

Estratigrafía de las áreas cumbres de las Sierras Pampeanas de Córdoba: geocronología, modelo regional, paleoambiente y paleoclima en una región poco conocida de Argentina

Jerónimo Matías Krapovickas^{1,2,*} y Adan Alejo Tauber^{1,3}

¹ Cátedra y Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Vélez Sarsfield 1611; X5016GCA, Córdoba, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

³ Museo Provincial de Ciencias Naturales "Dr. Arturo Umberto Illia", Bv. Poeta Lugones 395, Córdoba, Argentina.

* jerokrapo@yahoo.com.ar

RESUMEN

El sistema de Sierras Pampeanas Orientales se extiende en un amplio sector del centro-oeste de la Argentina conformando el antepaís andino central y posee superficies de aplanamiento de origen erosivo en las áreas cumbres, denominadas "pampas de altura". Los estudios estratigráficos cenozoicos en estas áreas son puntuales, producto quizás de la poca continuidad de la estratigrafía y el difícil acceso a las áreas de estudio, siendo relegadas a investigaciones tradicionales dentro de la llanura pampeana argentina. Se pretende con este trabajo, realizar un análisis comprensivo del registro estratigráfico de estas "pampas de altura", con una visión integradora, que permita analizar su significado paleoclimático, paleoambiental y geocronológico y aportar un marco para futuros estudios en la región. El análisis estratigráfico y sedimentario permitió identificar 5 facies en las pampas de altura de las Sierras Pampeanas de Córdoba: 1- Limo arenoso con megatabiques de carbonato de calcio; 2- Arena limosa pardo rojiza con clastos; 3- Arena limosa laminada y cementada; 4- Limo arenoso amarillento; y 5- Arena limosa oscura maciza. Estas facies fueron agrupadas en asociación de facies fluviales/eólicas. Se incluyeron a estas facies en nueva formación denominada Vaca Corral y tiene una edad entre los $37,095 \pm 2,020$ (OSL) y $7,206$ cal. (AMS) años AP. La evidencia permitió hipotetizar un paleoambiente análogo a las sabanas y/o praderas actuales para las pampas de altura tratadas en este trabajo durante el Pleistoceno Tardío y gran parte del Holoceno. Las comunidades vegetales habrían estado dominadas por pasturas, arbustos de pequeño porte y bosques en galería. No se registraron grandes cauces de ríos y probablemente fueron frecuentes los anegamientos estacionales poco profundos. A partir del Holoceno medio se registra un cambio climático a condiciones más húmedas y frías, con un remplazo en la dominancia de las gramíneas por árboles y arbustos. Estas condiciones se habrían mantenido hasta 1,500 años AP. La evidencia discutida aquí, litológica, pedogenética y temporal, permiten hipotetizar una posible resiliencia del sistema serrano, que lo hizo menos propenso a cambios climáticos muy drásticos.

Palabras clave: Sierras Pampeanas; Pampas de Altura; Cuaternario; modelo regional; paleoclima; paleoambiente; Argentina.

ABSTRACT

The Eastern Sierras Pampeanas system spreads over a vast center-west area of Argentina forming the central Andean foreland; it presents plain surfaces, paleosurfaces of erosive origin their mountain summits, called "Pampas de Altura". The Cenozoic stratigraphic studies in these areas are punctual, perhaps, product of the lack of continuity of stratigraphy and the difficult access to areas of study, being relegated to traditional research inside the Pampas of Argentina. This work aims to perform a comprehensive analysis of stratigraphic registry of this "Pampas de Altura", with an integrated vision, in order to analyze their paleoclimatic, paleoenvironmental and geochronological significance and provide a framework for future studies in the region. The stratigraphic and sedimentary analysis identified five facies within Cordoba's Pampas de Altura. This is to say: 1) sandy-silt with calcium carbonate megatabiques, 2) red silty-sand with clasts, 3) laminated and cemented silty-sands, 4) yellowish massive sandy-silt with clasts and 5) dark massive sandy silt. These facies were grouped into associated fluvial/Aeolian facies. These facies were included in a lithostratigraphic unit named Vaca Corral Formation, and has an age between $37,095 \pm 2,020$ (OSL) and $7,206$ cal. (AMS) yr. BP. The evidence allowed hypothesizing a paleoenvironment similar to the current savannah and/or grassland for the Pampa de Altura's, discussed in this work, during the Late Pleistocene period and most of the Holocene period as well. Vegetal communities would have been dominated by grasslands, small-size bushes and gallery forests. Great rivers tracks were not registered and probably seasonal floods were frequent at that time. From the middle Holocene period climate change to more wet and cold conditions is registered, with a replacement in the dominance of grasses by trees and shrubs. These conditions would have remained up to 1,500 year BP. The evidence discussed here, lithological, pedogenetic and temporary, permits us to hypothesize a possible resilience of the mountain system; which became less susceptible to drastic climate changes.

Key words: Sierras Pampeanas; Pampas de Altura; Quaternary; regional model; paleoclimate; paleoenvironment; Argentina.

INTRODUCCIÓN

El sistema de Sierras Pampeanas se extiende en un amplio sector del centro-oeste de la Argentina conformando el antepaís andino central, ubicándose entre 63°–68° O y 24°–31° S. Su historia de alzamiento cenozoico y exhumación habría sido lenta y de escasa magnitud (Carignano *et al.*, 2014). Se encuentra conformada por una serie de sierras formadas por un basamento plutónico-metamórfico compuesto en su mayor parte por metamorfitas de grano grueso (gneises y migmatitas) de edad precámbrica y posteriormente intruidas por batolitos graníticos (Gordillo y Lencinas, 1979). La estructura de las Sierras Pampeanas ha sido caracterizada como un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas (González Bonorino, 1950).

Las Sierras Pampeanas es una provincia geológica que se divide en dos sectores: el Occidental, ubicado en las provincias de Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan y parte occidental de San Luis; y el sector Oriental, que abarca las provincias de Córdoba y la parte más oriental de la sierra de San Luis (Ramos, 1988).

La región serrana del territorio de Córdoba comprende cuatro cordones meridianos principales: Sierra Norte, Sierra Chica-Las Peñas, Sierras Grande-Comechingones y Sierras de Pocho-Guasapampa. Se encuentran constituidas por rocas metamórficas de edad precámbrica a paleozoica inferior y granitoides paleozoicos, de dimensiones batolíticas (Gordillo y Lencinas, 1979). Estos cordones se hallan a su vez separados entre sí por valles rellenos por sedimentos Mesozoicos y Cenozoicos (Beltramone, 2007; Guerreschi y Martino, 2014). La región serrana se extiende entre los paralelos 29°00' y 33°30' latitud sur y constituye una unidad larga y estrecha de 430 km de largo en sentido norte-sur y 110 km en su parte más ancha, abarcando una superficie aproximada de 35,000 km² (Mercado y Moore, 1997). Los extremos altitudinales varían de los 550 m s.n.m. a los 2,790 m s.n.m. Su geomorfología es bastante homogénea (Capitanelli, 1979), caracterizada por la alternancia de cumbres dentadas y formas planas o restos de antiguas superficies de erosión.

Una de las principales características morfológicas de las Sierras Pampeanas de Córdoba, es la ocurrencia de superficies de aplanamiento de origen erosivo, ubicadas en forma escalonada a diferentes alturas (Carignano *et al.*, 1999; Carignano *et al.*, 2014), mayormente ubicadas sobre los 1,000 m s.n.m. Estas áreas, denominadas “pampas de altura”, semiplanicies o simplemente “pampas”, están emplazadas en las laderas orientales de los bloques basculados de las sierras (Capitanelli, 1979). Estas “pampas de altura” se definen como relictos de superficies de erosión, donde la morfología suavemente ondulada ha permitido la acumulación de sedimentos post-pleocénicos (Montes, 1956; Manzur, 1995; Tauber y Goya, 2006; Carignano *et al.*, 2014), aunque no se cuenta con dataciones numéricas ni estudios bioestratigráficos que permitan acotar el periodo temporal de la cubierta sedimentaria de estas geoformas.

El origen de estas semiplanicies es controversial. Fueron consideradas por unanimidad como superficies de erosión, aunque sin especificar claramente su génesis. El insuficiente estudio sobre registro sedimentario asociado con estas superficies y la gran dificultad para establecer su cronología, debido a la escasez o ausencia de fósiles, la dispersión de los afloramientos y la interferencia tectónica, favorecieron aquella situación (Carignano *et al.*, 1999, 2014).

El modelo más aceptado durante la mayor parte del siglo XX, es que todas las superficies semiplanas que se observan en las cumbres o los flancos de las montañas de las Sierras Pampeanas corresponden a una penplanicie Paleozoica superior-Terciaria, dislocada y, en gran medida, exhumada a partir de la elevación de las Sierras Pampeanas, causada por la deformación andina del Mioceno-Plioceno (Carignano *et al.*, 1999, 2014).

Sin embargo, con el estudio de las áreas cratónicas argentinas, el nuevo modelo plantea que las áreas cumbres de las Sierras Pampeanas de Córdoba se encuentran truncadas por superficies regionales de aplanamiento que tienen diferentes orígenes y edades pre-Mioceno. Son antiguas superficies de aplanación mayormente de origen erosivo que se habrían formado desde el Mesozoico. Estas superficies poseen una notoria uniformidad morfológica y se sitúan en las áreas cumbres de las sierras, distinguiéndose por su morfología característica de cuasi planicies muy condicionadas por el sustrato rocoso. Están integradas por un mosaico de relieves que varían desde planicies onduladas (pampas) a colinas y lomadas con laderas convexas suaves, de cimas redondeadas o algo achatadas, separadas por amplios valles de fondo plano (Carignano *et al.*, 1999, 2012).

Las paleosuperficies de mayor altura corresponderían a un *etchplain*, originado principalmente por meteorización química bajo condiciones ambientales posiblemente cálidas e hiper-húmedas durante el intervalo Triásico Tardío-Jurásico Medio (Carignano *et al.*, 1999; Rabassa *et al.*, 2010); mientras que las paleosuperficies que se escalonan en torno al núcleo de cada uno de los bloques mayores de las Sierras serían el resultado de la acción de agentes de erosión relacionados con climas semiáridos, fundamentalmente pedimentación, y corresponderían a un prolongado ciclo de denudación durante el Jurásico Tardío-Cretácico (Carignano *et al.*, 1999.; Cioccale, 1999; Rabassa *et al.*, 2010).

