



UNIVERSIDAD NACIONAL
de LA PAMPA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**“ANÁLISIS MICROMORFOLÓGICO Y PALEOMAGNÉTICO DE ALGUNOS
PALEOSUELOS DE LA FORMACIÓN CERRO AZUL (MIOCENO SUPERIOR)
EN EL CENTRO – ESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA”.**

MARÍA BELÉN ZENTNER

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

Febrero del 2013

Directora: Dra. Graciela Visconti

Prefacio

Esta tesina es presentada como parte de los requisitos para obtener el grado Académico de Licenciada en Geología, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en ninguna otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Sedimentología dependiente del Departamento de Ciencias Naturales, durante el período junio 2012 a febrero 2013, bajo la dirección de la Dra. Graciela Visconti.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a las personas e instituciones que formaron parte directa o indirectamente de mi formación y de la realización de este trabajo.

-A **Graciela Visconti**, mi Directora de Tesis, por su apoyo desde lo académico hasta lo personal.

-A **Enzo Gerling**, compañero y amigo que participó de las campañas y colaboró en todo aquello que fue necesario.

-A **Ricardo Melchor, Claudia Montalvo y Mónica Pires**, por permitirme utilizar los datos de susceptibilidad magnética tomados durante diversos trabajos de investigación en el área, dentro de proyectos financiados por la Facultad.

-A la **Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam**, por el apoyo financiero, principalmente a través del proyecto de investigación N° 223, y por el uso del instrumental.

-A mi **Familia**. Por el apoyo siempre incondicional.

-A mis **Amigos y compañeros** por su apoyo diario.

-A **todos los profesores** que tuve a lo largo de la carrera, que me formaron como profesional y a quienes siempre recordaré.

ÍNDICE

	Página
Resumen-Abstract	3
Introducción	4
Objetivos	4
Hipótesis	5
Marco geológico	6
Ubicación Geográfica	9
Materiales y métodos	12
Resultados	13
<i>Análisis de facies</i>	13
<i>Análisis micromorfológico y composición mineralógica</i>	19
<i>Análisis de susceptibilidad magnética</i>	26
Discusión y Conclusiones	30
Bibliografía	32

RESUMEN

Se realizó un estudio sedimentológico y micromorfológico de las sedimentitas continentales miocenas pertenecientes a la Formación Cerro Azul a través de una transecta de dirección O – E, entre las localidades de La Araña (departamento Toay), Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas (departamento Capital), provincia de La Pampa, las que se encuentran cercanas entre sí. Para ello se trató de profundizar el conocimiento de los procesos que generaron estos depósitos con el fin de realizar su interpretación paleoambiental.

La atención fue puesta en las características micromorfológicas y mineralógicas de los paleosuelos, a los que se les adicionaron los datos de variaciones de susceptibilidad magnética con el fin de determinar una posible vinculación entre ellos, ya sea que representen distintos niveles de pedogénesis, o un único evento con cambios determinados por la paleotopografía.

Se determinó que dichos paleosuelos no corresponden a un mismo evento pedogenético y se propuso un panel de correlación entre las distintas localidades a partir de las conclusiones obtenidas mediante las distintas técnicas aplicadas.

ABSTRACT

A detailed sedimentological and micromorphological study of the Miocene Cerro Azul Formation continental sedimentary rocks was conducted through transect W - E, between La Araña (Toay department), Bajo Giuliani, Estancia Don Mariano and Barrancas Coloradas (Capital department) localities, La Pampa province. These localities are close to each other. To accomplish this study, the knowledge of the processes that generated these deposits was deepened, in order to make its paleoenvironmental interpretation.

Paleosoils mineralogical and micromorphological features were the focus of the study. Data of magnetic susceptibility variations were also considered, in order to determine a possible link between paleosoils. They could represent different levels of pedogenesis, or a single pedogenetic event with changes among analyzed localities determined by the paleotopography.

Throughout this study, it was determined that these paleosoils do not correspond to a paleocatena; a panel of correlation among different locations is suggested based on the conclusions obtained by the different applied techniques.

INTRODUCCIÓN

Las sedimentitas de la Formación Cerro Azul (sensu Llambías 1975; Linares *et al.* 1980; Goin *et al.* 2000; Visconti 2007), que afloran en distintos sectores del este y centro de La Pampa, están compuestas principalmente por limolitas loésicas, entre las que se puede identificar claramente la existencia de paleosuelos. Estas rocas han sido asignadas principalmente a la Edad Huayqueriense (Mioceno tardío) (Verzi *et al.* 2008 y bibliografía allí citada).

De acuerdo con los conocimientos existentes acerca de la Formación Cerro Azul (Visconti 2007), serían necesarios estudios de detalle para efectuar comparaciones entre los afloramientos estudiados y otros ubicados en localidades cercanas, que permitan ajustar las interpretaciones realizadas hasta el momento y analizar la variabilidad paleoambiental que pudiera presentarse. En particular los afloramientos de la Formación Cerro Azul aflorantes en La Araña, Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas, distan pocos km entre sí, y pueden alinearse en una transecta O-E, desde La Araña hasta Barrancas Coloradas. Esta particularidad permitió efectuar correlaciones precisas en base a los niveles de paleosuelos identificados y las cotas a las que se presentan, para comprobar la existencia, o no, de una paleocatena entre los perfiles ubicados a lo largo de la transecta mencionada.

OBJETIVOS

Objetivos generales

Entre los objetivos generales se procura realizar el estudio detallado de las sedimentitas de la Formación Cerro Azul en los afloramientos ubicados en una transecta O-E que conecta las localidades de: La Araña, Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas, con la finalidad de efectuar correlaciones entre ellos, a partir de los paleosuelos presentes.

Por otra parte, se aspira aportar al conocimiento de las características sedimentológicas, paleoambientales y paleoclimáticas de la Formación Cerro Azul en la región centro-este de la provincia de La Pampa.

Objetivos particulares

Con esta Tesina se pretende analizar topográficamente las localidades de La Araña, Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas; identificar en cada una de ellas los paleosuelos presentes, e intentar vincularlos a partir de estudios micromorfológicos y de susceptibilidad magnética.

HIPÓTESIS

“Los paleosuelos de la Formación Cerro Azul, que afloran de manera discontinua, y a corta distancia entre sí, responden a eventos pedogenéticos que pueden correlacionarse lateralmente en base a sus características pedológicas y representan la paleotopografía del área de estudio en distintos lapsos”

MARCO GEOLÓGICO

La Formación Cerro Azul fue definida en el año 1980 por Linares, Llambías y Latorre, como una unidad formada por sedimentitas continentales, limolitas y areniscas, con intercalaciones de arcilitas en la base y calcretes hacia el techo de la sucesión, siendo posteriormente redefinida por Visconti *et al.* (2010).

Esta Formación posee una distribución regional extensa y discontinua en la provincia de La Pampa (Visconti *et al.* 2010, Fig. 1); se encuentra suprayaciendo al basamento ígneo – metamórfico de edades pampeanas (Proterozoico medio, Paleozoico temprano y medio - Linares *et al.* 1980) y famatinianas (Paleozoico temprano - Sato *et al.* 1999, 2000) correspondientes a Sierras Pampeanas orientales y occidentales. Forma parte del relleno sedimentario neógeno de las cuencas Macachín, Quehué y Colorado, estructuras formadas durante la apertura del Océano Atlántico durante el Jurásico Tardío – Cretácico (Juan *et al.* 1996). Su presencia ha sido reconocida sobre las sedimentitas marinas de la Formación Barranca Final (Mioceno medio-superior) y fluvio-eólicas de la Formación Río Negro (Mioceno superior). Se interdigita con ésta última en la Cuenca del Colorado (Visconti *et al.* 2002; de Elorriaga y Visconti 2005) y yace sobre los depósitos marinos de la Formación Macachín (Salso 1966) en la Cuenca homónima (Salso 1966; Gai y Tullio 1998; de Elorriaga y Tullio 1998). Folguera y Zárate (2009) plantean una relación distinta entre la Formación Cerro Azul y la Formación Río Negro: presentan la interdigitación en los sectores basales, y colocan a la Formación Río Negro por encima de la Formación Cerro Azul en el sector superior. Los afloramientos expuestos generalmente aparecen en cárcavas, zonas deprimidas o en planicies de bajo gradiente. También se encuentra en el centro este de La Pampa sobre los márgenes de los valles transversales de rumbo ENE (Calmels 1996). Varias investigaciones paleontológicas realizadas en la Formación Cerro Azul han permitido detectar un amplio registro fosilífero, donde se destacan fundamentalmente mamíferos de los órdenes: Didelphimorphia, Sparassodonta, Paucituberculata, Argyrolagida, Xenarthra, Notoungulata, Litopterna, Rodentia y Carnivora (Goin *et al.* 2000; Urrutia *et al.* 2008; Cerdeño y Montalvo 2001, 2002; Montalvo *et al.* 1998; Verzi *et al.* 1991; 1995; 1999; 2008; 2011; Esteban *et al.* 2001; Olivares *et al.* 2012; Cenizo *et al.* 2012). También se han hallado restos de aves (Campbell y Tonni 1980; Cenizo y Montalvo 2006), anfibios y reptiles (Albino *et al.* 2006; Albino y Montalvo 2006). En algunas localidades, los restos de vertebrados están asociados a trazas

fósiles, incluyendo hormigueros (Laza 1982) y celdillas de abejas (Montalvo *et al.* 2008). Este contenido fosilífero ha posibilitado ubicar geocronológicamente a la unidad en el intervalo de 10 Ma. a 5,8-5,7 Ma. (Montalvo y Casadío 1988; Zárate *et al.* 2007).

Goin *et al.* (2000) reconocieron en la Formación Cerro Azul tres asociaciones de facies que fueron interpretadas como depósitos lacustres, depósitos de loess-paleosuelos y depósitos fluviales efímeros. El 80 % de esta Formación está integrado por depósitos de loess con paleosuelos intercalados (Visconti 2007). En particular, el análisis micromorfológico de los paleosuelos observados en los afloramientos de mayor desarrollo vertical, tales como Cerro El Morro, Cerro Patagua y Algarrobo del Águila, distantes aproximadamente 150 km entre sí, permitió identificar microestructuras propias de suelos dominados por una vegetación abierta en ambientes semiáridos (Visconti 2007).

Mediante el estudio petrográfico de estas rocas, se estableció su procedencia, detectándose litologías principalmente de rocas volcánicas, proveniente de los sectores de arco volcánico no disectado, arco transicional y orógeno reciclado (Visconti 2007). Como área de aporte probable, se sugirió al arco volcánico andino del sur mendocino que funcionó mediante dos ciclos eruptivos: Molle (Oligoceno superior-Mioceno), compuesto por rocas basálticas, seguido por Huincán, formado por rocas andesíticas (Mioceno medio-superior – Visconti 2007).

Los análisis de susceptibilidad magnética en la Formación Cerro Azul aportaron valores bajos en los paleosuelos y valores relativamente más altos en las capas loésicas (Visconti 2007), debido a procesos de disolución de óxidos de hierro en los suelos y posterior acumulación de los mismos en el loess.

