 mAm² Kg⁻¹ en la Formación Las Ánimas. Los valores de coercitividad de la remanencia (Hcr) poseen escasa variación en los perfiles estudiados (28,5 – 47,6 mT). No obstante, se distingue un incremento en las Formaciones Vela y Las Ánimas (38,4 y 38,3 mT respectivamente) respecto a la Formación Barker (31,0 mT). Los valores más bajos de Hcr hallados en la Formación Barker estarían vinculados al mayor grado pedogenético de la misma (Figura 5a). Cabe consignar que este comportamiento es contrario al observado en secuencias de loess y paleosuelos de la región de La Plata; (Bidegain et al, 2007, entre otros) y en los suelos actuales de la misma (eg. Bartel et al 2005).

La susceptibilidad magnética anhistérmica (χ MRA) es dependiente de la concentración de los minerales ferrimagnéticos y de la abundancia de granos pequeños de magnetita (dominio simple). Los valores más elevados corresponden a la Formación Barker ($2423 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$), en cambio las Formaciones Vela y Las Ánimas poseen valores de 1298 y $1931 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$ respectivamente.

El parámetro S-ratio (MRIS/MRI-300) es un indicador de la contribución de minerales ferrimagnéticos, como la magnetita. Si ésta es dominante, el S-ratio adquiere un valor muy cercano a 1. No se registraron variaciones

importantes en el valor de este parámetro, oscilando a entre 0,90 y 0,98, con un promedio de 0,95, tanto para la Formación Barker como para la Formación Las Ánimas. El valor promedio para la Formación Vela fue de 0,93.

El cociente MRIS/clf elimina los efectos de concentración, brindando información sobre la mineralogía y el tamaño de grano magnético. El valor de MRIS/clf promedio de todas las muestras medidas es de 13,21 kA/m⁻¹. La Formación Barker registra el valor promedio más bajos de este parámetro (12,5 kA/m). La Formaciones Vela y Las Ánimas, en cambio, registran valores promedio de 14,5 y 13,9 kA/m. Coincidiendo con lo observado por Bartel et al, la disminución en el valor de este parámetro estaría vinculada con el aumento del grado pedogenético (Figura 5a).

Los valores de MRIS/clf versus Hcr pueden ser utilizados para estimar la composición de la mineralogía magnética (Peters y Dekkers, 2003) (Figura 5b). Siguiendo a dichos autores, los valores obtenidos en todas las muestras son coincidentes con el comportamiento de Magnetita-Titanomagnetita-Maghemita.

En la Figura 6 los valores de cMRA versus clf son utilizados como estimadores del tamaño de grano magnético (King et al, 1982). Se observa que los valores se acomodan en torno a las líneas correspondientes a diámetros entre 0,1 y 0,2 μm (Dominio Simple). La mayoría de las muestras obtenidas de la Formación Barker, así como de los horizontes A y Bt del suelo actual, se ubican a izquierda de la línea de 0,1 μm , indicando diámetros inferiores a este. Según este esquema, la disminución en el tamaño de grano magnético correspondería con el aumento del grado pedogenético.

Caracterización Química

En la Tabla 2 se indica el porcentaje de Hierro, expresado como óxido (Fe_2O_3) y el porcentaje de Carbonato de Calcio (CaCO_3) de las