En este contexto, los estudios estratigráficos referidos a las áreas cumbres de las sierras de Córdoba son puntuales, producto quizás de la poca continuidad de la estratigrafía y el difícil acceso a las áreas de estudio, siendo relegadas a investigaciones tradicionales dentro de la llanura pampeana argentina.

Los primeros estudios que describen la estratigrafía de las pampas de altura de las Sierras Pampeanas de Córdoba fueron realizados por el ingeniero civil Aníbal Montes (1954, 1956), dando a conocer las primeras asociaciones paleofaunísticas de Pampa de Olaen (*e.g.*, *Glyptodon* sp., *Mastodon* sp., *Toxodon* sp., *Scelidotherio*, *Lestodon* sp., *Megatherio*). Este autor posó su atención en un estrato negro, aflorante en esta pampa, que llamó Humus fósil I, el cuál correlacionó con uno encontrado en el cerro Inti-Huasi, en San Luis, datado en 8,000 años AP e identificado como el registro sedimentario del Óptimo Climático Holoceno (González, 1960). Leonardi (1961) amplió el conocimiento estratigráfico de esta área, determinando 6 unidades sedimentarias, siempre forzando la correlación con las unidades descritas en los estudios realizados en la llanura pampeana de Córdoba, en especial a los trabajos pioneros de Doering (1907).

Algunas décadas más tarde, Manzur (1995, 1997) estudió dos pampas de altura ubicadas en las Sierras de Los Comechingones, Atos y Atum Pampa, donde describe la génesis de sus suelos y describe 4 facies principales. Luego correlaciona estas facies con diferentes niveles sedimentarios descritos en la provincia, principalmente con la Fm. Pampeana (Cantú, 1992; Pleistoceno Medio), y la Fm. La Invernada (Cantú, 1992; Pleistoceno Tardío).

Goya (2003), Tauber y Goya (2006) y Tauber *et al.* (2008) dieron a conocer el contenido estratigráfico y paleontológico de otra pampa de altura, denominada Vaca Corral, siendo la localidad paleontológica de mayor altitud de las Sierras Pampeanas de Córdoba. La asociación paleofaunística hallada les permitió correlacionar la base del perfil estratigráfico descrito con el Piso/Edad mamífero Lujanense (~130 -7 k.a., Cione y Tonni, 2005; Cione *et al.*, 2009) o incluso Bonaerense, por la presencia de *Megatherium americanum* (Mammalia, Xenarthra) (0.78 M.a., probablemente ca. 0.5 M.a., Cione *et al.*, 2009).

Paralelamente, Córdoba (2005) y Córdoba *et al.* (2005) realizaron una re- descripción de la estratigrafía de Pampa de Olaen, realizando un análisis de facies, para la interpretación de los paleoambientes

cuaternarios de las pampas de altura. Al comparar la estratigrafía de Pampa de Olaen con la de Pampa Vaca Corral, propusieron que debido a “la proximidad geográfica en la que se encuentran, tendrían una vinculación genética espacial y temporal” (*sic.*), teniendo edades de depósito similares y un paleoambiente dominado por ambientes abiertos de pastizales y estepas con árboles aislados, con condiciones climáticas de templado a templado frías, áridas a semiáridas.

Por último, Kröhling y Carignano (2014) sintetizan toda la información estratigráfica disponible de las pampas de altura en 4 unidades depositacionales: conglomerados basales, limos arenosos basales, limos de las partes centrales y limos eólicos superiores

Este trabajo pretende realizar un análisis comprensivo del registro estratigráfico de estas “pampas de altura”, con una visión integradora, que permita interpretar su significado paleoclimático, paleoambiental y geocronológico y aportar un marco para futuros estudios en la región.

ÁREA DE ESTUDIO

Las áreas estudiadas en este trabajo se encuentran distribuidas en la Sierra Grande (o de Achala) y de Los Comechingones de las Sierras Pampeanas de Córdoba (Figura 1a, 1b).

De la Sierra Grande se estudiaron las pampas de altura de Pampa Vaca Corral (ubicada entre los 31°9' a 31°11' S y 64°51' a 64°52' O, a una altitud de 1,600 m s.n.m. y un área aproximada de 2,328 m²) (Figura 1b, 1c), Pampa de Olaen (situada entre 31°00' – 31°15' S y los 64°30' – 64°40' O, a una altura promedio de 1,100 m s.n.m., abarcando un área aproximada de 32,463 m²) (Figura 1b, 1d) y Pampa de Achala (entre las coordenadas 31° 24' 08" S y 64° 45' 23" O y a 1,740 m s.n.m.; esta pampa de altura tiene una superficie aproximada de 150,000 km²) (Figura 1b; 2a).

Hacia el Sur, en la Sierra de Los Comechingones, se prospectaron las áreas de Atos Pampa (31°56'4.1" S – 64°34'35.56" O, en una altitud de 1,100 m s.n.m. y un área aproximada de 35,215 m²) (Figura 2b) y Atum Pampa (32°7'26.4" S – 64°44'32.3" O, a 1,152 m s.n.m. y un área aproximada de 13,816 m²) (Figura 2c).

MATERIALES Y MÉTODOS

En cada una de las pampas de altura estudiadas se realizaron numerosos perfiles siguiendo las consideraciones de Etchevehere (1976) y Vera Torres (1994) para las descripciones estratigráficas; y para los caracteres de los suelos y paleosuelos se utilizaron los términos y criterios de Catt *et al.* (1990) y Retallack (2001).

Los estudios micromorfológicos de muestras de paleosuelos fueron realizados en la cátedra de Métodos de Investigación Mineral de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

Por último, se tomaron muestras de materiales susceptibles de datar mediante ¹⁴C en el Laboratorio de Tritio y Radiocarbono (LATYR) del Museo de La Plata (Argentina) y por luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) en el Laboratorio de Investigación de Datación Lumínica de la Universidad de Illinois, Chicago (Estados Unidos de América).

ANÁLISIS DE FACIES SEDIMENTARIAS

Los estudios realizados en el área serrana de Córdoba mostraron que una de las características principales de las coberturas sedimentarias aquí presentes es la gran variabilidad espacial que presenta la estratigrafía.

El basamento de la Sierra Grande, donde se ubican la Pampa de Olaen y Vaca Corral, está formado principalmente por gneises (paragneises), esquistos, anfibolitas (paranfibolitas) y mármoles. En la Sierra de Comechingones, donde se encuentran las localidades de Atos y Atum Pampa, la roca madre está formada principalmente por gneis tonalítico biotítico y migmatitas cordieríticas interdigitadas con cuerpos de kinzigitas y mármoles (Gordillo y Lencinas, 1979; Martino, *et al.*, 1994).

La presencia de perfiles de meteorización fue verificada en las localidades de Atos y Atum Pampa, aunque Rabassa *et al.* (2010) analizaron otros perfiles de meteorización asociados a diferentes superficies de aplanamiento en las Sierras Pampeanas de Córdoba. Se trata de un saprolito, probablemente con alto contenido en caolinita, que se encuentra apoyado sobre el basamento cristalino inalterado, en contacto neto e irregular, con porciones de cuarzo rodeados por el producto de meteorización de feldespatos y micas. Se trata de una arcilla limosa, blanquecina (10YR 8/3), maciza, con un espesor de hasta 63 cm y un límite superior abrupto y ondulado. Se observan numerosos nidos de escarabajos (*Coprinisphaera* sp.) (Krapovickas, 2014).

Rabassa *et al.* (2010) sugieren que la formación de regolito en esas pampas de altura se habría producido bajo un régimen climático mucho más húmedo y cálido que el presente. La presencia de numerosas trazas fósiles, constituidas por nidos de escarabajos (*Coprinisphaera* sp.), puede explicarse de manera que, cuando se produjeron estas estructuras, la capa de material meteorizado se encontraba desnuda y/o con una escasa profundidad de sedimentos cenozoicos cubriéndola, de manera que al enterrar los bolos de materia fecal que utilizan los escarabajos para sus nidos, estas estructuras de nidificación quedaban hospedadas dentro del regolito de estas paleosuperficies. En este sentido, se encuentra bien documentada la presencia de estructuras de bioerosión y bioacumulación de invertebrados (principalmente insectos) dentro de perfiles de meteorización alrededor del mundo, ya que la roca saprolitizada actúa mecánicamente como un sedimento (Scott y Pain, 2009).

A partir de las descripciones estratigráficas realizadas en las áreas de estudio, se pudieron definir las siguientes facies sedimentarias:

1- Limo arenoso con megatabiques de carbonato de calcio

Esta facies solo fue encontrada en las localidades de Atos y Atum Pampa, siempre teniendo una pequeña extensión areal en su exposición.

En la primera localidad se observa un cuerpo de limo arenoso rojizo oscuro (Atos Pampa: 5YR 5/6 en húmedo y 7.5YR 7/6 en seco; Atum Pampa: 10R 5/6 en seco y 5YR 5/6 en húmedo), moderadamente seleccionado, tabular en geometría, de hasta 71 cm de potencia, con cantidades subordinadas de arcilla, consolidado, con estructura migajosa y tabiques calcáreos de hasta 10 cm de diámetro transversal.

El sistema de tabiques se condensa hacia la base del paquete tabular formado por limo arenoso muy cementado por carbonato de calcio, macizo y blanquecino (10YR 8/1), con un espesor de hasta 8 cm y límite superior abrupto y ondulado, el cual se encuentra en contacto pleno con el regolito o al basamento.