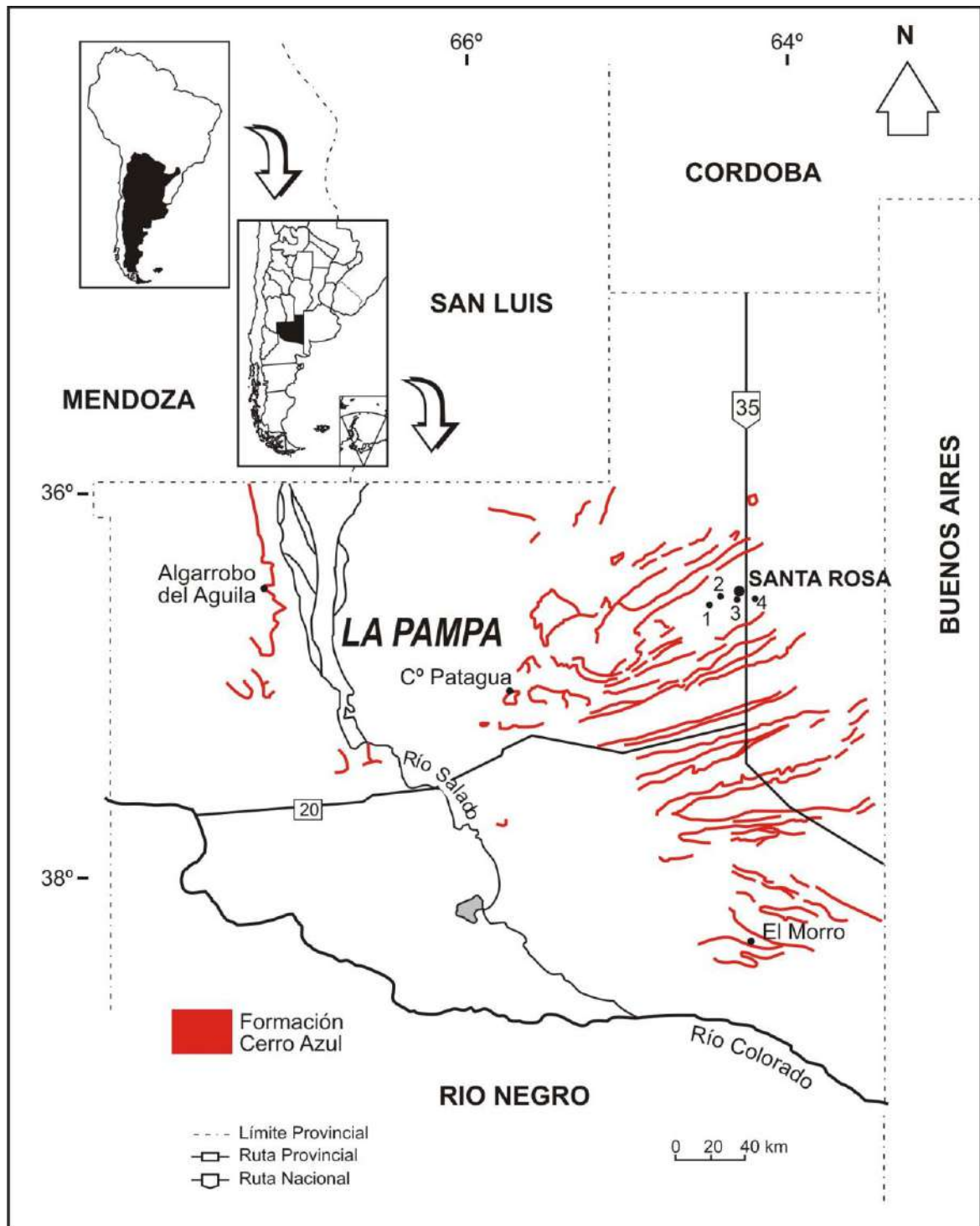


Figura 1. Distribución de la Formación Cerro Azul en la provincia de La Pampa. 1: La Araña, 2: Don Mariano, 3: Bajo Giuliani y 4: Barrancas Coloradas.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las localidades estudiadas se encuentran ubicadas en el centro - este de la provincia de La Pampa al sur de la ciudad de Santa Rosa (Figs. 1 y 2). Geomorfológicamente se hallan en la zona del Sistema de Valles Transversales (Calmels 1996), que han sido interpretados como una planicie estructural con presencia de cerros testigos o “monad nocks” cubiertos por una costra calcárea y relictos de mesetas que han resistido a las acciones hídricas que modelaron la planicie. El trabajo del viento completó el modelado de la superficie sobre la cual se reconocen actualmente una serie de depresiones alargadas, con rumbos que oscilan entre N55°O y O-E que disectan la planicie, fraccionándola en entidades menores designadas con el nombre de mesetas (Calmels 1996).

Este estudio se realizó a lo largo de una transecta con dirección general O-E que cubre una longitud de 26,7 km (Fig. 2 y 3), específicamente en cuatro localidades: La Araña, Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas. En el extremo occidental de la transecta, se encuentra la localidad de La Araña (departamento de Toay), a 36° 42' 47" S y 64° 28' 47" O y a una cota de 241 msnm, siendo la misma la más elevada de las cuatro localidades analizadas. Don Mariano (departamento Capital) se encuentra hacia el noreste de La Araña, a los 36° 42' 47" S y 64° 28' 47" O y a 165 msnm. La transecta sigue en dirección hacia el sudeste hasta Bajo Giuliani (departamento Capital), con 36° 44' 54" S y 64° 18' 07" O y a 132 msnm; y finaliza en el extremo más oriental en Barrancas Coloradas (departamento Capital), cuyas coordenadas son 36° 41' 51" S y 64° 12' 22,84" O, con una cota de 132 msnm.

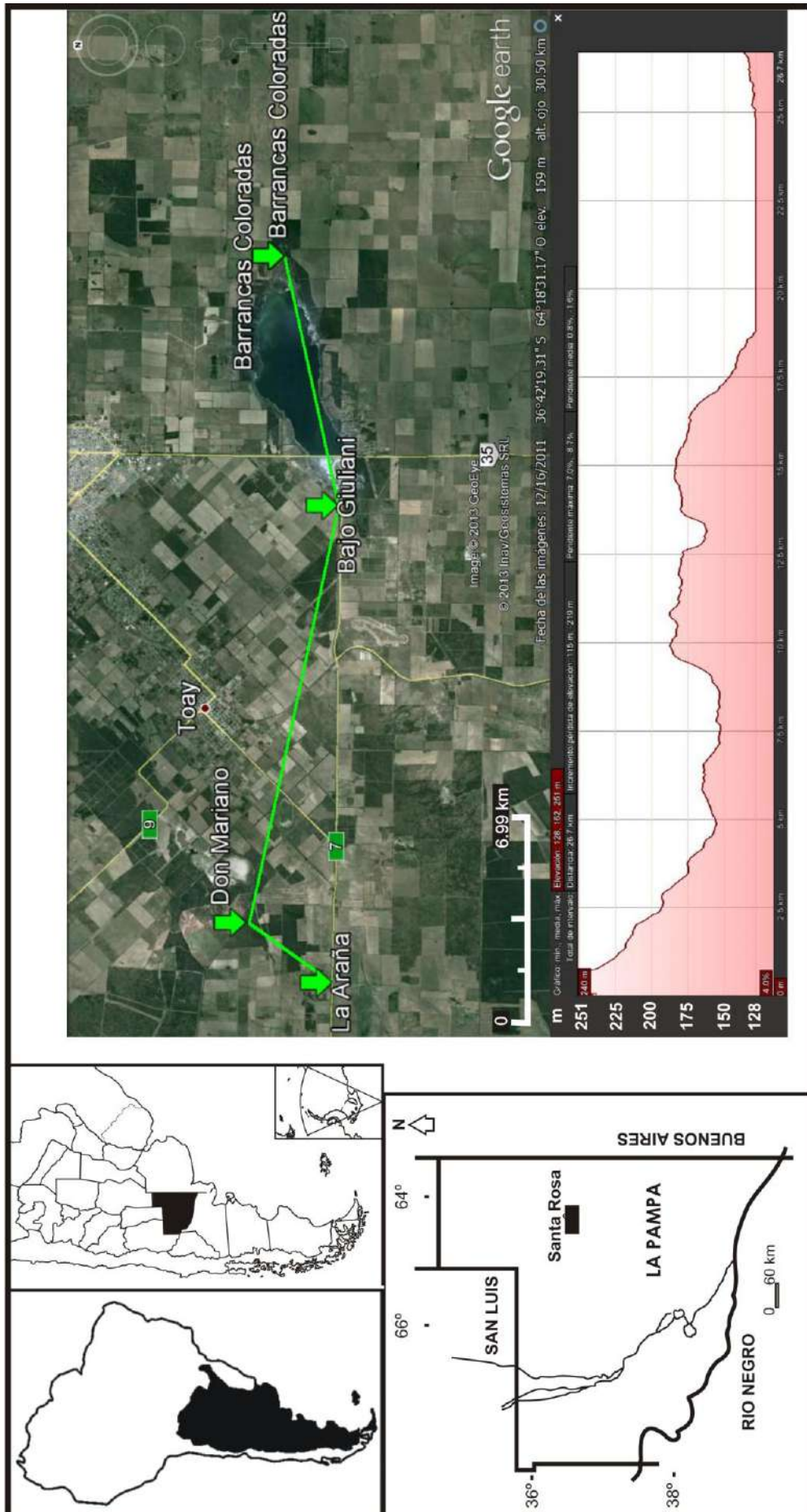


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio, transecta entre las localidades de La Araña, Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas y perfil de elevación sobre el nivel del mar