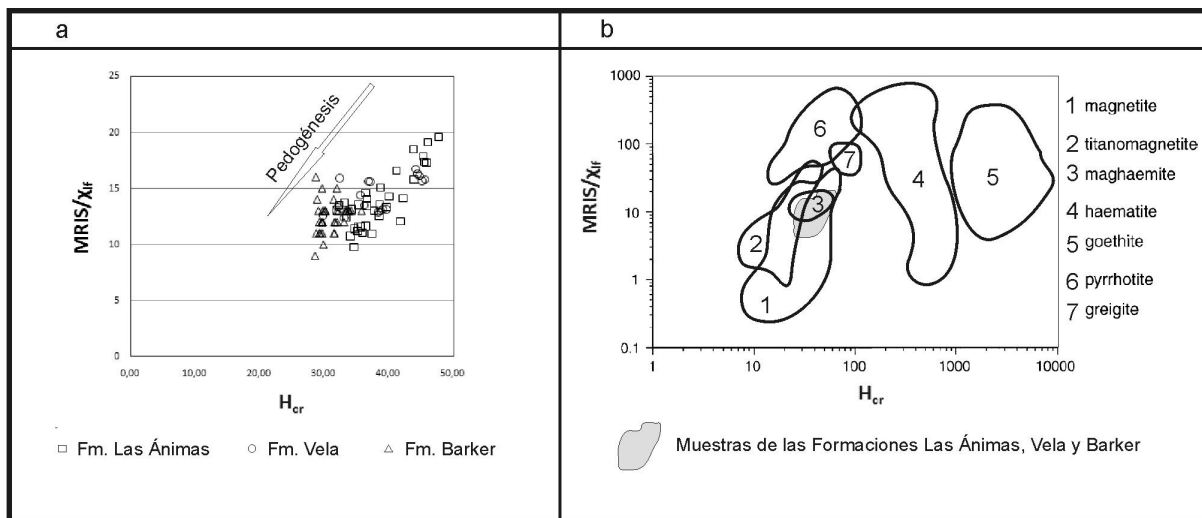


Figura 5. Gráficos MRIS/ χ_{lf} vs. H_{cr} . 5a. Muestras de las Formaciones Las Ánimas, Vela y barker y grado pedogenético. 5b. Grafico de estimación de la mineralogía magnética, modificado de Peters y Dekkers.

muestras obtenidas de las distintas unidades litoestratigráficas Cenozoicas del sector Sierras de Tandil. El contenido de Fe₂O₃ promedio para el perfil fue de 6,31%. Se registró un mínimo y un máximo de 2,09 y 9,67% respectivamente. El valor promedio más alto corresponde a la Formación Barker (6,74%). Las muestras extraídas de la Formación Vela registran un valor promedio de 5,64%. La Formación Las Ánimas registra un valor promedio de 6,05%.

El contenido medio de CaCO₃ fue de 6,83%. El valor promedio más elevado corresponde a la Formación Vela (14,0%), variando entre 3,8 y 37,8%. Las Formaciones Barker y Las Ánimas registran un contenido promedio menor (5,7 y 4,6% respectivamente).

Dada la variabilidad del contenido de CaCO₃, los valores de cl_f, MRIS y cMRA fueron normalizados en función del %CaCO₃ y se presentan en la Tabla 2. Los valores de cl_f normalizados en función del %CaCO₃ (χ_{lf} N/CO₃) registran en las muestras extraídas de la Formación Barker un valor promedio de 388,2x10⁻⁸ m³ Kg⁻¹. Las muestras extraídas de la Formación Vela presentan valores más bajos de χ_{lf} N/CO₃ que los de la Formación Barker,

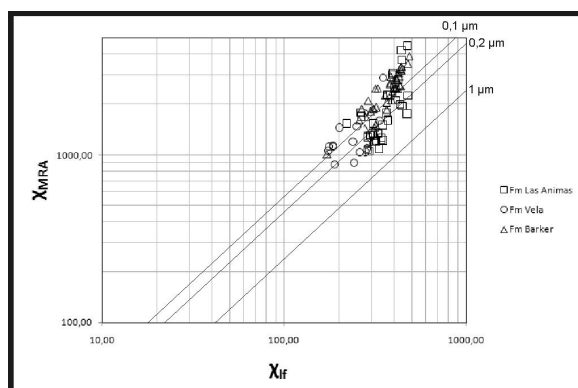


Figura 6. Gráficos χ_{MRA} vs. χ_{lf} para la estimación de tamaños de grano magnético de las muestras de las Formaciones Las Ánimas, Vela y Braker, modificado de King *et al.*

registrándose un valor promedio de 283,2x10⁻⁸ m³ Kg⁻¹. Los sedimentos de la Formación Las Ánimas presentan un valor promedio de 377,3x10⁻⁸ m² Kg⁻¹

La MRIS normalizada por %CaCO₃ (MRIS N/CO₃) presenta un valor promedio de 48,1 mAmm² Kg⁻¹ para la Formación Barker, de 41,4 mAmm² Kg⁻¹ para la Formación Vela y 51,2 mAmm² Kg⁻¹ para la Formación Las Ánimas.