Interpretación

La estructura masiva y la geometría tabular de los paquetes estratigráficos reconocidos para esta facies permiten interpretar al mecanismo responsable del depósito como flujos hiperconcentrados de detritos, probablemente de baja energía (Miall, 2006; Tripaldi y Limarino, 2008). Si bien la ausencia de estructuras planares puede deberse a la diagénesis sufrida por los sedimentos, no fueron observados indicios de laminación en todos los afloramientos descritos (Krapovickas, 2014). Los procesos post-depositacionales observados

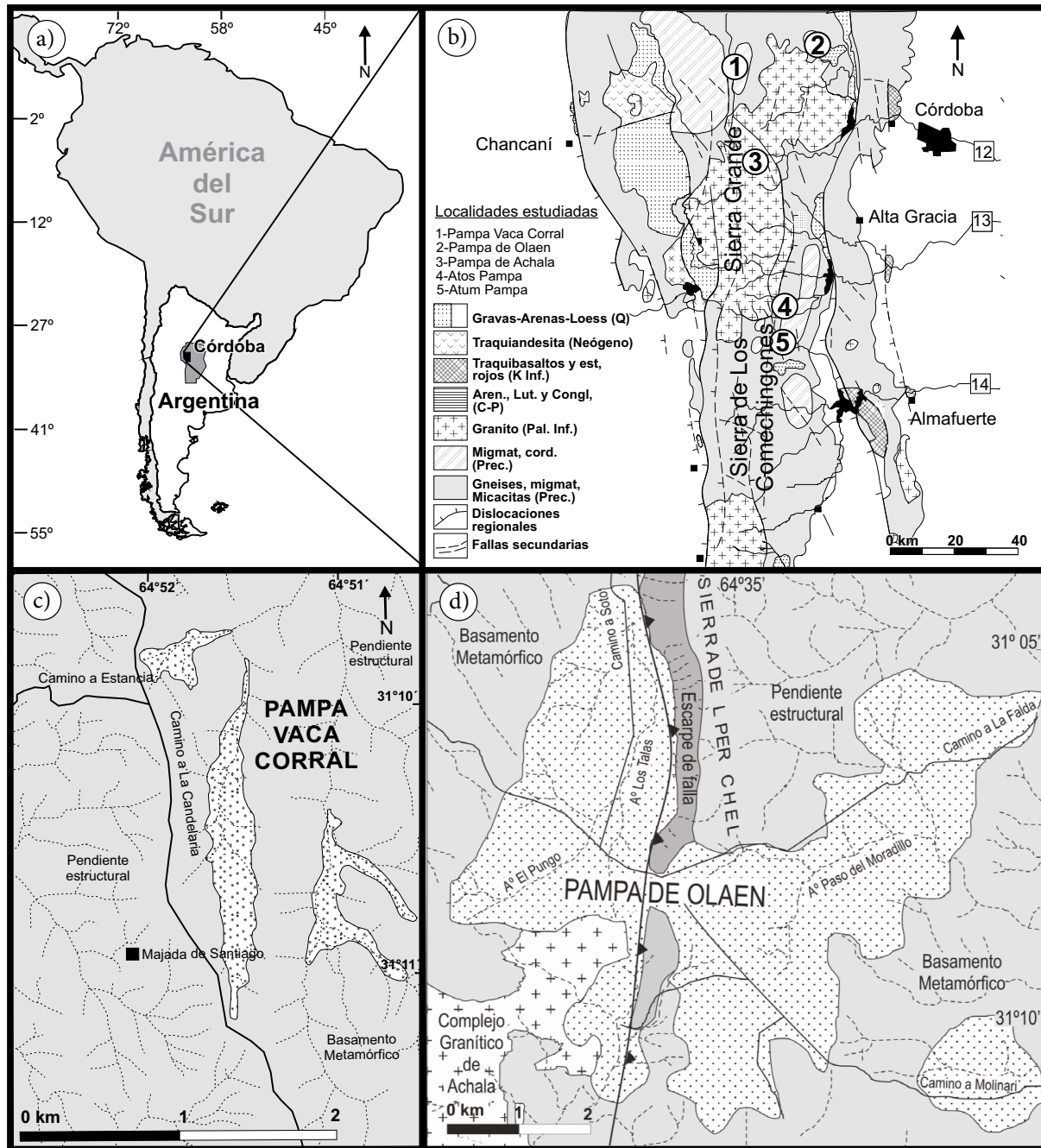


Figura 1. a) Mapa de América del Sur, mostrando la ubicación de la provincia de Córdoba dentro de la República Argentina; b) mapa geológico de las Sierras Pampeanas de Córdoba y la posición de las distintas localidades estudiadas; c) mapa de ubicación de Pampa Vaca Corral; d) mapa de ubicación de Pampa de Olaen.

en esta facies, como ser la acumulación de arcillas (evidenciadas por la presencia de pequeños pedrs sub redondeados) y la gran cantidad de carbonato en la matriz de esta facies, permite interpretarla como un paleosuelo (Retallack, 2001), en cuya base se observa una costra compacta (“hardpan”) o calcrete macizo (Esteban y Klappa, 1983). La estructura maciza de este calcrete, junto a la presencia de numerosas fracturas, la gran concentración de carbonato en su matriz y ausencia de estructuras biogénicas (como rizolitos), permite afirmar que su formación se debió a la acumulación de sales por lixiviado de horizontes más superiores, en un clima árido.

Con respecto a la edad de depósito, Tauber *et al.* (2013) y Asurmendi

(2015) describen un paquete sedimentario aflorante en el Valle de La Cruz (ubicado dentro del área serrana de Córdoba) formado por limo arenoso fuertemente pedogenizado, con tabiques y calcretes análogos en tamaño a los descritos para esta facies. Estos autores, además, comunican el registro de una asociación fosilífera, formada por *Pseudotypotheerium hystatum* y *Microcavia chapalmalensis* que permite correlacionar esta unidad estratigráfica con depósitos del Piso/Edad Chapadmalalense (Plioceno tardío) de la llanura pampeana Argentina (Cione y Tonni, 2005). De ser correcta esta correlación litoestratigráfica, esta facies serían los sedimentos más antiguos de los encontrados en las pampas de altura de las sierras de Córdoba (Krapovickas, 2014).

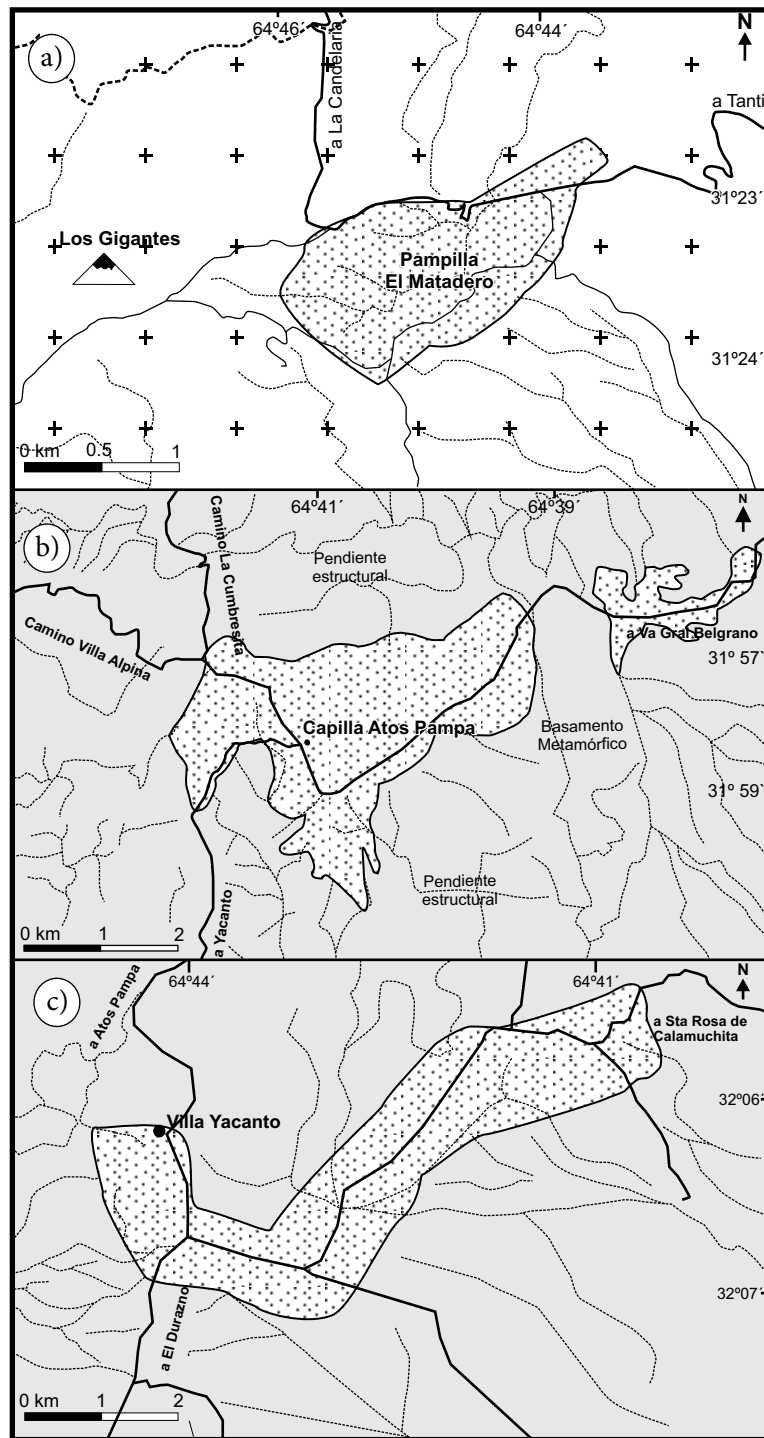


Figura 2. Mapas de las localidades estudiadas en las Sierras Pampeanas de Córdoba: a) mapa de ubicación de Pampa de Achala ("Pampilla El Matadero"); b) localidad de Atos Pampa; c) localidad de Atum Pampa.

2- Arena limosa pardo rojiza con clastos

Está representada en las unidades de depósitos basales de Vaca Corral, Pampa de Olaen, Atos y Atum Pampa (Figura 3a).