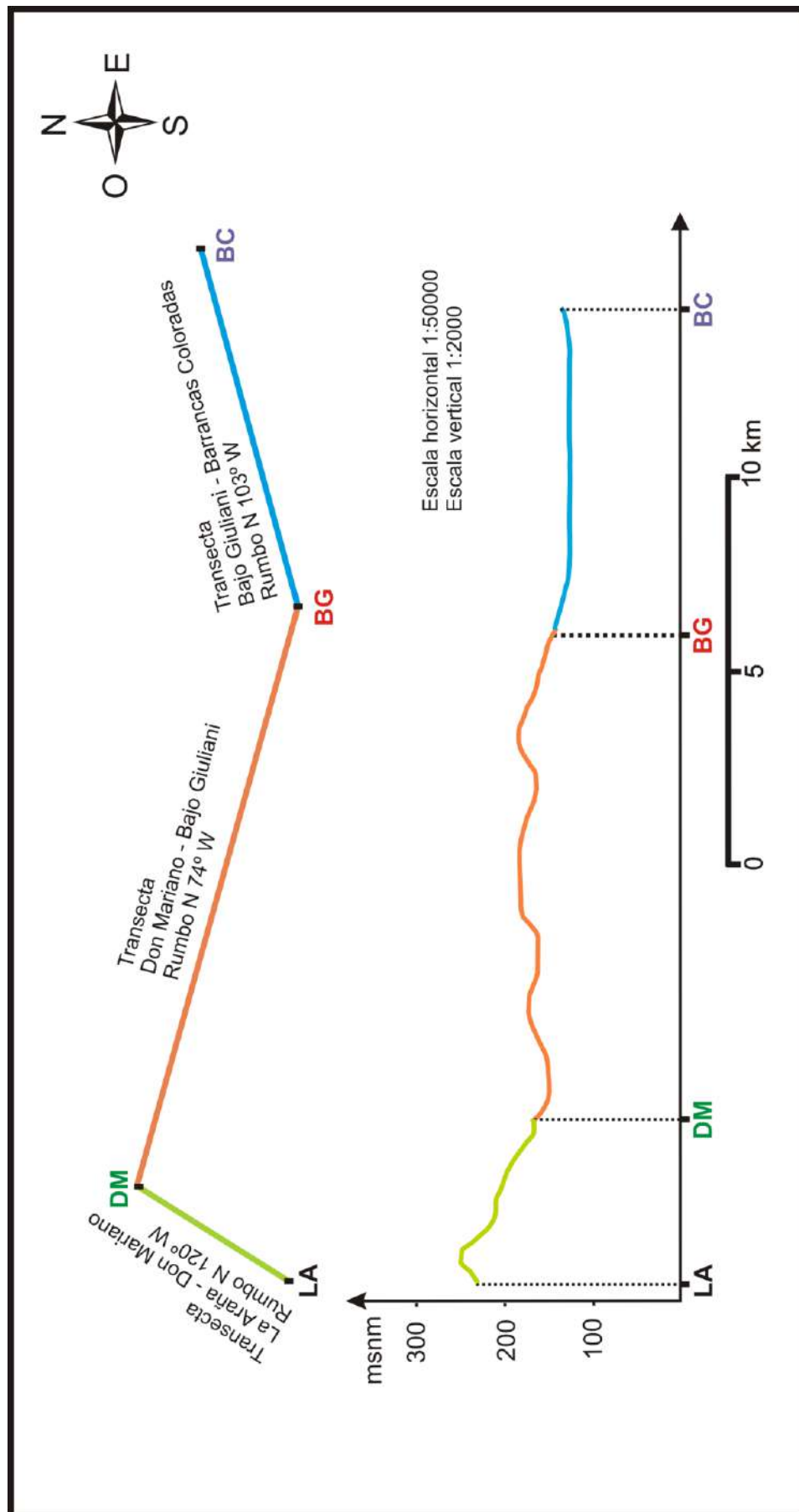


Figura 3. Perfil topográfico con traza no rectilínea de la transecta objeto de estudio, de oeste a este: LA: La Araña, DM: Don Mariano, BG: Bajo Giuliani, BC: Barrancas Coloradas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de correlacionar estratigráficamente las localidades de La Araña, Don Mariano, Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas, se realizaron diversas tareas que involucraron observaciones de campo de las sedimentitas aflorantes asignadas a la Formación Cerro Azul. Se levantaron perfiles sedimentológicos verticales y laterales en las distintas localidades, los cuales fueron georeferenciados con GPS (Garmin modelo 60CX Map). En la descripción de los perfiles se tomaron datos de espesor que fueron medidos con báculo de Jacob. Para determinar el color se comparó a las muestras de sedimento en seco con la tabla de colores *Rock Color Chart* (Goddard *et al.* 1948). En cada perfil se determinó la litología, la textura, los contactos y la presencia de estructuras sedimentarias; así como también se realizó un muestreo sistemático de cada capa y se tomaron fotografías.

En gabinete se evaluaron los antecedentes bibliográficos y se precisó la ubicación de las localidades estudiadas en imágenes *Google Earth*, para elaborar un mapa general de la distribución de las mismas y un perfil de elevación del terreno (Figs. 2 y 3). Los perfiles estratigráficos relevados fueron ubicados en las cartas topográficas del IGM a escala 1:50000, denominadas: “Toay” (Hoja 3763-13-1) y “Potrillo Oscuro” (Hoja 3763-13-2) con la finalidad de establecer una transecta, un perfil topográfico de traza no rectilínea y su posterior representación en paneles de correlación. Los mismos fueron dibujados usando el *software Corel Draw 3X*. La litología se refinó mediante observaciones a la lupa binocular para cada una de las capas analizadas en cada localidad y en cortes delgados al microscopio petrográfico (*Nikon Eclipse E400POL*), con los cuales se determinaron las características petrográficas y micromorfológicas de los depósitos. Las muestras analizadas al microscopio fueron doce en total, tres de ellas procedentes de Bajo Giuliani (BG1, BG4 y BGX), dos correspondientes a Don Mariano (DM12 y DM14), cuatro de Barrancas Coloradas (BC3 up, BC4, BC5 y BC15) y tres de La Araña (E2, E7 y E8). Para estimar la composición modal de las sedimentitas estudiadas se realizó el conteo de 200 puntos por cada corte, empleando un contador de puntos *Prior Modelo G*. Para el análisis micromorfológico se siguieron los criterios de Bullock *et al.* (1985) con la traducción al castellano de Stoops (1990). Se obtuvieron los tamaños de clastos para determinar la relación c/f, así como la de otros caracteres micromorfológicos tales como huecos, agregados, terrones y componentes minerales, siguiendo una transecta determinada por el

contador de puntos. Se procesaron datos de susceptibilidad magnética, que fueron tomados mediante un susceptibilímetro *Kappameter KT-5*, durante varias campañas efectuadas en el mes de julio de 1998, llevadas a cabo por docentes-investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales en el marco de diversos planes de investigación financiados por la misma institución. Los datos se obtuvieron calculando los valores promedio de las mediciones tomadas cada diez centímetros en cada perfil levantado, y se construyeron curvas a la misma escala sobre los perfiles dibujados para analizar el patrón.

Con el fin de llevar a cabo la caracterización y evolución del ambiente de sedimentación de los niveles de la Formación Cerro Azul en las distintas localidades, se identificaron e interpretaron facies individuales y posteriormente se analizó la asociación de facies para inferir el paleoambiente. Los rasgos sedimentológicos considerados para definir las facies sedimentarias fueron: litología, textura, color, espesor, estructuras sedimentarias y características de los contactos. En su nomenclatura se ha utilizado una letra mayúscula que simboliza la interpretación de la facies, para su discernimiento en los gráficos.

Se procedió a la discusión de los mismos con la bibliografía consultada y se elaboró la conclusión.

RESULTADOS

ANÁLISIS DE FACIES

A continuación se presenta el análisis litofacial realizado en cada uno de los perfiles levantados en las cuatro localidades de estudio seleccionadas (Fig. 4); sus características se resumen en la Tabla 1.

Descripción e interpretación de facies

Litofacies P: Limolitas arcillo-arenosas con agregados (peds) y marcas de raíces

Descripción

Facies formada por limolitas arcillo-arenosas, friables, con colores que van desde el pardo claro (5YR 6/4 y 10 YR 6/2) al pardo más oscuro y más rojizo (10 YR 5/4 y 7,5 YR

5/4). El contacto superior es neto y abrupto y el inferior irregular (Lámina I, 1). Presenta geometría externa de tipo tabular. Se hallaron agregados (peds) con estructura en bloques

(Lámina I, 2), generalmente de tipo subangular y en algunos casos prismáticos (Retallack 1988). Se observan marcas de raíces y rizoconcreciones carbonáticas (Lámina I, 3) que van desde abundantes a escasas. Estas estructuras comprenden diferentes tamaños: de 0,5 cm a 0,2 cm de diámetro por 1 a 5 cm de largo, hasta de 1 a 3 cm de diámetro por 5 a 15 cm de largo. El espesor de las capas oscila entre 0,2 y 0,7 m. Esta Facies se halla presente en las cuatro localidades estudiadas.

Interpretación

Esta litofacies es interpretada como un paleosuelo por las características diagnósticas que presenta, tales como contacto superior neto e inferior irregular, continuidad lateral, geometría aproximadamente tabular, presencia de peds de estructura bien definida, presencia de rizoconcreciones carbonáticas y evidencias de porosidad provocada por las raíces (Retallack 1988). Los cambios verticales de coloración en la misma litofacies podrían indicar el movimiento vertical de arcillas y coloides desde horizontes superiores que han sido lixiviados (Visconti 2007).

Litofacies L: Limolitas arenosas macizas

Descripción

Litofacies formada por limos arenosos sin estructura interna identificable, con geometría externa mantiforme (Lámina I, 4). Los colores varían entre pardos muy claros a rosa anaranjado pálido (10 YR 7/4; 7,5 YR 6/4 y 5 YR 7/2). El depósito es de tipo macizo, homogéneo, friable y de aspecto pulverulento. En general los contactos tanto el inferior así como el superior son de tipo irregular. Suelen aparecer nódulos carbonáticos cilíndricos con desarrollo vertical dominante (Lámina I, 4) y carbonato pulverulento. También se observan intraclastos limo arcillosos individuales o cementados con carbonato (lámina I, 5). Esta litofacies presenta un espesor máximo aproximado de 2,6 m y se halla presente en las cuatro localidades.