La susceptibilidad magnética anhística normalizada por %CaCO₃ (χ_{MRA} N/CO₃)

presenta un valor promedio marcadamente menor en la Formación Vela ($1465 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$) que el obtenido en muestras de las Formaciones Barker ($2535 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$) y Las Ánimas ($2021 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$).

Los valores de los parámetros magnéticos ($\chi_f \text{ N/CO}_3$, MRIS N/CO_3 y $\chi \text{MRA N/CO}_3$) son más bajos en la Formación Vela que en las Formaciones Barker y Las Ánimas, esto se vincularía principalmente a una menor concentración original de minerales magnéticos, así también a la escasa acción pedogenética observada en los sedimentos de la Formación Vela.

DISCUSIÓN

Las direcciones magnéticas obtenidas en los perfiles en estudio (Figura 1) indican que la sedimentación de las Formaciones Las Ánimas y Vela se desarrolló con posterioridad a 0,78 Ma. Debido a la presencia de discontinuidades, así como la escases, al momento, de datos cronoestratigráficos en la Formación Barker, hace que las direcciones paleomagnéticas obtenidas puedan ser interpretadas de más de una forma. Este hecho nos conduce a tener en cuenta correlaciones locales y regionales. Las correlaciones locales nos indicarían que la edad de la Formación Barker no podría ser inferior a 2,2 Ma, en tanto las regionales nos indicarían una depositación durante el Plioceno.

Dada la asignación temporal de la unidades, es posible vincularlas a los ciclos sedimentarios propuestos por Zárate (2005) (Tabla 3), donde la Formación Las Ánimas se habría depositado durante el ciclo Pleistoceno tardío – Holoceno (0,040-0,030 a 0 Ma), la Formación Vela en las etapas póstumas del ciclo Plioceno-Pleistoceno tardío (3,2 – 0,040/0,030 Ma) y la Formación Barker se habría depositado predominantemente durante el intervalo Mioceno tardío-Plioceno (7-6? – 3,2 Ma). Cabe destacar que la edad aquí sugerida para la sedimentación de Formación Barker sobrepasa el límite superior del ciclo

propuesto por Zárate, más aun si consideramos una posible continuidad depositacional de la misma Formación durante las etapas más tempranas del Pleistoceno.

Tabla 3. Cronos de manetopolaridad asignados a las Formaciones Las Ánimas, Vela y Barker según la escala de inversiones paleomagnéticas de Gradstein et al y vinculación con los ciclos sedimentarios del Cenozoico tardío de la Prov. de Buenos Aires de Zárate.

UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS (Rabassa, 1973)	CRON DE MAGNETOPOLARIDAD (Gradstein et al, 2012)	CICLO SEDIMENTARIO (Zárate, 2005)
Fm. Las Ánimas	Brunhes (<0,781 Ma)	Pleistoceno tardío-Holoceno (0,040-0,030 a 0 Ma)
Fm. Vela	Brunhes (<0,781 Ma)	Plioceno tardío-Pleistoceno tardío (3,2 a 0,040-0,030 Ma)
Fm. Barker	Gauss (2,581-3,596 Ma) - Gilbert (3,596-6,033 Ma)	Mioceno tardío-Plioceno (7-6 ? a 3,2 Ma)