Tiene una potencia variable, con un máximo de 3.8 m y un mínimo de 0.5 m. Se compone de un limo arenoso pardo rojizo, con clastos de hasta 10 cm diseminados en la matriz, que hacia el techo grada a arena limosa bastante cohesiva. La base es erosiva y se apoya en discordancia

sobre las rocas del basamento metamórfico, de donde proceden clastos irregulares y angulosos de hasta 30 cm. Se observa laminación horizontal difusa y geometría tabular. La base del perfil tipo en Pampa Vaca Corral se dató por OSL en $37,095 \pm 2,020$ años AP (Krapovickas, 2014).

La variación de color es importante; en Vaca Corral es pardo rojizo (5YR 4/6 en húmedo y 7.5YR 7/6 en seco), en Pampa de Olaen ésta facies tiene un color amarillento rojizo (10YR 7/6) en seco a rojo

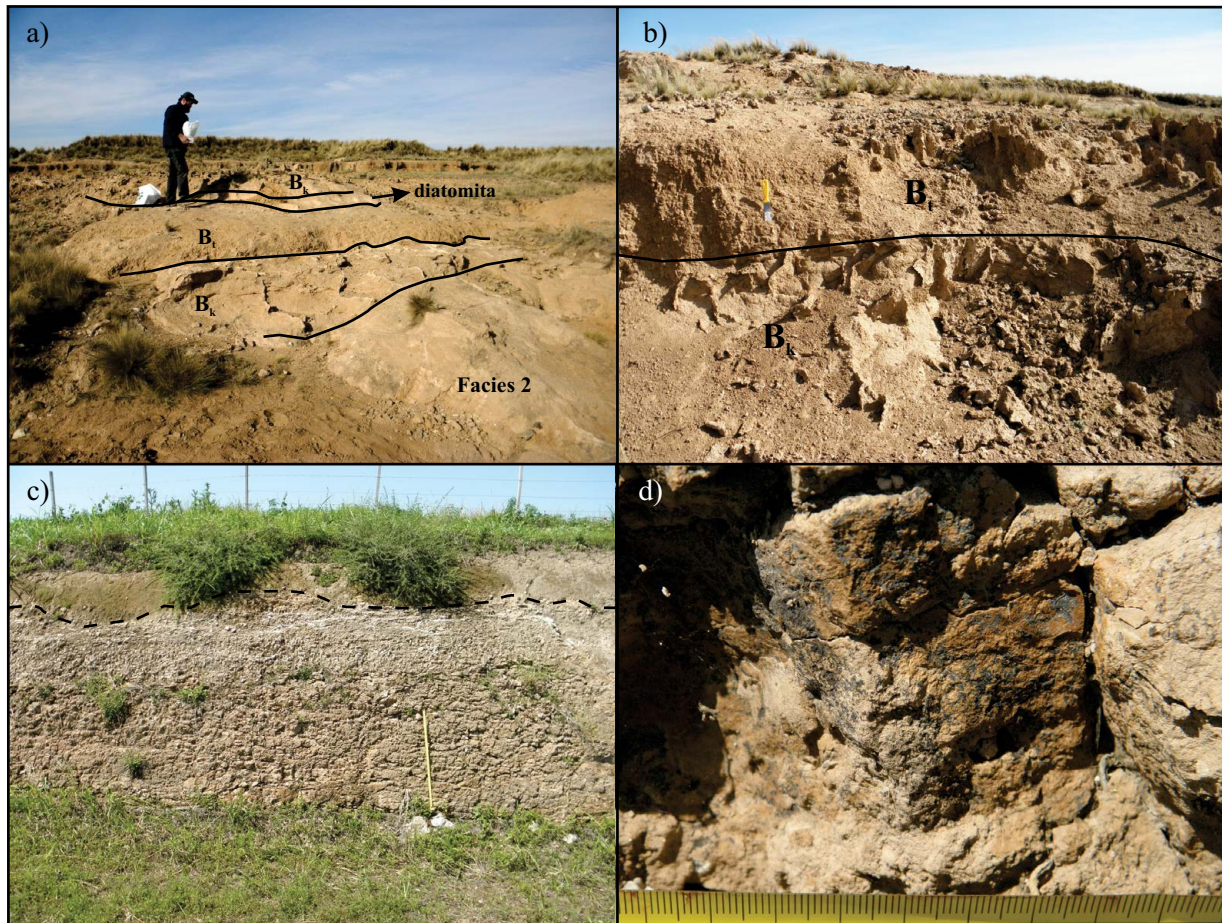


Figura 3. Aspecto general de la facies 2, en la localidad tipo definida para el Geosuelo Majada de Santiago. a) Secuencia de horizontes que componen el perfil de suelo hallado en la localidad de Pampa Vaca Corral (perfil tipo), donde se observa el material aluvial basal inalterado (horizonte C) y los horizontes ricos en carbonatos (B_k) y arcillas (B_t). Puntualmente, se registró un lente de material friable (probablemente diatomita) sobre el cual se depositaron sedimentos de la misma facies y sufrieron los mismos procesos post-depositacionales. b) Contacto entre los horizontes pedogenéticos del perfil del paleosuelo (B_t y B_k) (escala= 22 cm). c) Perfil propuesto como sitio de interés geológico en Atos Pampa (Krapovickas y Tauber, 2014) donde se observa las litologías de la facies 2 y 4 (loessoide) suprayaciendo (escala= 1 m); d) peds prismáticos de la capa B_t del Geosuelo Majada de Santiago, donde se observan pátinas de arcillas en sus paredes (escala= 9 cm).

amarillento (5YR 5/6) en húmedo, mientras que en Atos y Atum Pampa los colores corresponden a un limo arenoso amarillento rojizo (7.5YR 7/6 en seco; 7.5YR 5/8 en húmedo).

Hacia la mitad inferior de esta facies, la matriz presenta gran acumulación de muñecas, nódulos, tabiques y láminas de carbonato de calcio (Figura 3a, 3b). Los tabiques forman una red tridimensional de estructuras que se entrecruzan horizontal y verticalmente, que marcan la transición al sector superior, cuyo límite es neto e irregular (Figura 3b). En el interior de la sección se aprecian abundantes rizolitos de 1 mm de diámetro promedio, rizoconcreciones de hasta 0.1 m de diámetro transversal, nódulos carbonáticos de hasta 0.13 m de diámetro máximo y tabiques calcáreos de 0.015 m de ancho. Ocasionalmente se observan intraclastos subangulares a subredondeados de hasta 0.4 m, como así también lentes microconglomeráticas clasto soportadas, cuya base neta es erosiva. Estas lentes son macizas, formadas por arenas finas a medias, con presencia de clastos dispersos de hasta 0.03 m de diámetro máximo. Dispersos en el banco se observan ocasionales gravas y clastos subangulosos de rocas cristalinas.

Hacia el techo, esta facies se encuentra muy bioturbada (Figura 3c), observándose de acuerdo a la localidad estudiada la alternancia de diferentes morfología de peds: pequeñas estructuras irregulares y

redondeadas (e.g., Pampa Vaca Corral; Figura 3b) de hasta 0.045 m de diámetro máximo que le confiere un aspecto “migajoso” o, estructura en bloques de forma cúbica de hasta 0.06 m de diámetro máximo (e.g., Atos Pampa; Figura 3d). En todos los casos, se observa la presencia de finas láminas verticales de carbonato de calcio y cutanes en los bordes de los pequeños prismas.

Los estudios de microestructura realizados sobre esta facies arrojaron la presencia de nódulos de Fe y Mn (Figura 4a, 4b, respectivamente). Entre los componentes inorgánicos, se destacan cuarzo (fenocristales con inclusiones), calcita, feldespato, horblenda, biotita, muscovita, granate, apatita, sillimanita (Figura 5). También se observan fitolitos y fecas como los principales componentes orgánicos (Figura 6a, 6b respectivamente). Los espacios vacíos identificados son de dos tipos: 1) pequeños y no conectados (Figura 7a) y, 2) grandes, donde algunas cámaras se hallan conectadas (Figura 7b). Los huecos de empaquetamientos son de tipo complejos y los espacios vacíos, conformados por cámaras conectadas por canales. Son característicos los revestimientos porales de carbonato tipo micrítico (Figura 7c). La micromasa se define como moteada en general, con zonas cristalinas.

Toda esta facies, con sus variaciones laterales antes descritas, es fosilífera, registrándose hasta el momento mamíferos de gran porte

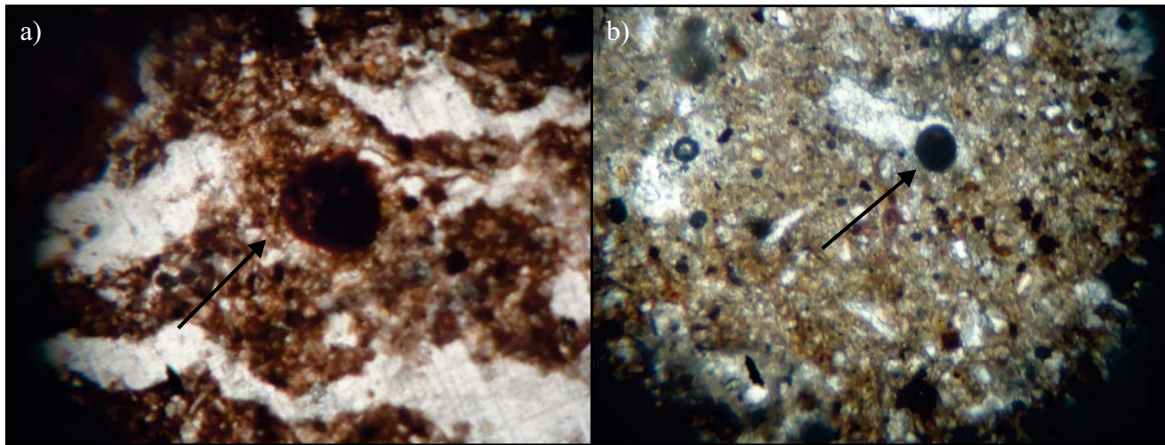


Figura 4. Principales caracteres hallados en los estudios de microestructura realizados en diferentes muestras de la facies 2 que permiten inferir hidromorfismo incipiente. a) Nódulo de hierro; b) Nódulo de Manganese ($\times 10-100 \mu\text{m}$ a nicoles paralelos).

como: *Macrauchenia* cf. *M. patachonica* (Litopterna; Macraucheniiidae), *Smilodon* cf. *S. populator* (Carnivora, Felidae), *Lycalopex* cf. *L. culpaeus* (Carnivora, Canidae), cf. *Notiomastodon platensis* (Proboscidea, Gomphotheriidae), mylodóntidos indeterminados, Scelidotheriinae gen. et sp. indet., cf. *Eutatus seguini* (Xenarthra, Dasypodidae), *Panochthus* sp. (Xenarthra, Glyptodontidae), *Glyptodon reticulatus* (Xenarthra, Glyptodontidae), *Glossotherium* sp. (Xenarthra, Mylodontidae), *Scelidotherium leptocephalum* (Xenarthra, Mylodontidae), “*Catonix*” *tarijensis* (Xenarthra, Mylodontidae), *Megatherium americanum* (Xenarthra, Megatheriidae), *Hippidion principale* (Perissodactyla, Equidae), *Ctenomys* sp. (Rodentia, Octodontidae) y *Lagostomus* cf. *L. maximus* (Rodentia, Chinchillidae), como así también estructuras sedimentarias biogenéticas, identificadas como madrigueras de

grandes mamíferos (crotovinas) y numerosos nidos fosilizados de Scarboideos (*Coprinisphaera* sp., Coprinisphaeridae) (Tauber *et al.*, 2011; Krapovickas y Tauber, 2012a; Krapovickas y Tauber, 2012b; Krapovickas, 2014).