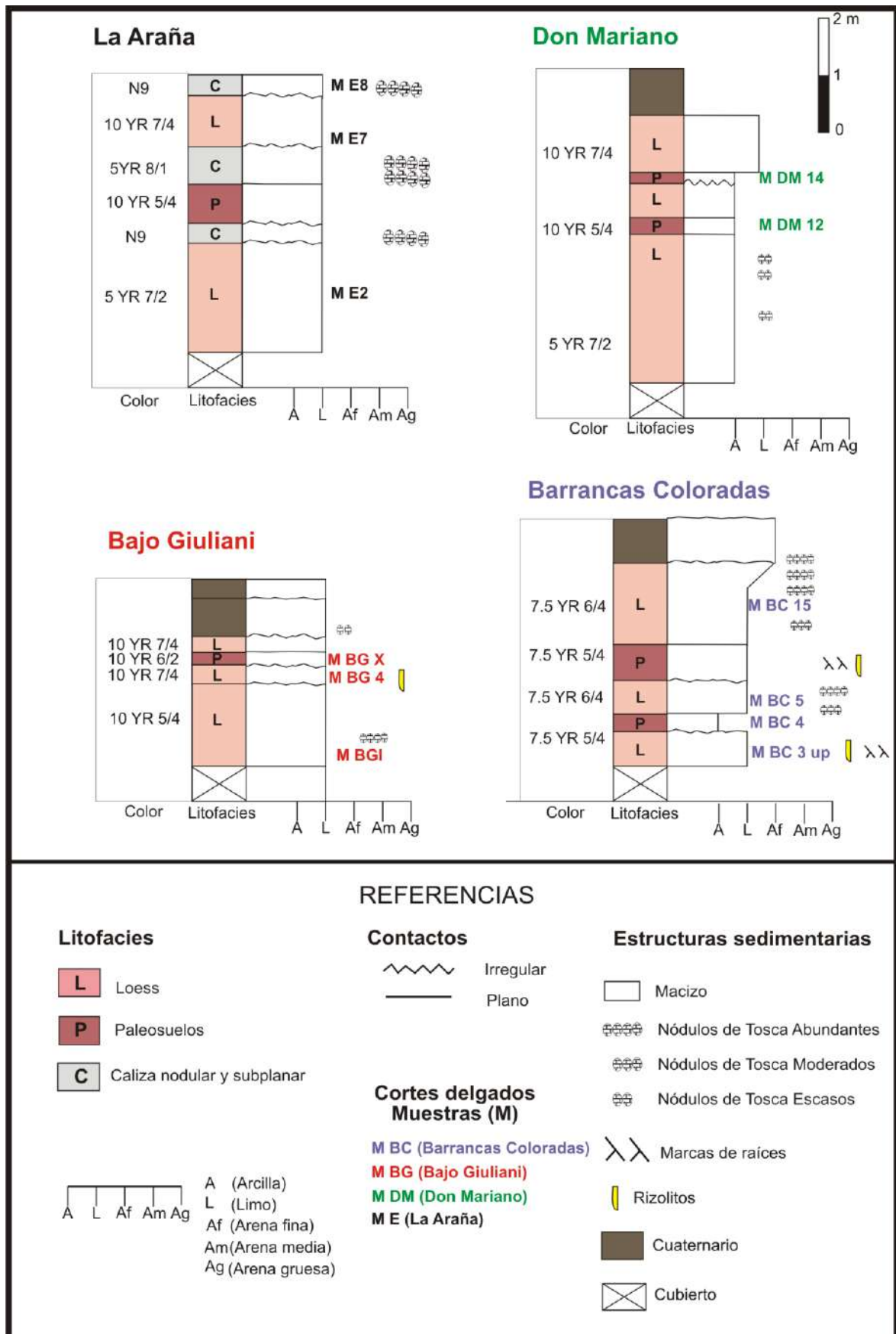


Fig. 4. Análisis de facies



Interpretación

Las capas presentes en esta litofacies son interpretadas como depósitos eólicos loésicos, basándose en características tales como tamaño de grano medio entre 20 y 30 micrones (limo), carencia de estructuras sedimentarias mecánicas y de planos de estratificación, geometría mantiforme y la ausencia de contactos erosivos (Pésci 1968, 1990; Smalley y Vitta-Finzi 1968; Pye 1987; Johnson 1989; Spalletti 1992). Los nódulos calcáreos alargados verticalmente corresponden a rizoconcreciones que provienen de los estratos superiores, en los casos en los que se desarrolla un paleosuelo en la capa superior, la presencia de intraclastos es interpretada como fragmentos relictos de paleosuelos transportados por el viento y redepositados junto con el material clástico (Kemp 1999).

Litofacies C: Calcretes Nodulares y Subplanares

Descripción

Litofacies formada por nódulos de carbonato de calcio de forma subredondeados, alargados y tubulares, friables y compactos contenidos en una matriz pulverulenta rica en carbonatos. Las formas tubulares son alargadas en dirección al eje vertical, presentando en algunos casos ramificaciones. Los nódulos pueden presentarse aislados y también coalesciendo entre sí. Su color va desde el blanco (N9) al gris rosado (5YR 8/1). Su espesor es variable siendo el máximo valor de 0,70 m. En el perfil de La Araña, hacia el techo de la sucesión, se observan calcretes de tipo subplanar.

Interpretación

Esta litofacies (Lámina I, 6) es interpretada como un horizonte nodular (Esteban y Klappa 1983). Se corresponde con el desarrollo de calcretes de génesis pedogenética como consecuencia de la acumulación de carbonatos de calcio dentro de un material edáfico. La precipitación es producida por microorganismos y raíces, y se da en forma discontinua a lo largo del horizonte, alrededor de raíces (calcretes tubulares) o en forma de nódulos que finalmente coalescen con el aumento del grado de cementación. Los calcretes subparalelos provienen de un estadio evolutivo más avanzado de pedogénesis (Esteban y Klappa 1983).

Litofacies	Descripción	Interpretación	Espesores	Localidades
P	<i>Limolita arcillo - arenosa con presencia de agregados (peds) y marcas de raíces</i>	Paleosuelos	mín: 0,20 m máx: 0,70 m	BC, BG, DM y LA
L	<i>Limolita arenosa maciza</i>	Loess	Variable máx: 2,60 m	BC, BG, DM y LA
C	<i>Calcretes nodulares y planares a subplanares</i>	Horizonte nodular de origen pedogenético (microorganismos, raíces)	Variable, máx: 0,70 m	LA

Tabla I. Resumen de Litofacies. BC: Barrancas Coloradas, BG: Bajo Giuliani, DM: Don Mariano y LA: La Araña.

Asociación de litofacies e interpretación paleoambiental

Las características observadas en las distintas litofacies y su distribución espacial en cada una de las localidades, permiten realizar una asociación entre las litofacies **P** y **L** las cuales aparecen en todas las localidades, siendo la litofacies **C**, una litofacies posterior a los depósitos, que solo se halla presente en la localidad de La Araña, razón por la cual no se la incluye en ninguna asociación.

Asociación de litofacies P y L

Descripción

Se encuentra formada por alternancia de las loessitas de la litofacies **L** y los paleosuelos de la litofacies **P**. Esta asociación de litofacies es característica y representativa de la Formación Cerro Azul (Visconti *et al.* 2010).

Interpretación paleoambiental

Esta asociación litofacial indica un paleoambiente de llanura caracterizado por períodos secos, donde se produjo la sedimentación cíclica de materiales limosos transportados por el viento (Morrison 1978; Johnson 1989), en zonas de bajo gradiente, con irregularidades topográficas, superficies vegetadas y húmedas, que constituyeron trampas de sedimentos (Tsoar y Pye 1987) en áreas peridesérticas (Spalleti 1992), donde se depositaron las capas de loess (Litofacies L).

Durante los períodos de estabilidad del paisaje, con condiciones climáticas más favorables, mayor humedad y disminución o interrupción de la sedimentación (Kraus 1999), la vegetación pudo desarrollarse y formar los paleosuelos (Litofacies P).

Posteriormente, se produce una nueva etapa pedogenética (Litofacies C) en condiciones climáticas mucho más áridas.

ANÁLISIS MICROMORFOLÓGICO Y COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Características micromorfológicas

Un paleosuelo corresponde a los restos de un suelo antiguo, que pudo haber sido enterrado por los depósitos posteriores o bien estar expuesto en períodos prolongados sin ningún tipo de actividad pedogenética (Retallack 1988). Los estudios micromorfológicos realizados sobre cortes delgados, consisten en la descripción, interpretación y medida de los componentes, rasgos y fábricas, que permiten incrementar el conocimiento de los procesos formadores del suelo a una escala microscópica. Se llevó a cabo una descripción cualitativa y cuantitativa de las muestras pertenecientes a las distintas localidades, resumida en la Tabla II. Las características observadas son las siguientes:

Microestructura y masa basal

Todas las muestras presentan microestructura porfírica (granos compactos con poros aislados), los agregados en general son de forma ovoidal (granular) e irregulares (Lámina II, 1), algunos de ellos presentan fábrica estriada. El rango de tamaño medido es variable, siendo el valor mínimo de 0,25 milímetros, presente en todas las localidades, y el valor

máximo hallado de 7,34 milímetros en la localidad de La Araña. Los terrones o fragmentos (Lámina II, 2) son masivos, alargados y con fábrica estriada, en algunos casos se encontraron fragmentados (muestras BG X, BC 3 up y E2). Las mediciones de tamaño realizadas sobre los mismos arrojaron valores mínimos de 0,25 milímetros en casi todas las localidades exceptuando Don Mariano, donde los valores fueron relativamente mayores y, en la localidad de La Araña donde fueron encontrados los valores máximos de 5,54 milímetros. Los poros observados en las distintas muestras son de los siguientes tipos: en canal (Lámina II, 3), en cavidades (Lámina II, 4), en cavidades unidas por canales tortuosos y también irregulares. El rango de tamaño de los mismos es variable, con un mínimo de 0,25 milímetros y un máximo de 1,27 milímetros, rasgos que son comunes a todas las localidades.

Con respecto a la masa basal, la cual se estima sobre la base a la relación de gruesos sobre finos (utilizando un límite de 20: $g/f_{20\mu}$), es variable, siendo de 70/30 para la mayoría de las localidades y de aproximadamente 60/40 para la localidad de La Araña.

Fábrica de birrefringencia

Las fábricas de birrefringencia encontradas son de tipo moteada (Lámina II, 3), moteada estriada y cristalítica (Lámina II, 4). La fábrica de tipo moteada estriada solo se halló en la muestra DM 14 perteneciente a la localidad de Don Mariano.

Componentes orgánicos

Solo se halló un fragmento de hueso fósil (Lámina II, 5) en el corte delgado de la muestra BG 4 de la localidad de Bajo Giuliani. Este proviene de los restos de vertebrados fósiles que son abundantes en esta localidad pertenecientes principalmente a mamíferos, dentro de la facies L.

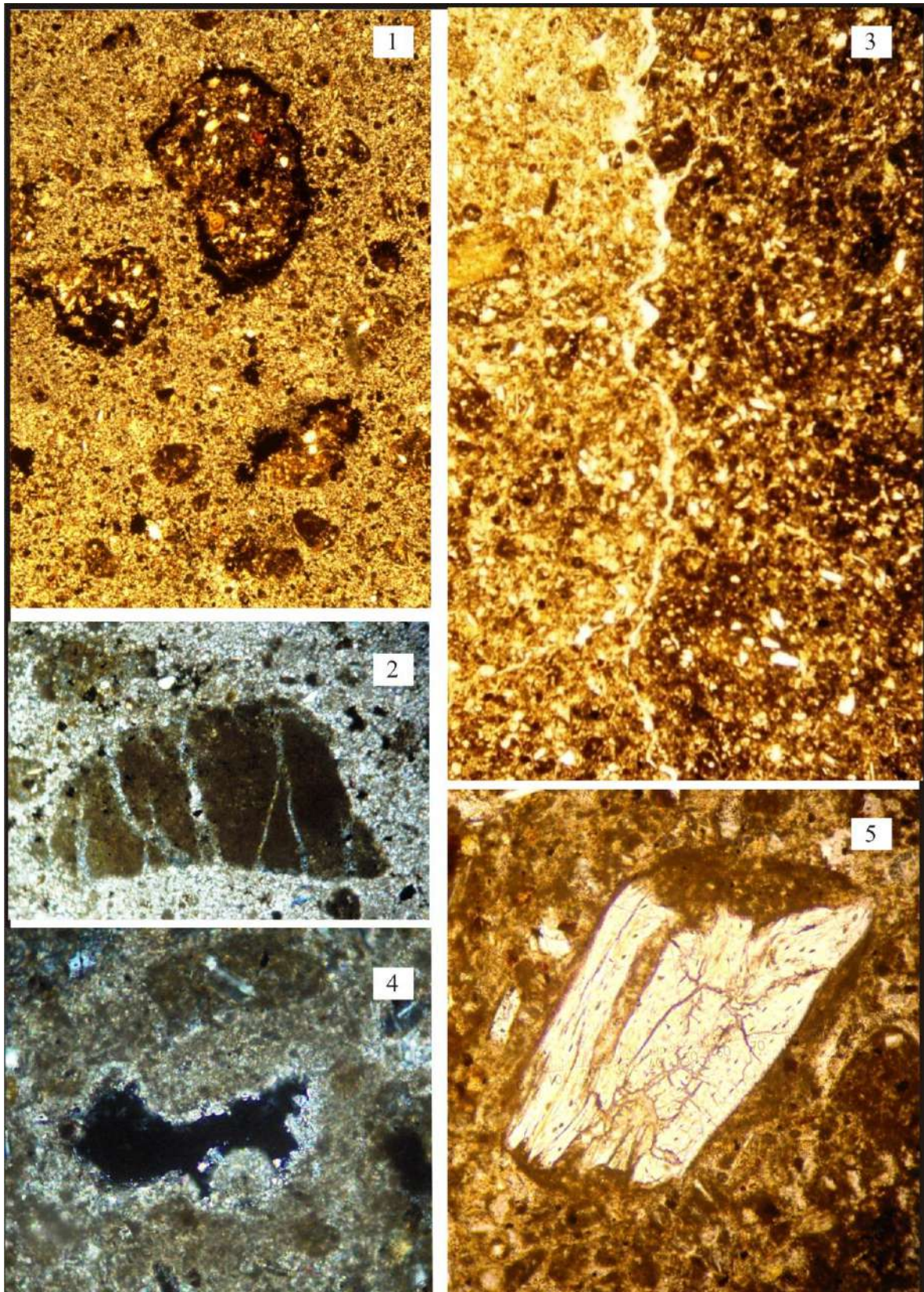


Lámina II

1: Agregados con revestimientos de Mn, fábrica cristalítica en loess; 2: terrón fracturado; 3: poro en canal debido a raíz en fábrica moteada; 4: poro en cavidad con revestimiento calcítico; 5: fragmento de hueso de vertebrado fósil