Los sedimentos Neógeno-Cuaternarios que cubren parcialmente la provincia geológica de Tandilia, han sido estudiados desde un punto de vista estratigráfico por diversos autores. Ellos agruparon los cuerpos sedimentarios en unidades litoestratigráficas (Tapia, 1937 y Martínez, 2000 en Sierras de Balcarce; Rabassa, 1973 en Sierras de Tandil; Zárate y Mehl, 2010, en Sierras de Azul y Poire et al, 2013 en Sierras de Olavarría). Del análisis de los trabajos mencionados previamente, surge que la extensión de las Formaciones Las Ánimas y Vela, definidas en las Sierras de Tandil (Rabassa, 1973), abarcaría el sector serrano del Sistema de Tandilia prácticamente en su totalidad, desde Sierras de Olavarría (Poiré et al, 2013) hasta Sierras de Balcarce (Tapia, 1937; Teruggi, 1973), incluso es probable que unidades equivalentes se hallen en los acantilados de la costa atlántica (Teruggi, 1974; Fidalgo y Gentile, 1995; Martínez, 2000). Contrariamente, la homologación de las unidades que subyacen a las Formaciones las Ánimas y Vela, en la provincia geológica de Tandilia, se presenta hasta el momento como una tarea más dificultosa.

Por lo dicho en el párrafo anterior, es menester unificar la nomenclatura de los cuerpos sedimentarios correspondientes a una misma unidad litoestratigráfica y al mismo tiempo

evitar la asignación de nuevas denominaciones a cuerpos litológicos, sin disponer de un análisis pormenorizado de sus posibles vinculaciones estratigráficas. Esto a los fines de evitar lo sucedido en otras localidades, donde el caos generado en la nomenclatura constituye una gran dificultad a la hora de efectuar análisis de antecedentes (Zárate, 2005; Blasi et al, 2009), y por sobre todo, a los fines de la correlación estratigráfica.

El análisis de los parámetros de magnetismo de rocas en los sedimentos de las Formaciones Las Ánimas, Vela y Barker, indicaría que la mineralogía que domina la señal magnética en todas las unidades estudiadas es similar (magnetita-titanomagnetita-maghemita). Las variaciones en el valor de dichos parámetros estaría dada principalmente por diferentes concentraciones y tamaños de grano de los minerales magnéticos, y se vincularían esencialmente al mayor grado de desarrollo pedogenético que presenta la Formación Barker respecto de las Formaciones Vela y Las Ánimas, así como a los distintos mecanismos y tasas de depositación. Es preciso aclarar que el patrón de comportamiento magnético, asociado a la acción pedogenética, debe restringirse a la zona de investigación, siendo opuesto al obtenido en el Norte de la provincia de Buenos Aires con precipitaciones del orden de los 1000 mm/ anuales (Bidegain et al, 2005, 2007; Bartel et al, 2011, entre otros).

Los datos de los parámetros magnéticos obtenidos en la presente contribución brindan la posibilidad de aportes en el campo de la interpretación paleoambiental y paleoclimática del Neógeno y el Cuaternario en futuras contribuciones.

CONCLUSIONES

Las direcciones paleomagnéticas normales obtenidas en sedimentos de las Formaciones Las Ánimas y Vela indican que los mismos se depositaron durante el Cron Brunhes ($< 0,78$ Ma). En tanto los niveles analizados, correspondientes a la Formación Barker, se atribuyen al Cron Gauss

(2,581-3,596 Ma) y Gilbert (3,596-6,033 Ma). Las edades magnéticas asignadas a las Formaciones Las Ánimas, Vela y Barker se muestran en la Tabla 3.

Los valores de coercitividad de la remanencia (Hcr), S-ratio y MRIS/clf en todas las muestras de los perfiles estudiados son coincidentes con el comportamiento de la magnetita-titanomagnetita-maghemita. Esto indicaría que dicho mineral es el principal portador de la remanencia.

El tamaño de grano magnético presente en los minerales de las Formaciones Las Ánimas, Vela y Barker, estimados a partir del gráfico cMRA versus clf, oscilan entre 0,1 y 0,2 μm (Dominio Simple).