Interpretación

La pobre selección, la gradación normal de la granulometría, la presencia de laminación horizontal incipiente y la presencia de bloques angulosos de roca madre en la base del perfil indicarían un depósito por flujos hiperconcentrados (Miall, 2006), con una carga de alto régimen al comienzo de la sedimentación de esta facies, con escaso transporte desde las áreas de aporte de los materiales. También se interpreta la presencia de pequeños cursos de agua, que dejaron el registro de

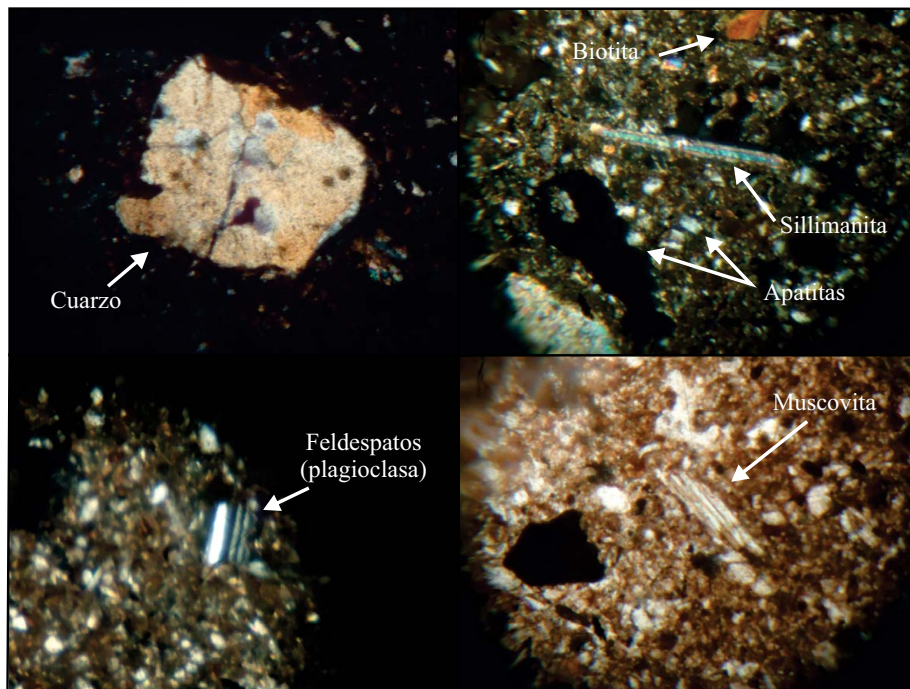


Figura 5. Principales componentes inorgánicos hallados en los estudios de microestructura realizados en diferentes muestras de la facies 2 ($\times 10-100 \mu\text{m}$ a nicoles cruzados).

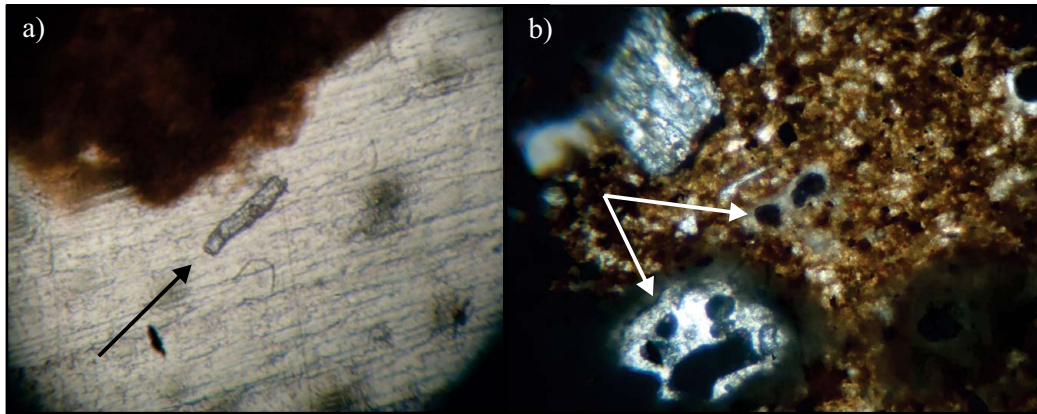


Figura 6. Componentes orgánicos en diferentes muestras de la facies 2. a) Fitolito elongado ($\times 10-100 \mu\text{m}$ a nicoles paralelos); b) fecas ($\times 10-100 \mu\text{m}$ a nicoles cruzados).

pequeñas lentes de conglomerados matriz soportados. Después de su depósito, esta facies sufrió un intenso proceso de pedogénesis en los tres cuartos superiores de su potencia.

Se infiere que esta facies está compuesta principalmente por tres horizontes pedogenéticos: uno rico en arcillas formando estructuras prismáticas o migajosa, cutanes y barnices; otro horizonte rico en carbonato de calcio, con muñecas, tabiques carbonáticos y laminación y una capa inferior conformada principalmente sedimento fluvial limo arenoso. Entre los caracteres pedogenéticos más notables, se pueden citar los nódulos de Fe y Mn (*e.g.*, Atos Pampa, Pampa de Olaen y Pampa Vaca Corral), revestimientos porales de carbonato tipo micrítico (*e.g.*, Atos Pampa) o de arcillas (*e.g.*, Pampa de Olaen), espacios vacíos grandes conformados por cámaras conectadas por canales (*e.g.*, Pampa de Olaen y Pampa Vaca Corral) o espacios vacíos pequeños y no conectados y la existencia de fecas (*e.g.*, Vaca Corral).

Además se registraron en esta facies diversos tipos de icnitas como celdillas de abejas, crotovinas, rizolitos y *Coprinisphaera* sp., que permite reconocer la icnofacies del mismo nombre (Genise *et al.*, 2000).

3- Arena limosa laminada y cementada

Se encuentra coronando a la facies anteriormente descrita, principalmente en las localidades de Pampa Vaca Corral, Pampa de Olaen y Atos Pampa.

Esta facies tiene buena extensión lateral, en especial en la localidad de Atos Pampa (Figura 8a), aunque solo se encuentra en algunos sectores laterales de las cuencas principales de cada pampa de altura donde se la observa, teniendo una potencia de hasta 0.92 m, que se apoya sobre

la sección superior de la facies 4 con límite neto y ondulado. Se trata de arena y limo compactos con carbonato y clastos de tamaño gravilla diseminados, de coloración clara, que incluyen tabiques calcáreos y estructuras similares a grietas de desecación de algunos decímetros de lado en el techo de la capa.

El arreglo laminar (Figura 8b) tiende a ser decreciente en espesor. Las láminas individuales tienen espesor variable pero nunca mayor a 0.15 m. El color es gris rojizo claro (2.5YR 7/1) en seco, tornándose blanco rosado (2.5YR 8/2) en húmedo. La estructura interna observada en secciones pulidas muestra una fina laminación de aspecto botroidal de 5 a 10 mm, cerca del techo de cada lámina individual. Los límites superiores e inferiores de esta facies son netos no erosivos suavemente ondulados a planares.

Interpretación

El arreglo de las láminas decrecientes en espesor, la acumulación en la base de rizolitos y tabiques carbonáticos, las características micromorfológicas antes descritas y la posición estratigráfica, siempre asociados a facies fuertemente pedogenizadas, permiten inferir que los materiales parentales se encontraron sujetos a los procesos de calcritización pedogenéticos, lo que permitiría identificar como un calcrete laminado (“*platy caliche*”) (Esteban y Klappa, 1983).

4- Limo arenoso amarillento macizo con clastos

Se encuentra distribuida en la mayoría de las pampas de altura estudiadas, teniendo su mayor exposición en la Pampa de Olaen (Figura 9).

Está compuesta por limo arenoso de color amarillento pálido (10YR 8/3), friable y macizo, con un espesor de 2.65 m y límite inferior

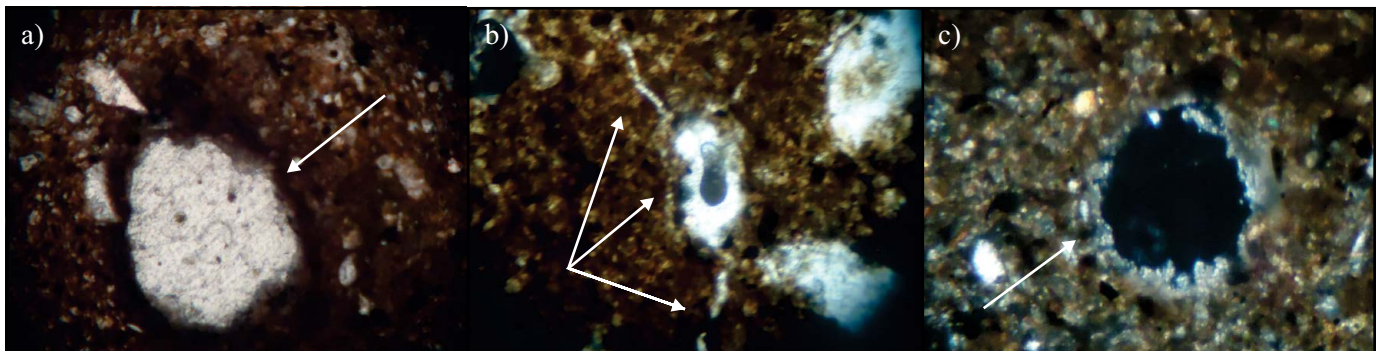


Figura 7. Tipos de poros encontrados en los estudios de microestructura realizados en diferentes muestras de la facies 2. a) Poros individuales sin conexión; b) poros interconectados por canales; c) poros micríticos ($\times 10-100 \mu\text{m}$ a nicoles cruzados).