Rasgos pedológicos

Como rasgos pedológicos se constató la presencia de revestimientos arcillosos (cutanes) recubriendo granos (Lámina III, 1), agregados (Lámina III, 5) y canales en las muestras BC 4, DM 12, DM 14, E2 y E7, característica ausente solo en Bajo Giuliani. Otro rasgo pedológico es la presencia de nódulos de manganeso de tipo masivos, con borde difuso (Lámina III, 2), impregnativos y revistiendo agregados, poros (Lámina III, 2) y granos (este rasgo se halló presente en todas las localidades con distinto porcentaje de abundancia). La presencia de cementos calcíticos (Lámina III, 4) de tipo revestimientos (coatings), hiporevestimientos (hypocoatings) impregnativos (Lámina II, 4) y nódulos, es una característica que pudo observarse en las muestras de Barrancas Coloradas: BC 3 up, BC 5 y BC 15; Bajo Giuliani en BG 1 y La Araña en E8.

Nº de Muestra	Microestructura: Porfírica			Material Fino (f)	Material Grueso (g)	Fábrica b	Comp. Organicos	rasgos pedológicos		
	Agregados	Terrones	Huecos					Rev.arcilla	Nod. Mn	Cementos
BC 3 up	13,5 %	0%	2,5%	65%	35%	Cristalítica	0%	0%	4%	8%
BC 4	0 %	1%	7,5%	70%	30%	Moteada	0%	6 %	8%	0,5%
BC 5	3,5 %	0%	0%	70%	30%	Cristalítica	0%	0 %	5%	16%
BC 15	12 %	0%	6%	67,50%	32,50%	Cristalítica	0%	0%	5,5%	8%
BG 1	18,5 %	2%	1,5%	71%	29%	Cristalítica	0%	0 %	6%	1%
BG 4	0 %	1,5%	7,5%	72%	28%	Moteada	1%	0 %	2%	0%
BG X	12,5 %	3%	4%	70%	30%	Cristalítica	0%	0 %	3,5%	0%
DM 12	1 %	0%	10%	70%	30%	Moteada	0%	5,5 %	5,5%	0%
DM 14	0 %	0%	3%	70%	30%	Mot./estriada	0%	6,5 %	2,5%	0%
E 2	0%	3%	0%	65%	35%	Moteada	0%	5,5 %	4%	0%
E 7	2 %	0%	0%	66%	34%	Moteada	0%	6%	1%	0%
E 8	15 %	3%	0%	57%	43%	Cristalítica	0%	0 %	1,5%	7%

Tabla II. Resultados del análisis micromorfológico

Interpretación paleoambiental a partir de las características micromorfológicas

La micromorfología como técnica es de suma importancia a la hora de estudiar paleosuelos e inferir los procesos pedogenéticos durante el desarrollo de los mismos, así como su ambiente de formación (Liu *et al.* 1987). Es una herramienta importante también cuando se intenta estudiar las sucesiones loess–paleosuelos, ya que puede aportar reconstrucciones detalladas del balance entre pedogénesis versus sedimentación a lo largo del tiempo geológico (Kemp 1998).

Entre las características descriptas anteriormente, los agregados presentes en las muestras, de coloración más oscura, son interpretados como mezcla de materiales por la acción de microorganismos (Kemp y Zárate 2000). En especial, los agregados que presentan fábrica estriada son considerados típicos de horizontes Bt (Kemp y Zárate 2000). Por otra parte los terrones que se han observado en todas las muestras en las distintas localidades se interpretan como mezcla por bioturbación, también suelen estar asociados a clastos arrancados de los estratos inferiores y re TRABAJADOS por el accionar de un agente (Kemp 1995; Kemp y Zárate 2000).

En lo que respecta a la porosidad de las muestras, las cavidades se explican como producto de la interacción de organismos que habitan el suelo y, los canales, por los sistemas radicales de la vegetación (Kemp y Zárate 2000).

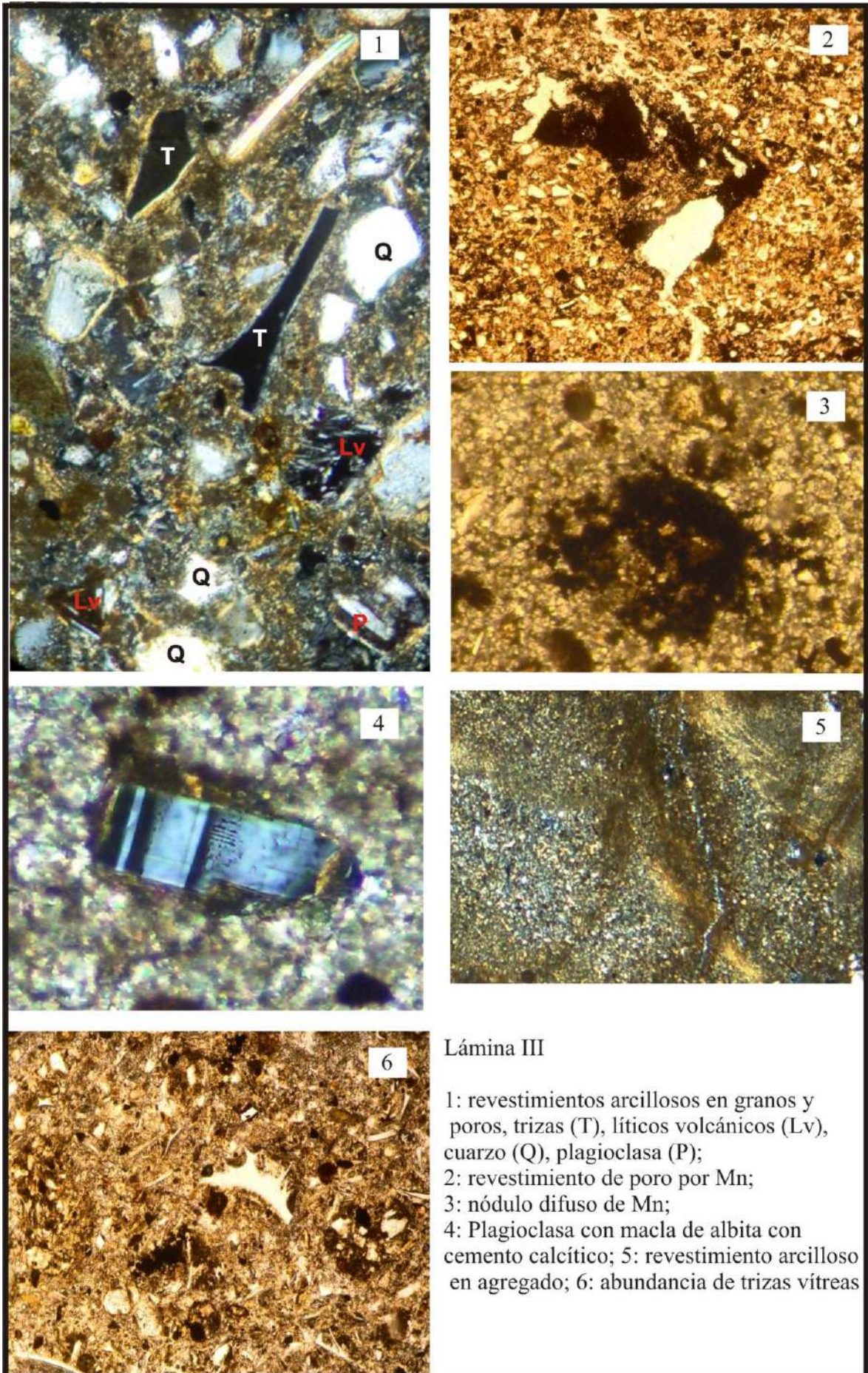
Los revestimientos arcillosos (coatings), que se encuentran revistiendo granos, agregados y canales, son interpretados como acumulación gradual de arcillas transportadas en suspensión desde el horizonte A y acumuladas en los horizontes Bt (Kemp 1995). Cuando los revestimientos son sobre granos y poros, indican suelos bien drenados, formados bajo períodos sucesivos de condiciones secas y húmedas típicas de climas estacionales (Visconti 2007).

Las concentraciones de calcita en forma de revestimientos, hiporevestimientos y nódulos hallados, indican lixiviación en regímenes climáticos de semi aridez (Kemp 1995). El origen de estos precipitados y su movilización pueden variar debido al material parental, a la fluctuación de la capa freática y a las condiciones climáticas (Kemp 1995; Becze Déak *et al.* 1997).

Los nódulos de manganeso sugieren fluctuaciones de la capa freática (Kemp y Zárate 2000). Los hiporevestimientos de manganeso son característicos de molisoles bien drenados (Buol *et al.* 1991).

Composición Mineralógica y Granulométrica

La descripción mineralógica se realizó teniendo en cuenta las litologías anteriormente descriptas en el análisis de facies, y los datos cualitativos y cuantitativos se adjuntan en la Tabla III.



Limolitas arcillosas

Estas sedimentitas se encuentran fuertemente afectadas por procesos pedogenéticos. El tamaño de clasto dominante es el de limo, con alto contenido de arcilla, la selección es baja y la textura es fango sostén con cemento carbonático escaso a nulo. La composición mineralógica hallada es la siguiente: cuarzo anhedral a subhedral con extinción ondulosa y extinción recta, en estado fresco (Lámina III, 1); plagioclasas anhedrales a subhedrales frescas con maclas no diferenciadas debido a que el tamaño de clasto no ha permitido su clasificación. También se encontraron líticos volcánicos con texturas felsofírica y hialopilitica, trizas vítreas, opacos, feldespatos potásicos, máficos y alteritas. El cemento es arcilloso y calcítico (Lámina III, 1).

Limolitas arenosas

Esta litología corresponde a los depósitos eólicos de tamaño de clasto principalmente limoso, con presencia en menor proporción de arena fina y baja selección. La mineralogía presente en las muestras es la siguiente: cuarzo anhedral a subhedral con extinción ondulosa y extinción recta, en estado fresco y alterado; plagioclasas anhedrales a subhedrales frescas con maclas no diferenciadas, con macla tipo albita (Lámina III, 4) y con macla tipo Carlsbad. También se encontraron líticos volcánicos con texturas felsofírica y hialopilitica, trizas vítreas (Lámina III, 6), opacos, feldespatos potásicos, máficos y alteritas. El cemento es arcilloso y calcítico.