En líneas generales, los valores de los parámetros magnéticos (clf y MRIS) son marcadamente más bajos en la Formación Vela que en las Formaciones Barker y Las Ánimas, esto se interpretaría, en una primera instancia, como un efecto de la dilución de la señal magnética dada por los altos porcentajes de CaCO_3 en la Formación Vela. Sin embargo esta tendencia continúa tras normalizar los parámetros en función del CaCO_3 , lo cual se vincularía a una menor concentración original de minerales magnéticos, así como a una menor contribución de magnetita fina y ultrafina en los sedimentos de la Formación Vela.

Los valores del factor susceptibilidad dependiente de la frecuencia (cdf%) sugieren una mayor contribución de partículas superparamagnéticas (SP) en la Formación Barker (5,25%) que en las Formaciones Vela (3,36%) y Las Ánimas (3,72%). Esta mayor contribución de partículas SP se relaciona con el mayor grado de pedogénesis (horizontes Bt y Btss) en la Formación Barker.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al LEMIT, a la CIC y al CONICET por el apoyo brindado para realizar este trabajo. Asimismo agradecemos al Instituto de Física Arroyo Seco por facilitarnos el uso de sus

equipos e instalaciones y a Leandro Remón por su colaboración en las tareas de campo.

REFERENCIAS

Avramov, V., Jordanova, D., Hoffman, V., Roesler, W. (2006): The role of dust source area and pedogenesis in three loess-paleosol sections from north Bulgaria: a mineral magnetic study. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 50: 259-282.

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

Bartel, A.A., Bidegain, J.C., 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: 591-598.

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

Bidegain, J.C., M.E. Evans, M.E., y van Velzen A.J. (2005): Magnetoclimatological investigation of Pampean Loess Argentina. *Geophysical Journal International*, 160: 55-62.

Bidegain, J.C., van Velzen, A.J. y Rico, Y. (2007): The Brunhes/Matuyam boundary and magnetics parameters related to climatic changes in Quaternary sediment of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 23: 17-29.

Blasi, A., Prieto, A., Fucks, E. y Figini, A. (2009): Análisis de las nomenclaturas y de los esquemas estratigráficos del Pleistoceno Tardío-Holoceno en la cuenca del río Lujan, Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana*, 46: 373-390.

Cione, A.L., Tonni, E.P., Bargo, S., Bond, M., Candela, A.M., Carlini, A.A., Deschamps, C.M., Dozo, M.T., Esteban, G. Goin, F.J. Montalvo, C.I., Nasif, N., Noriega, J.I., Ortiz Jaureguizar, E., Pascual, R., Prado, J.L. Reguero, M.A., Scillato-Yané, G.J., Soibelzon, L. Verzi, D.H., Vieytes, E.C., Vizcaino, S.F. y Vucetich, G.M. (2007): Mamíferos continentales del Mioceno tardío a la actualidad en la Argentina: cincuenta años de estudios. *Ameghiniana Publicación Especial*, 11: 257-278.

Demoulin, A., Zárate, M. y Rabassa, J. (2005): Long-term landscape development: a perspective from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 19: 193-204.

Fidalgo, F. y Gentile, R.O. (1995): La Formación Arroyo Seco en las barrancas ubicadas entre el Arroyo Chapadmalal y Punta Hermengo (Prov. De Buenos Aires). *4tas. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*. 1: 135-141.

Folguera Telichevsky, A. (2011): La reactivación neógena de la Pampa Central. Tesis Doctoral Universidad de Buenos Aires, Argentina, 192 pp.

Gasparini, G., Rabassa, J., Soibelzon, E., Soibelzon, L., Tonni, E. (2012): Estratigrafía y paleontología

del Cenozoico tardío de la región de Tandil, provincia de Buenos Aires. I Simposio del Mioceno-Pleistoceno del centro y norte de Argentina. Actas, 46-47.

Gómez Samus, M.L., Poiré, D.G., Bidegain J.C., Arrouy, J., De los Reyes, M., Canalicchio, J. M. (2014): Estudio paleomagnético preliminar en sedimentos de la Formación El Polvorín, Partido de Olavarria, Sistema de Tandilia. III Jornadas Paleontológicas del Centro. Actas, 15-16.