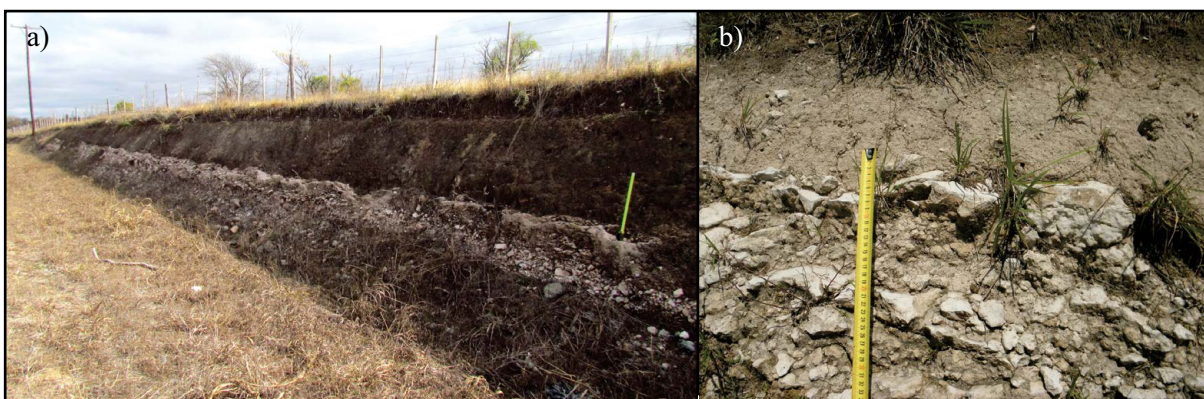


Figura 8. Arena limosa laminada y cementada (facies 3). a) Afloramiento donde se observa el gran espesor y la extensión lateral de esta facies (escala= 50 cm); b) Detalle de esta facies (escala= 33 cm).

gradual difuso. Se han observado clastos angulosos a subangulosos de rocas cristalinas con un tamaño máximo de 0.15 m dispersos caóticamente en la matriz. El contenido de carbonato de calcio es alto. En esta unidad se identificaron y recolectaron restos determinados como *Panochthus* sp. (*Xenarthra*, *Glyptodontidae*), *Equus* (*Amerhippus*) sp. (*Perissodactyla*, *Equidae*) y *Lagostomus* cf. *L. maximus* (*Rodentia*, *Chinchillidae*). Habría sido depositado durante el Pleistoceno Tardío - Holoceno temprano y el rango temporal estimado mediante las dataciones de OSL y AMS realizadas sería entre los $14,040 \pm 785 - 9,181$ años AP, respectivamente (Krapovickas, 2014; Sanabria *et al.*, 2014).

Interpretación

La predominancia de granulometría de la fracción limo, la ausencia de estratificación, su friabilidad y falta de consolidación, permiten interpretar a esta facies como depósitos del tipo loessoide (loess retransportado; “*sediment like-loess*”; Frenguelli, 1955; González Bonorino, 1965) por poseer en su matriz fragmentos líticos de diferentes tamaños.

5- Arena limosa gris oscura maciza

Presente en todas las pampillas estudiadas, tiene su máximo desarrollo en las Pampas de Olaen y Achala.

El espesor máximo es de 2.30 m y se compone de una unidad

deposicional formada por entre una (*e.g.*, Pampa de Olaen, Pampa Vaca Corral, Atos y Atum Pampa) o seis capas (*e.g.*, Pampa de Achala) de geometría tabular y características litológicas similares. La capa aluvional en la base de este perfil tiene hasta 0.3 m de espesor, color 7.5YR 7/3 en seco (gris rosáceo) y 7.5YR 4/3 en húmedo (pardo oscuro), con presencia de moteados gruesos, sobresalientes, con abundante materia orgánica y bioturbación.

La segunda capa yace mediante contacto difuso y se encuentra compuesta por arena-limosa con importe presencia de arcilla, de hasta 0.45 m de potencia, con estructura de prismas irregulares gruesos, color negro pardusco (10YR 2/2) en húmedo, Las estructuras están recubiertas por abundantes cutanes gruesos. Se observan rasgos de hidromorfismo y evidencias de actividad biológica. Las dataciones por AMS realizadas dieron para esta capa una edad promediada de 9,184 años AP y a los 0.7 m, 7,210 años AP (Figura 10, 11) (Sanabria *et al.*, 2014). Esta capa se encuentra en toda el área de estudio y en ella se identificaron restos óseos de *Lagostomus* cf. *L. maximus* (*Rodentia*, *Chinchillidae*) y cf. *Oncifelis geoffroyi* (*Carnivora*, *Felidae*), icnitas de *Coprinisphaera* sp. y crotovinas (Krapovickas, 2014).

La tercera capa tiene una potencia de hasta 0.6 m, ligeramente más claro que el subyacente, con un color de negro pardusco (10YR 3/2), areno-arcilloso y menos cobertura de patinas de arcilla. La edad

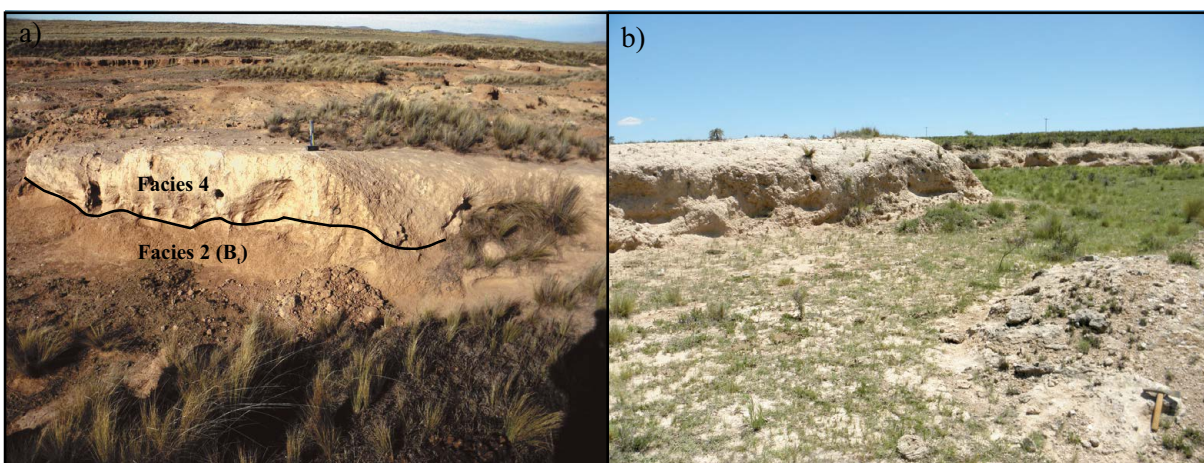


Figura 9. Limo arenosos macizos (facies 4). a) Contacto entre la facies 2 (en la figura, el horizonte B_i del Geosuelo Majada de Santiago en Pampa Vaca Corral) y la facies 4 (escala= 26 cm); b) aspecto de esta facies en Pampa de Olaen, donde se observa la mayor exposición (escala= 17 cm).



Figura 10. Arena limosa oscura maciza (facies 5). a) Contacto inferior (facies 4) y superior de esta facies en la localidad de Vaca Corral (escala= 22 cm); b) aspecto de esta facies en Pampa de Olaen, donde el desarrollo de prismas es mayor.

radiocarbónica obtenida es de 6,865.5 años AP y 3,340.5 años AP (Figura 11) (Sanabria *et al.*, 2014).

La cuarta capa, de hasta 0.2 m de espesor, areno-limoso, con un color negro pardusco (10YR 3/1) y estructura de prismas medios a moderados, cubiertos por abundantes cutanes gruesos, dio la edad de 3,271 años AP (Sanabria *et al.*, 2014).

Suprayaciendo, mediante contacto claro, se observa la quinta capa, más clara que las subyacentes, color gris pardusco (10YR 4/1), de hasta 0.18 m de potencia, masivo, compacto, areno-limoso. La edad por AMS es de 1,971 años AP (Sanabria *et al.*, 2014).

Por último, se observa una capa de color negro pardusco (10YR 3/1), macizo, de hasta 0.17 m, con abundantes arenas gruesas a muy gruesas y gravas finas, que presenta abundantes moteados de hierro y manganeso.

Interpretación

La geometría tabular, la ausencia de estructuras sedimentarias laminares y la falta de gradación dentro de la unidad depositacional, permite interpretar su origen como flujos hiperconcentrados (Miall, 2006). En el caso de Pampa de Achala, estos flujos de detritos fueron pulsatorios, reconociéndose hasta seis de estos eventos de depósito, separados por tiempos de biostasia y pedogénesis.

La presencia de cutanes y prismas, junto con el registro de *Coprinisphaera*, permiten interpretar la presencia de paleosuelos intercalados con sus respectivos materiales parentales de origen aluvial. Estos niveles de paleosuelos indican variabilidad climática, con alternancia de períodos semiáridos y húmedos, siendo la Pampa de Achala la que muestra mayor sensibilidad a dichos cambios. En el período semiárido se depositaron sedimentos aluviales en relieves deprimidos. En clima húmedo con estación seca, se produce el desarrollo de los suelos, con formación de horizontes B_i con cutanes. De acuerdo con los resultados obtenidos, durante el Holoceno, se habrían producido al menos tres eventos climáticos húmedos significativos en las altas cumbres cordobesas.