Calcretes

La mineralogía hallada es la siguiente: cuarzo anhedral a subhedral con extinción ondulosa, alterado; plagioclasas anhedrales a subhedrales con maclas no diferenciadas, en estado fresco, también se encontraron líticos volcánicos con texturas felsofírica, trizas vítreas, feldespatos potásicos, máficos y alteritas. El cemento es calcítico de tipo micrita.

La composición mineralógica de las muestras es muy homogénea, y los cambios en la cantidad de arcilla responden a procesos pedogenéticos. El cemento calcítico es posterior y proviene de la costra calcárea superior.

Nº Muestra	Cuarzo	Plagioclasa	Líticos Volc.	Otros
BC 3 up	Ext. Ondulosa	Macla Carlsbad	T.felsofírica 1,5%	Alteritas
	Fresco (F) 3%	(F) 0,5%	Trizas v. (F) 1,5%	3,50%
BC 4	Ext. Ondulosa	Macla No	T.felsofírica 1,5%	Alteritas 4,5%
	Fresco (F) 4,5%	diferenciada(F) 1%	Trizas v. (F) 2 %	opq 0,5% y fls k 0,5%
BC 5	Ext. Ondulosa	Macla No	T.felsofírica 1%	Alteritas 3%
	Alterado (A) 5%	diferenciada(F) 1,5%	Trizas v. (F) 2 %	opq 1% y máficos 0,5%
BC 15	Ext. Ondulosa	Macla No	T.felsofírica 0,5%	Alteritas 2%
	Fresco (F) 2%	diferenciada(F) 0,5%	Trizas v. (F) 1,5 %	máficos 0,5%
BG 1	0%	Macla Albita	Trizas v. (F) 1 %	Opacos 1%
		(F) 0,5%		máficos 0,5%
BG 4	Ext. Recta	Macla Carlsbad 1%	T.felsofírica 3,5%	Alteritas 1%
	Fresco (F) 5%	No diferenciada1,5%	Trizas v. (F) 2,5 %	opq 1% y máficos 1,5%
BG X	Ext. Recta	Macla No	T.hialopilítica1,5%	Alteritas 1,5%
	Fresco (F) 2%	diferenciada(F) 1%	Trizas v. (F) 1%	fls k 0,5% y máficos 3,5%
DM 12	Ext. Ondulosa	Macla No	T.hialopilítica5%	Alteritas 3,5%
	Fresco (F) 7,5%	diferenciada(F) 1%	Trizas v. (F) 3,5%	Fls k 2% y máficos 0,5%
DM 14	Ext. Ondulosa	Macla No	T.felsofírica 2,5%	Alteritas 10%
	Fresco (F) 4,5%	diferenciada(F) 1,5%	Trizas v. (F) 7,5 %	
E 2	Ext. Ondulosa	Macla Carlsbad 1,5%	T.felsofírica 3%	Alteritas 4%
	alterado (A) 5,5%	No diferenciada0,5%	Trizas v. (F) 5 %	Fls k 1,5% y máficos 1,5%
E 7	Ext. Ondulosa	Macla No	T.hialopilítica3,5%	Alteritas 2,5%; fls k2%
	alterado (A) 6%	diferenciada(F) 3,5%	Trizas v. (F) 5,5%	opq 0,5% y máficos 1%
E8	Ext. Ondulosa	Macla No	T.felsofírica 3,5%	Alteritas 2%; fls k 0,5%
	alterado (A) 4,5%	diferenciada(F) 3%	Trizas v. (F) 3%	y máficos 0,5%

Tabla III. Composición mineralógica

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

La susceptibilidad magnética se utiliza como una herramienta apropiada para el análisis de secuencias de loess–paleosuelos, debido a que la señal magnética arrojada por ella es muy buena indicadora paleoclimática (Heller y Evans 1995; Maher 1998; Evans y Heller 2001). En la actualidad existen tres teorías respecto al comportamiento de la señal magnética: dos modelos magnetoclimáticos contrapuestos y un modelo intermedio. Entre los primeros, se encuentra el modelo que propone un origen de acumulación de minerales magnéticos a partir de acción eólica, denominado “de los vientos vigorosos”, aquel en el cual las partículas densas de óxidos de hierro son trasportadas en mayor proporción durante los períodos glaciarios y depositadas en las capas de loess (Evans y Heller 2001;

Zhu *et al.* 2003), modelo que se utiliza para latitudes altas. Por otra parte, el denominado “modelo pedogenético” (Maher 1998), que se contrapone al anterior, es aquel donde se formarían neominerales magnéticos a partir de procesos inorgánicos (precipitación de hierro y manganeso) u orgánicos (reducción del hierro por la acción de bacterias - *Geobacter metallireducens* - que generan partículas magnéticas ultrafinas); modelo acorde a zonas de latitudes intermedias. Un tercer modelo intermedio que sostiene que la señal magnética no se correlaciona linealmente con las variables climáticas (Orgeira y Compagnucci 2006). Estas autoras vinculan las variaciones de susceptibilidad al contenido de trizas volcánicas, a la textura del material y al contenido de humedad del suelo (Orgeira y Compagnucci 2009).

La susceptibilidad magnética es una técnica que consiste en aplicar un campo magnético inducido, generado por un instrumento llamado susceptibilímetro sobre el material en estudio y medir su respuesta magnética (susceptibilidad aparente). Esta respuesta está condicionada por la mineralogía (compuestos de hierro, materiales amorfos) y complejos orgánicos. Dependiendo de los valores obtenidos en los distintos materiales, los óxidos de hierro pueden clasificarse según su respuesta magnética en ferromagnéticos (magnetita, titanomagnetita y maghemita) y paramagnéticos (lepidocrocita y ferrhidrita), que dan valores positivos de susceptibilidad y antiferromagnéticos (hematita y goethita) que dan señales magnéticas negativas (Tabla IV).

Las curvas de susceptibilidad magnética para cada uno de los perfiles levantados en el área de estudio (Fig. 5) muestran valores muy bajos, del orden de 10^{-3} a 10^{-4} SI, por lo que deben tomarse con cuidado las interpretaciones respecto al comportamiento diferencial entre loess y paleosuelo, debido a que las diferencias son mínimas.

Se pudo observar que para la localidad de Barrancas Coloradas los valores de susceptibilidad en los dos paleosuelos presentes son mayores a los de las capas de loess infrayacentes. Esto podría interpretarse como acumulación de minerales y partículas magnéticas en los paleosuelos durante su formación, según el modelo pedogenético (Maher 1998). No ocurre lo mismo con el loess que se halla por encima, donde los valores de susceptibilidad son variables. Esto podría deberse a que el mismo se halla influenciado por procesos pedogenéticos, que habrían afectado a este depósito, quedando evidenciado por la presencia de agregados y nódulos de Mn en el análisis micromorfológico (Muestra BC 15, Tabla II).

En el perfil de Bajo Giuliani se repite el mismo patrón general de la curva que en Barrancas Coloradas. Cerca de la base, los valores de susceptibilidad en el loess son altos

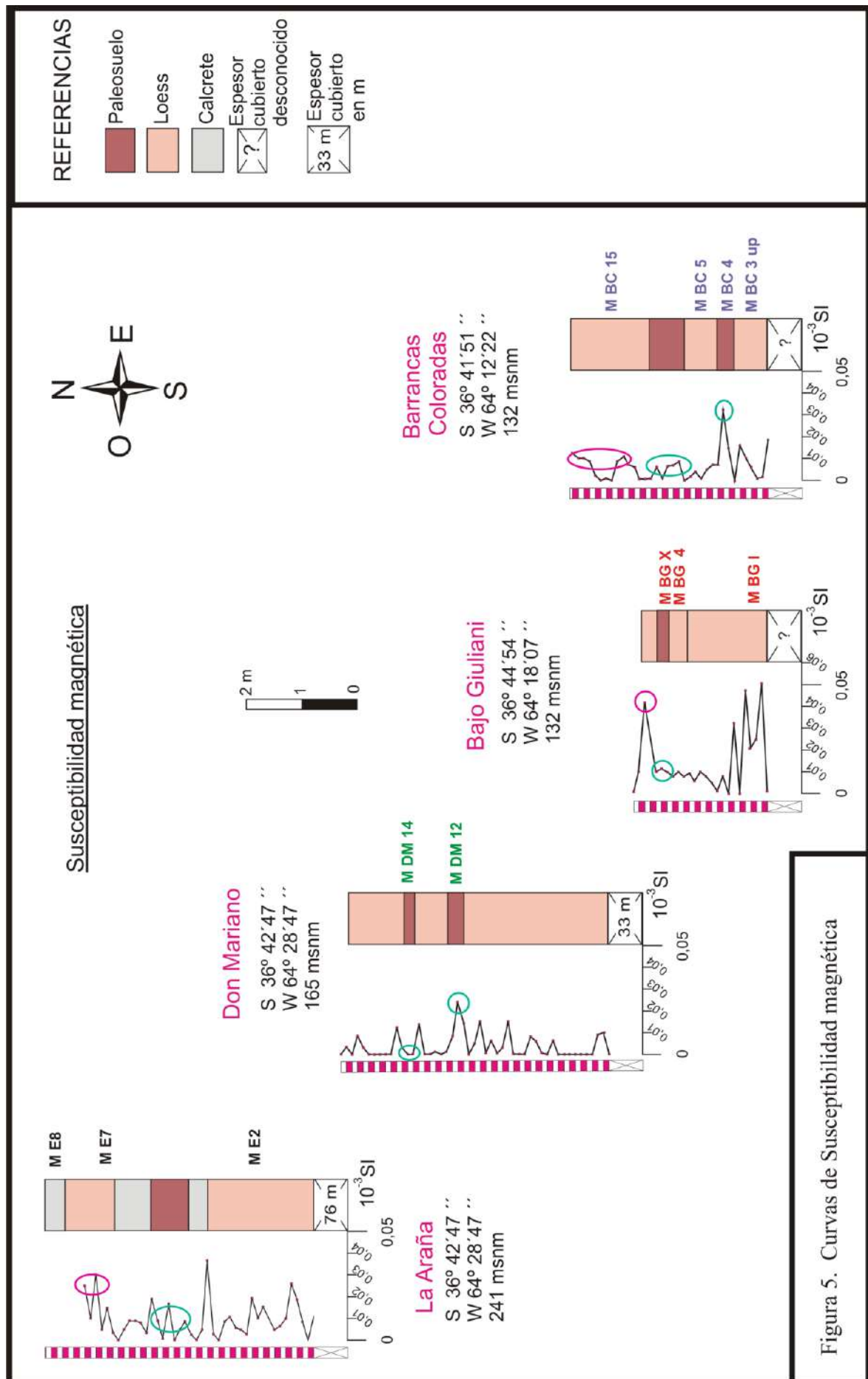


Figura 5. Curvas de Susceptibilidad magnética

y decrecen hacia arriba, a medida que se acercan al paleosuelo. Estos valores altos se explican de la misma forma que en la localidad anterior, a partir del análisis micromorfológico (BG I, Tabla II), donde la cantidad de agregados y nódulos de Mn es alta, y aumentaría la señal magnética. El sector superior de Bajo Giuliani, es muy semejante al de Barrancas Coloradas, lo que permite realizar una correlación probable entre el paleosuelo de dicha localidad y el paleosuelo superior de Barrancas Coloradas.