González Bonorino, F. (1965): Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 20: 67-148.

Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D. y Ogg G.M. (2012): The Geologic Time Scale. Oxford, Elsevier, 1115 pp.

Ñíguez, A.M. (1999): La Cobertura Sedimentaria de Tandilia. En: Geología Argentina (R. Caminos, ed.), Anales 29: 101-106.

Johnson, D. L. y Balek, C. L. (1991): The genesis of Quaternary landscapes with stone lines. Physics Geography, 12: 385-395.

King J., Banerjee, S., Marvin, J., Ozdemir, O. (1982): A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediment. Earth and Planetary Science Letters, 59: 404-419.

Martinez, 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 Inédita. Universidad Nacional del Sur. 348p.

Orgeria, M.J. (1987): Estudio paleomagnético de sedimentos del cenozoico tardío en la costa atlántica bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42: 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 South American land mammal ages. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 64: 121-132.

Pascual, R., Ortega Higinosa, J. Gondar, D. y Tonni, E.P. (1965): Las edades del cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. Anales de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, 6: 165-193.

Peters, C. y Dekkers, M. (2003): Selected room temperature magnetic parameters as function of mineralogy, concentration and grain size. Physics and Chemistry of the Earth, 28: 659-667.

Poiré D.G., de los Reyes, M., Arrouy, M.J. y Canalicchio, J.M. (2013): Estratigrafía del Neógeno intraserrano del Núcleo Central de las Sierras Bayas, extremo noroccidental del Sistema de Tandilia, Región Pampeana, Argentina. II Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina, Actas, 21-22.

- Rabassa, J. (1973): Geología superficial en la hoja "Sierras de Tandil", provincial de Buenos Aires. LEMIT, 240: 115-160.
- Ramos, V.A. (1999): Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. 1. Evolución tectónica de la Argentina. En: Geología Argentina (R. Caminos, ed.), Anales 29: 715-784.
- Rico, Y., Gómez Samus, M.L., Bidegain, J.C. (2014): Nuevos registros de polaridad magnética en el sector comprendido entre Chapalmalal y Necochea. III Jornadas Paleontológicas del Centro.
- Ruoco, M. (1989): A 3 Ma paleomagnetic record of coastal continental deposits in Argentina, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 72: 105-113.
- Schultz, P., Zárate, M., Hames, W., Camilión, C. y King, J. (1998). A 3,3 Ma impact in Argentina and posible consequences. Science, 283: 2061-2064.
- Soil Survey Staff (2010): Keys to Soil Taxonomy. 11th Edition. USDA. Washington DC. 338 pp
INTA, 1970. Carta de Suelos de la República Argentina, Hojas 3760-23, 3760-29 y 3760-30.
- Tapia, A., 1937. Las cavernas de Ojo de Agua y las Hachas. Historia geológica de la región de la Brava en relación con la existencia del hombre prehistórico. Boletín Dirección General de Industria Minera, 43: 1-126.
- Teruggi, M.E. (1957): The nature and origin of Argentine loess. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 322-332.
- Teruggi, M.E., Spalletti, L.A. y Dalla Salda, L.H. (1973): Paleosuelos en la Sierra Bachicha, Partido de Balcarce. Revista del Museo de La Plata, Sección Geología, VIII: 227-256.
- Teruggi, M.E., Andreis, R.H., Mazzoni, M.M., Dalla Salda, L.H. y Spalletti, L.A. (1974): Nuevos criterios para la estratigrafía del cuaternario de las Barrancas de Mar del Plata-Miramar. Anales del LEMIT, 268: 135-148.
- Teruggi, M. y Killmurray, J. (1975): Tandilia. Relatorio de Geología de la Provincia de Buenos Aires, VI Congreso Geológico Argentino: Actas, 55-77.
- Verzi, D.H. y Montalvo, C.I. (2008): The oldest South American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 267: 284-291.
- Zárate, M.A. (2005): El Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, 139-149.
- Zárate, M. y Mehl, A. (2010): Geología y geomorfología de la cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanura. I: 65-78.