ASOCIACIONES DE FACIES

De acuerdo al orden en el cual se hallaron las facies litológicas descritas con anterioridad y de la relación existente entre ellas, se pudo distinguir una asociación de facies:

Asociación de facies fluviales/eólicas

Dominaron los procesos de agradación vertical, con predominio de la morfogénesis sobre la pedogénesis, sugiriendo la existencia de varios ciclos que homogeneizaron y que rellenaron el paleorelieve. El registro sugiere que el transporte fue principalmente aluvial al inicio de la sedimentación (facies 1 y 2), siendo paulatinamente remplazado por el aporte eólico (facies 4), que formó unidades tabulares de importante espesor en algunas áreas (*e.g.*, Pampa de Olaen). Localmente subyacen brechas fangosas interpretadas como producto de meteorización de la roca madre, principalmente en Atos y Atum Pampa.

La geometría tabular, las texturas y las macroestructuras sedimentarias descritas, permitieron interpretar a los paquetes areno limosos (facies 1, 2 y 4) como sedimentos de origen hídrico, donde el gran tamaño de los clastos observados y su distribución caótica, podría sugerir la intervención de agentes de transporte áqueo más denso, como un flujo de barro (Miall, 2006; Tripaldi y Limarino, 2008) y donde los sedimentos transportados a partir de corrientes efímeras, confinadas en canales o no confinadas en mantos de arroyada como un agente secundario de depósito en los paleoambientes estudiados. En cambio, las unidades limo arenosas se interpretan como sedimentos eólicos que fueron removilizados, junto con el material disponible en superficie producto de la meteorización del basamento cristalino (loess re-trabajado de tipo loessoide; *i.e.*, facies 4). Los sedimentos loésicos indican condiciones de sedimentación bajo un clima semiárido a árido, fuertemente estacional, relativamente más frío y húmedo, debido a la altitud (1,000 m s.n.m), en relación con la llanura Pampeana (Cioccale, 1999; Córdoba, 2005), con lluvias esporádicas, torrenciales y vientos persistentes, que permitió que la acumulación se mantuviera por encima de la tasa de formación de suelos.

PALEOSUELOS

Luego del depósito de los materiales aluviales, se produjeron al menos 3 ciclos de pedogénesis, dos de los cuales están separados por facies carbonáticas y el último, separado por un manto de origen mixto eólico-fluvial (*i.e.*, facies 4). Los espesores y la geometría tabular de la facies (*i.e.*, facies 3), sumado a la presencia de laminación (probablemente producto de actividad biológica de la rizosfera) concuerdan con las características de los calcretes pedogenéticos (Etcheverría y Folguera, 2014). Este tipo de calcretes se genera en sedimentos bien drenados y por encima de la freática.

La presencia de prismas, cutanes, barnices (facies 1, 2 y 5) nos permite inferir la presencia de una capa B₁ de un suelo bien desarrollado (Zárate *et al.*, 2002). La formación de horizontes B₁ son posibles bajo condiciones de suficiente humedad para permitir la generación de arcilla y su posterior iluviación para la formación de cutanes (Soil Survey Staff, 1999). El proceso de eluviación/iluviación es característico de climas con alternancia de estaciones húmedas y secas, que permita la contracción de los sedimentos para formar los peds prismáticos o granulares.

Los estudios de microestructura realizados a la facies 2 mostraron una alta porosidad, con gran porcentaje de espacios vacíos y cámaras interconectadas, producto de la actividad biológica. La iluviación de arcillas ha sido de poca magnitud, evidenciado por la micromasa moteada (y cristalina en algunos casos). Los nódulos de hierro y manganeso observados son característicos en suelos sometidos a intensos cambios estacionales y, en particular, los revestimientos de carbonato micrítico, permiten inferir un clima árido. Durante las fases húmedas se reduce el Mn y el Fe y se movilizan. Durante las fases de aireación el Mn y el Fe se oxidan, y se inmovilizan. En general, los nódulos de Mn y Fe, por sí mismos, son indicadores de una hidromorfia incipiente.

Las rizoconcreciones y rizolitos en sedimentos pleistocenos (Facies 2 y 3), permitiría inferir que la flora que poblaba las sierras cordobesas era de mayor porte que las holocenas, ya que las raíces fósiles halladas de mayor tamaño siempre se encontraron en estratos correlacionables con esta edad. Gregory (2006) postula una relación directa entre el tamaño de las raíces con su correspondiente porción aérea de una planta; Sin embargo, hay que tener en cuenta que la disponibilidad de carbonato en la matriz sedimentaria, estaría directamente relacionado al crecimiento diagenético de estas estructuras biogénicas.

Esta alternancia con respecto a los porcentajes de humedad dentro del suelo y en particular en la rizosfera, permitió la gran acumulación de carbonato dentro y fuera de las raíces (Retallack, 2001). La gran acumulación de pequeñas raíces en la localidad de Vaca Corral puede estar correlacionada quizás por una importante cantidad de plantas de

pequeño porte, sin eje principal en las raíces, como las gramíneas en general (Gregory, 2006). La presencia de fitolitos elongitos, típicos de las gramíneas (Nuñez, 2014), en los estudios de microestructura de la facies 2, revela que las pasturas fueron un componente importante en el paleoambiente durante parte del Pleistoceno Tardío.

Con respecto a los rizoconcreciones encontradas en sedimentos holocenos (*i.e.*, facies 5), todas ellas presentan evidencia de haber sufrido falta de nutrientes, por presencia de óxido de hierro (Retallack, 2001), debido quizás a una fuerte iluviación que lavara de nutrientes el suelo. También se puede inferir cierta estacionalidad climática, menos marcada que durante el Pleistoceno, por la presencia de capas concéntricas de pequeño espesor de carbonato en algunas localidades holocenas y el pequeño tamaño de los rizolitos hallados. Sin embargo, se puede explicar esta disminución de carbonatos en la fase diagenética de la conservación de estas estructuras, con una matriz sedimentaria que haya poseído poco carbonato que puede ser precipitado y cementado en las raíces.

La gran cantidad de materia orgánica que posee la facies 5, junto a las pátinas de óxidos de hierro discutidos con anterioridad, nos permite interpretar que estos sedimentos sufrieron un mayor hidromorfismo que los de la facies 2. Esto significa que, si bien existió una estación seca que permitió la inmovilización y acumulación de estos rasgos hidromórficos, también existió, durante el Holoceno, una estación más húmeda que la evidenciada por el desarrollo del paleosuelo de edad pleistocena o, al menos, con mayor humedad relativa en el suelo, ya sea por disponibilidad pluvial o por mal de drenaje en los suelos.

En la facies 5 también se han realizado algunos estudios que arrojaron importantes datos preliminares sobre micropaleontología. Los estudios palinológicos realizados por Di Martino (2014) revelaron una asociación polínica dominada por tipos polínicos herbáceos: de las Asteráceas Asteroideas (*Baccharis* sp., *Bidens* sp. y *Gamocheta* sp.), de la Asterácea Cichiroidea *Taraxacum officinalis*, de tres taxones de Umbelíferas, de dos de Poaceas (*Gomphrena* sp., *Satureja* sp.), de una Chenopodiaceae, de un taxón de Malvaceae y de un taxón

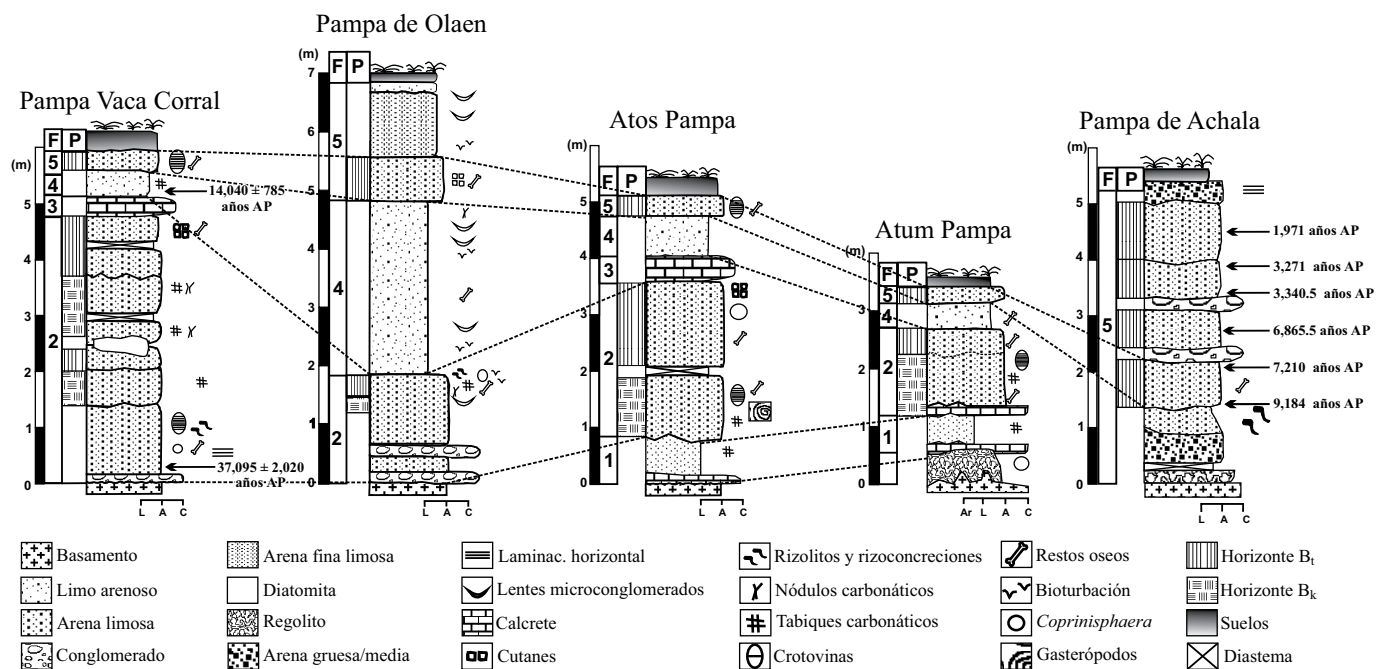


Figura 11. Perfiles estratigráficos generales de las localidades estudiadas, con la correlación geocronológica, lito y pedostratigráfica. F: facies; P: horizontes pedogenéticos inferidos.

de Brassicaceae; los arbóreos y arbustivos de *Celtis ehrenbergiana*, *Ephedra* sp., *Schinopsis* sp., *Alnus* sp., *Pinus* sp., *Melia* sp. y de un taxón de Rhamnaceae; los taxones indicadores de humedad local: *Typha*, Juncaceae y Cyperaceae. El paleoambiente para el Holoceno temprano inferido son pastizales de altura o estepas compuestas por herbáceas, con presencia de árboles y arbustos aislados. Además, se infieren condiciones locales de saturación de agua y humedad, llegándose a desarrollar condiciones palustres.