En la localidad de Don Mariano el perfil muestra la presencia de dos paleosuelos, el inferior con valores altos de susceptibilidad y el superior con valores de señal magnética cercanos a cero, lo que podría explicarse como disolución de ferromagnéticos debido a la alta concentración de sílice en el agua poral proveniente de las trizas volcánicas, lo que generaría condiciones favorables para que ocurra dicho proceso (Teruggi 1957; Teruggi *et al.* 1957; Muhs y Zárate 2001); este es el único perfil donde se pudo inferir esta relación.

El loess en general posee valores de susceptibilidad variables con una tendencia general decreciente; por sectores se observan valores medios y altos a medida que se acercan al paleosuelo inferior siendo compleja su interpretación. Esta variabilidad podría deberse a muchos factores, tales como variaciones en la textura (Orgueira y Compagnucci 2009), o periodos con distintas tasas de humedad (Orgueira y Compagnucci 2006). En La Araña el comportamiento de la curva de susceptibilidad es errático, con valores medios más altos que en las otras localidades, probablemente asociado a la preservación de minerales ferromagnéticos en ambiente oxidante durante lapsos donde la tasa de humedad fue baja (Orgueira y Compagnucci 2006). Esto se ve reflejado por la presencia de los calcretes abundantes de la facies C.

Mineral	Fórmula química	Denominación magnética	Susceptibilidad magnética ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)
Hematita	$\alpha \text{ Fe}_2\text{O}_3$	Tendencia antiferromagnética	40
Goethita	$\alpha \text{ FeOOH}$	Tendencia antiferromagnética	70
Maghemita	$\gamma \text{ Fe}_2\text{O}_3$	Ferromagnético	26000
Lepidocrocita	$\gamma \text{ FeOOH}$	Paramagnético	70
Ferrhidrita	$5 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Paramagnético	40
Magnetita	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	Ferromagnético	56500

Tabla IV. Principales óxidos de hierro y sus valores de susceptibilidad magnética.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las sedimentitas estudiadas fueron depositadas en un ambiente de llanura, de bajo gradiente, donde los periodos de inestabilidad del paisaje favorecieron la depositación eólica de limos arenosos en áreas peridesérticas. Durante los periodos de estabilidad se produjo la formación de suelos en condiciones climáticas de mayor humedad relativa y disminución o interrupción de la sedimentación. Esto se vería reflejado en la diferenciación de las litofacies de loess (L) y paleosuelos (P) identificadas en el campo, conformando una sucesión de loess-paleosuelos. En una etapa posterior, al cesar los ciclos de sedimentación, en condiciones de mayor aridez, se produciría la precipitación de carbonatos en el suelo (C), causada por la actividad de microorganismos y por la acción de las raíces durante una nueva etapa pedogenética.

Los análisis micromorfológicos realizados permiten observar la presencia de rasgos pedogenéticos sobreimpuestos en los depósitos de loess, lo que implica que dichos procesos actuaron en forma continua y simultánea durante la depositación del loess. Por el contrario, en los periodos en los cuales disminuía la tasa de aporte sedimentario, la estabilidad del paisaje permitió un mayor desarrollo de los procesos pedogenéticos dando lugar a los paleosuelos. Este tipo de pedocomplejo es el resultado del balance entre pedogénesis versus sedimentación. El mismo es comparable a un modelo intermedio entre las sucesiones de loess-paleosuelos combinados y compuestos propuestos por Krauss (1999) para periodos “no fijos”. En estos modelos, la tasa de pedogénesis durante el desarrollo del paleosuelo es mayor respecto a la tasa de sedimentación.

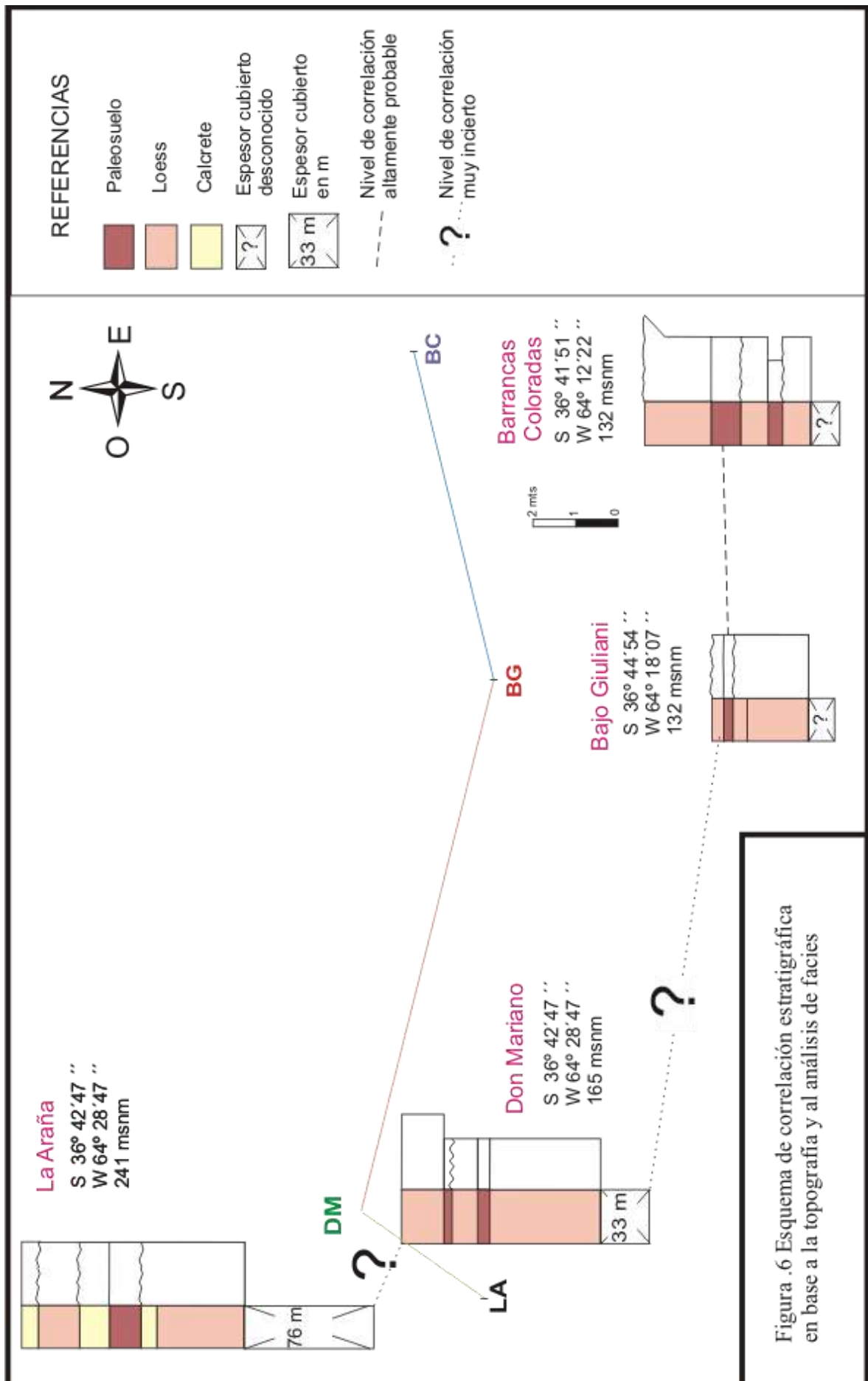
Los valores de susceptibilidad magnética indican que los paleosuelos de las distintas localidades no poseen un patrón general, a excepción de las localidades de Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas. Los valores altos de susceptibilidad magnética hallados en los paleosuelos estarían asociados a distintas génesis. Durante las temporadas climáticas húmedas, los minerales magnéticos se formarían a partir de procesos pedogenéticos (orgánicos e inorgánicos), mientras que durante los periodos secos, la concentración de ferromagnéticos se debería a la acumulación por falta de lixiviación. Por otra parte el valor bajo de señal magnética se hallaría asociado a otras variables no climáticas, tales como la abundancia de trizas volcánicas en la composición mineralógica de las muestras estudiadas, que generan condiciones aptas para la disolución de minerales ferromagnéticos.

Los valores elevados de susceptibilidad magnética en el loess, responden a la pedogénesis que afecta estos depósitos, como se ha explicado anteriormente mediante el modelo de pedocomplejo propuesto.

El desarrollo de los paleosuelos presentes en las cuatro localidades estudiadas, no estuvo vinculado al relieve topográfico durante el Mioceno tardío. Esto se fundamenta en: la carencia de variaciones laterales en los paleosuelos, la falta de cambios texturales, la abundancia azarosa de nódulos de manganeso, y la ausencia de slickensides y rastros de gleysificación en las cotas más bajas (Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas). Tampoco se observa un decrecimiento de las características pedológicas desde La Araña (cota de mayor altitud) hacia Bajo Giuliani y Barrancas Coloradas (cotas de menor altitud).

A partir de todos los análisis realizados se identificaron cinco niveles de paleosuelos. El Paleosuelo 1 corresponde al paleosuelo inferior de Barrancas Coloradas, el Paleosuelo 2 pertenece al paleosuelo superior de la localidad anteriormente mencionada y es correlacionable con el paleosuelo identificado en Bajo Giuliani; el Paleosuelo 3 equivale al paleosuelo inferior del perfil de Don Mariano; el Paleosuelo 4 al superior del mismo perfil y el Paleosuelo 5 se adjudica al encontrado en la localidad de La Araña.

Sobre la base de este análisis se presenta un esquema de correlación entre los paleosuelos (Fig. 6) de acuerdo a la disposición topográfica. La correlación más probable estaría dada por el paleosuelo superior de Barrancas Coloradas y el de Bajo Giuliani, denominado Paleosuelo 2, como lo avalan los resultados de susceptibilidad magnética, con una micromorfología coincidente y un nivel topográfico semejante.



BIBLIOGRAFÍA

- Albino, A. M., Brizuela, S. y Montalvo, C. I., 2006. New Tupinambis remains from the Late Miocene of Argentina and a review of the South American Miocene Teiids. *Journal of Herpetology* 40 (2): 206-213.
- Albino, A. M. y Montalvo, C. I., 2006. Snakes from the Cerro Azul Formation (Late Miocene), Central Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology* 26(3): 581-587.
- Allen, J.R.L y Wright, V.P., 1989. Paleosol in siliciclastic sequences. *British Sedimentological Research Group Workshop. University of Reading.* 98 p.
- Becze-Deák, J., Langohr, R. y Verrecchia, E. P., 1997. Small scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for palaeoenvironmental reconstruction. *Geoderma* 76 (3-4): 221-252.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G. y Tursina, T., 1985. *Handbook for Soil Thin Section Description.* Editorial Waine Research Publications. 152 p.
- Buol, S. W., Hole, F. D. y Mac Cracken, R. J., 1991. Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillas, México. 417 p.
- Calmels, A. P., 1996. Bosquejo geomorfológico de la Provincia de La Pampa. *Universidad Nacional de La Pampa.* 110 p.
- Campbell, K. y Tonni, E., 1980. A new genus of teratorn from the Huayquerian of Argentina (Aves: Teratornithidae). *Contributions in Sciences* (330): 59-68.
- Cenizo, M. y Montalvo, C. I., 2006. Nuevos registros de aves para la Formación Cerro Azul, Mioceno tardío, provincia de La Pampa, Argentina. *Ameghiniana* 43 (4)-Suplemento: 29R.
- Cenizo, M. M., Tambussi, C.P. y Montalvo, C. I. 2012. Upper Miocene continental birds from Cerro Azul Formation in the Pampean region (south-central Argentina). *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 36: 47-68.
- Cerdeño, E. y Montalvo, C. I., 2001. Los Mesotheriinae (Mesotheriidae, Notoungulata) del Mioceno superior de La Pampa, Argentina. *Revista Española de Paleontología* 16 (1): 63-75.
- Cerdeño, E. y Montalvo, C.I., 2002. Los Hegetotheriinae (Hegetotheriidae, Notoungulata) del Mioceno superior de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, n. s. 4 (1): 35-43.
- de Elorriaga E.E. y Tullio, J.O., 1998. Estructuras del subsuelo y su influencia en la morfología en el norte de la provincia de La Pampa. 10º Congreso Latinoamericano de Geología y 6º Congreso Nacional de Geología Económica, Actas III, p: 499-506, Buenos Aires.
- de Elorriaga, E. y G. Visconti, 2005. Estratigrafía de la Cuenca del Colorado en la provincia de La Pampa. *Actas del XVI Congreso Geológico Argentino*: 351-358.
- Esteban, M. y Klappa, C., 1983. Subaerial exposure environments. En Scholle, P. A., Bebout, D. G. y Moore, C. H. (Eds.): *Carbonate Depositional Environments.* American Association of Petroleum Geologists Memoir 33: 1-96.
- Esteban, G., Nasif, G. y Montalvo, C. I., 2001. Nuevos registros de Dasypodidae (Xenarthra) del Mioceno tardío de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista Española de Paleontología* 16 (1): 77-87.
- Evans, M. y Heller, F., 2001. Magnetism of loess/paleosols sequences: recent developments. *Earth-Science Reviews* 54: 129-144.

- Folguera, A. y Zárate, M., 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (4): 692 – 712.
- Giali, S. B. y Tullio, J. O., 1998. Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 12:51-68.
- Goddar, E.N., Trask, P.D., De Ford, R.K., Rove, O.N., Singewald, J.T., Overbeck, R.M., 1948. Rock-Color Chart. Geological Society of America.
- Goin, F., Montalvo, C. y Visconti, G., 2000. Los marsupiales (Mammalia) del Mioceno Superior de la Formación Cerro Azul (provincia de La Pampa). *Revista del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Estudios Geológicos* 56 (1-2): 101-126. España.
- Heller, F. y Evans, M., 1995. Loess magnetism. *Reviews in Geophysics* 33: 211-240.
- Johnson, S., 1989. Significance of loessites in the Maroon Formation (Middle Pennsylvanian to Lower Permian), Eagle Basin, northwest Colorado. *Journal of Sedimentary Petrology* 59: 782-791.
- Juan, R. del C., De Jager, J., Russel, J. y Gebhard, I., 1996. Flanco Norte de la Cuenca del Colorado. En: Ramos, V. A. y Turic, M. A. (Eds.): *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio*, 7: 117-133. Buenos Aires.
- Kemp, R. A., 1995. Distribution and genesis of calcitic pedofeatures within a rapid aggrading loess-paleosol sequence in China. *Geoderma* 65: 303-316.
- Kemp, R. A., 1998. Role of micromorphology in paleopedological research. *Quaternary International* (51-52): 133-141.
- Kemp, R., 1999. Micromorphology of loess-paleosol sequences: a record of paleoenvironmental change. *Catena* 35: 181-198.
- Kemp, R. A. y Zárate, M. A., 2000. Pliocene pedosedimentary cycles in the southern Pampas, Argentina. *Sedimentology* 47: 3-14.
- Kraus, M. J., 1999. Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth-Science Reviews* 47: 41–70.
- Laza, J., 1982. Signos de actividad atribuibles a *Atta* (Myrmicidae, Hymenoptera) en el Mioceno de la Provincia de La Pampa, República Argentina. *Significación paleozoogeográfica. Ameghiniana* 19 (1-2): 109-124.
- Llambías, E., 1975. Geología de la provincia de La Pampa y su aspecto minero. Informe inédito. Dirección de Minas de la provincia de La Pampa, Santa Rosa. 74 p.
- Linares, E., Llambías, E. y Latorre, C., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35 (1): 87-146.
- Liu, T. S., Zhang, S. X. y Han, J. M., 1987. Stratigraphy and paleoenvironmental changes in the loess of central China. *Quaternary Science Reviews* 6: 489-495.
- Maher, B. A., 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137: 25-54.
- Montalvo, C. I. y Casadío, S., 1988. Presencia del género *Palaeoctodon* (Rodentia, Octodontidae) en el Huayqueriense (Mioceno tardío) de la Provincia de La Pampa. *Ameghiniana* 25 (2): 111-114.
- Montalvo, C. I., Verzi, D. H., Vucetich, M. G. y Visconti, G., 1998. Nuevos *Eumysopinae* (Rodentia, Echimyidae) de la Formación Cerro Azul (Mioceno tardío) de La Pampa, Argentina. V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas I: 57-64. Mar del Plata, Buenos Aires.

- Montalvo, C. I., Melchor, R. N., Visconti, G. y E. Cerdeño, 2008. Vertebrate taphonomy in loess-paleosol deposits: a case study from the late Miocene of Central Argentina. *Geobios* 41(1):133-143.
- Morrison, R. B., 1978. Quaternary soil stratigraphy concepts, methods and problems. En Mahaney, W. C. (Ed.): *Quaternary Soils*. Geo Abstracts: 77-108. Norwich.
- Muhs, D.R. y Zárate, M., 2001. Late Quaternary eolian records of the Americas and their paleoclimate significance. En Markgraf, V. (ed.). *Interhemisphere climate linkages*. Academic Press 12:183-211. San Diego.
- Olivares, A.I., Verzi, D.H., Vucetich, M.G. y Montalvo, C.I. 2012. Phylogenetic affinities of the late Miocene Echimyidae Pampamys and the age of Thrichomys (Rodentia, Hystricognathi). *Journal of Mammalogy*. 93(1):76–86.
- Orgeira, M. G. y Compagnucci, R., 2006. Correlation between paleosol - soil magnetic signal and climate. *Earth, Planet and Space, Special Issue Paleomagnetism and tectonics in Latin America* 58(10):1373-1380.
- Orgeira, M. G. y Compagnucci, R., 2009. Uso de la señal magnética de suelos y paleosuelos como función climática. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(4):612-623.
- Pècsi, M., 1968. Loess. En Fairbridge, R. W. (Ed.): *The Encyclopedia of Geomorphology* 8: 674-678. New York.
- Pècsi, M., 1990. Loess is not just accumulation of airborne dust. *Quaternary International* (7-8): 1-21.
- Pye, K., 1987. Aeolian dust and dust deposits. Editorial London Academia Press, 334. p.
- Retallack, G. J., 1988. Field recognition of paleosols. *Geological Society of America. Special Paper* 216. 20 p.
- Salso, J.H., 1966. La Cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Nota preliminar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 21 (2): 107-117.
- Sato, A., Tickyj, H., Llambías, E. y Sato, K., 1999. Rb-Sr, Sm-Nd and K-Ar age constraints of the Grenvillian Las Matras plutón, Central Argentina. *Actas 2° South American Symposium on Isotope Geology*:122-123. Villa Carlos Paz.
- Sato, A., Tickyj, H., Llambías, E. y Sato, K., 2000. The Las Matras tonalitic-trondhjemitic plutón, Central Argentina: Grenvillian age constraints, geochemical characteristics, and region implications. *Journal of South American Earth Science*, 13(7):587-610. Oxford.
- Smalley, I. J. y Vita-Finzi, C., 1968. The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of “desert” loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 39: 766-774.
- Spalletti, L. A., 1992. El loess y el problema de la identificación de las loessitas. *Revista Museo de La Plata (nueva serie) Geología* 11 (102): 45-53.
- Stoops, G., 1990. Multilingual translation of the terminology use in the “Handbook for soil thin section description”. En Douglas, L. A. (Ed.): *Soil micromorphology: a basic and applied science. Developments in soil science* 19. 716. p.
- Teruggi, M. E., 1957. The nature and origin of the Argentinian loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(3):322-332.
- Teruggi, M.E., Etchichurry, M.C. y Remiro, J.R., 1957. Estudio sedimentológico de los terrenos de las Barrancas de la zona Mar del Plata-Miramar. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia* 4(2):167-250.
- Tsoar, H. y Pye, K., 1987. Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology* 34: 139-154.
- Urrutia, J.J., Montalvo, C.I. y Scillato Yané, G.J. 2008. Dasypodidae (Xenarthra, Cingulata) de la Formación Cerro Azul (Mioceno tardío) de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ameghiniana* 45 (2): 289-302.

- Verzi, D., Montalvo, C. I. y Vucetich, M. G., 1991. Nuevos restos de *Xenodontomys simpsoni* Kraglievich y la sistemática de los más antiguos Ctenomyinae (Rodentia, Octodontidae). *Ameghiniana* 28 (3-4): 325-331.
- Verzi, D., Vucetich, M. G. y Montalvo, C. I., 1995. Un nuevo Eumysopinae (Rodentia, Echimyidae) del Mioceno tardío de la Provincia de La Pampa y consideraciones sobre la historia de la subfamilia. *Ameghiniana* 32 (2): 191-195.
- Verzi, D. H., Montalvo, C. I. y Vucetich, M. G., 1999. Afinidades y significado evolutivo de *Neophanomys biplicatus* (Rodentia, Octodontidae) del Mioceno tardío-Plioceno temprano de Argentina. *Ameghiniana* 36 (1): 83-90.
- Verzi, D., Montalvo, C. I. y Deschamps, C., 2008. Biostratigraphy and biochronology of the Late Miocene of central Argentina: evidence from rodents and taphonomy. *Geobios* 41: 145-155.
- Verzi, D.H.; Vieytes, E.C. y Montalvo, C.I. 2011. Dental evolution in *Neophanomys* (Rodentia, Octodontidae) from the late Miocene of central Argentina. *Geobios*. 44: 621-633.
- Visconti, G., 2007. Sedimentología de la Formación Cerro Azul (Mioceno superior) en la provincia de La Pampa. (Tesis doctoral inédita n° 4084). 203 pp. Buenos Aires.
- Visconti, G., De Elorriaga, E. y Parras, A., 2002. Sedimentitas marinas del Mioceno medio a superior aflorantes en la Laguna Callaqueo, Sureste de la Provincia de La Pampa. IX Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 43. Córdoba.
- Visconti, G., Melchor, R. N., Montalvo, C. I., Umazano, A. M. y E. E. de Elorriaga, 2010. Análisis litoestratigráfico de la Formación Cerro Azul (Mioceno Superior) en la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, ISBN 0004-4822. 67 (2):257-265.
- Zárate, M., Schultz, P., Blasi, A., Heil, C., King, J. y Hames W., 2007. Geology and geochronology of type Chasicoan (late Miocene) mammal-bearing deposits of Buenos Aires (Argentina). *Journal of South American Earth-Sciences* 23: 81-90.
- Zhu L. P., Matasova, G., Kazansky, A., Zykina, V. y Sun, M., 2003. Rock magnetic record of the last glacial-interglacial cycle from the Kurtak loess section, southern Siberia. *Geophysical Journal international* 152:335-343.