El icnogénero *Coprinisphaera*, muy abundante en estos sedimentos, se relaciona con ambientes de sabanas, pastizales, praderas, estepas y la mayoría de las comunidades herbáceas terrestres. La presencia de estas icnitas (junto a otras, como las celdillas de abejas, madrigueras de vertebrados y rizolitos) indican la presencia de paleosuelos desarrollados en comunidades herbáceas, desde climas secos y fríos (*i.e.*, estepas) a cálidos y húmedos (*i.e.*, sabanas tropicales). La presencia de nidos de himenópteros en la localidad de Atos Pampa, puede sugerir condiciones más xerófitas. Estas estructuras biogénicas se encuentran asociadas a procesos edáficos y paleosuelos desarrollados en una amplia gama de ambientes de depósito, tales como llanuras aluviales, barras fluviales abandonadas, albardones y depósitos eólicos vegetados (Genise *et al.*, 2000; Buatois *et al.*, 2002). Entonces, la aparición de los nidos de escarabajos es un indicio de condiciones de estabilidad ambiental para el tiempo en el que se formaron estas estructuras de nidificación, ya que las mismas se asocian al desarrollo de suelos (Goya, 2003).

Por último, la presencia y conservación de coprolitos de carnívoros ha sido utilizado como una evidencia de un clima árido o semiárido durante la deposición y posterior fosilización (Chimento y Rey, 2008). Para que estas estructuras se puedan conservar y perdurar en el registro estratigráfico, requieren de una rápida deshidratación con una alta tasa sedimentaria posterior, junto con una textura fina de los niveles portadores (Tauber, 2005).

MODELO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

Gracias a los estudios estratigráficos realizados en el área serrana cordobesa, se observó un patrón estratigráfico común que puede ser de valor predictivo para la geocronología de nuevas localidades que se puedan estudiar a futuro.

Así se delimitaron tres tramos estratigráficos o secciones de la columna estratigráfica general; los dos primeros arena limosos o limo arenosos, con altos contenidos de carbonato en la matriz, de colores rojizos a amarillentos y de posiciones más basales en las relaciones estratigráficas contuvieron representantes de faunas de mamíferos fósiles pleistocenos, mientras que aquellas de coloraciones oscuras, solo portan representantes de faunas con especies vivientes.

El primer tramo antes mencionado es un conjunto de sedimentos formados principalmente por arenas finas a gruesas, amarillentas a rojizas, con restos de fauna extinguida y evidencia de bioerosión (*e.g.*, crotovinas, como las registradas en las localidades de Vaca Corral y Atos Pampa; ver Goya 2003; Bárcena Esquivel, 2013; Krapovickas, 2014), bioacumulación (*e.g.*, coprolitos y *Coprinisphaera* sp., como los encontrados en las Pampas de Vaca Corral y Olaen; Krapovickas 2014), bioturbación (*e.g.*, rizolitos principalmente, de hasta 10 cm de diámetro transversal, como el encontrado en Panaholma; Krapovickas 2014) y evidencia de pedogénesis manifestados macroscópicamente por pedos prismáticos o granulares, cutanes, nódulos y tabiques calcáreos; entre los caracteres pedogenéticos más notables se pueden citar los nódulos de Fe y Mn (*e.g.*, Atos Pampa, Pampa de Olaen y Pampa Vaca Corral), revestimientos porales de carbonato tipo micrítico (*e.g.*, Atos Pampa) o de arcillas (*e.g.*, Pampa de Olaen),

espacios vacíos grandes conformados por cámaras conectadas por canales (*e.g.*, Pampa de Olaen y Pampa Vaca Corral) o espacios vacíos pequeños y no conectados y la existencia de fecas (*e.g.*, Vaca Corral). Este conjunto habría sido depositado durante el Pleistoceno Tardío y el rango temporal estimado mediante las dataciones por OSL realizadas sería entre los $37,095 \pm 2,020$ y $14,040 \pm 785$ años AP. Su depósito y formación es sincrónico con el depósito de las Formaciones Tezanos Pinto (Iriondo y Kröhling, 1995; Kröhling, 1999), General Paz (Santa Cruz, 1972) y La Invernada (Cantú, 1992) (Figura 11).

El segundo tramo abarca sedimento limo arenoso amarillento, friable y macizo, que interpretamos como un loessoide (loess retransportado; “*sediment like-loess*”) por poseer en su matriz fragmentos líticos de diferentes tamaños (Pampa de Olaen). Hospeda vestigios de fauna extinta y habría sido depositado durante el finipleistoceno- Holoceno temprano y el rango temporal estimado mediante las dataciones de OSL y AMS realizadas sería entre los $14,040 \pm 785$ y $9,181$ cal. Años AP, respectivamente (Figura 11).

El tercer y último tramo se caracteriza por arenas gruesas de coloraciones más oscuras a las descriptas anteriormente, con mayor cantidad de materia orgánica en la matriz, presencia de prismas y cutanes, forma un paleosuelo (*e.g.*, Pampa Vaca Corral, Pampa de Olaen; Atos Pampa, Atum Pampa), aunque en variaciones laterales pueden ser hasta tres (*e.g.*, Pampa de Achala; Krapovickas, 2014). No presenta registro de restos de fauna extinta pero sí de fauna actual. Posee una marcada evidencia de bioturbación vegetal. Este paleosuelo de extensión regional se formó durante el Holoceno temprano y tiene un rango de edad comprendida entre 9,181 y 7,206 cal. años AP (AMS; Sanabria *et al.*, 2014). Este paleosuelo puede ser correlacionable con el suelo fósil I de Montes (1955, 1956) y el Geosuelo El Ranchito (Carignano, 1997) y se lo encuentra en San Luis, Santa Fe y Buenos Aires (Krapovickas, 2014; Kröhling y Carignano, 2014) (Figura 11).

El primer tramo estratigráfico contiene un paleosuelo de interés para correlacionar las diferentes áreas serranas. Lo encontramos muy desarrollada en diferentes pampas de altura (*e.g.*, Pampa Vaca Corral, Pampa de Olaen, Pampa de Pocho, Atos Pampa y Atum Pampa; ver Krapovickas y Tauber, 2014) y localidades ubicadas en los valles inter-serranos (*e.g.*, San Clemente, en Bosque Alegre; ver Krapovickas 2014). Además, en él se encuentra la mayoría de los mamíferos extintos encontrados en esta región. También posee abundante registro icnológico (*e.g.*, *Coprinisphaera*, crotovinas de grandes mamíferos y rizolitos) correspondiendo a la icnofacies de *Coprinisphaera* (*sensu* Genise *et al.*, 2000) y estrato guía para la sierra de Córdoba.

Por este motivo, proponemos a este paleosuelo como una unidad pedoestratigráfica, según las recomendaciones del Comité Argentino de Estratigrafía (CAE, 1992). Esta unidad pedoestratigráfica está compuesta principalmente por tres horizontes: uno rico en arcillas formando estructuras prismáticas o migajosas (horizonte B₁), otro rico en carbonato, con muñecas y tabiques carbonáticas (horizonte B₂), y el sedimento aluvial donde los procesos pedológicos actuaron (horizonte C).

El estratotipo y localidad tipo propuestos para esta unidad se encuentran en la Pampa Vaca Corral, donde están mejor caracterizados, tanto por su contenido fosilífero, pedogenético, litológico, icnológico y temporal. Un paraestrotipo adecuado es el que se encuentra a la vera de la ruta provincial 271 en Atos Pampa (coordenadas 31°56'4" S – 64°34'37" O) (Krapovickas y Tauber, 2012b; Krapovickas y Tauber, 2014), donde se observan cutanes y crotovinas de grandes mamíferos. Su límite inferior es el contacto abrupto entre el horizonte C y los sedimentos de la facies 1 aquí descritos, cuando esta última se halla presente (*i.e.*, Atos Pampa) o directamente discordante sobre el basamento cristalino. Su límite superior de esta unidad pedoestratigráfica es el horizonte B₁ del paleosuelo, en contacto pleno con

los sedimentos definidos para la facies 4. La denominación formal propuesta es Geosuelo Majada de Santiago.

Por igual razón, también proponemos el nombre formal para el paleosuelo del tercer tramo estratigráfico, denominado Geosuelo Olaen (Figura 11). Éste se habría depositado y formado entre los 9,181 y 7,206 cal. años AP, encontrándose su perfil tipo en la Pampa de Olaen. Su límite inferior es el horizonte C en contacto con sedimentos de la facies 4 (e.g., Pampa Vacca Corral, Pampa de Olaen, Atos Pampa y Atum Pampa), con sedimentos de la facies 3 (e.g., sectores de pampa Vacca Corral y Atos Pampa) o con sedimentos de la facies 5 (e.g., Pampa de Achala) y su límite superior es el horizonte B_i del paleosuelo en contacto con sedimentos de la facies 5 (i.e., Pampa de Achala) o, en la mayoría de los casos, con el suelo actualmente productivo.

Además, los perfiles descritos con los tres tramos estratigráficos en las principales pampas de altura no coinciden litológicamente pero serían correlacionables con aquellas agrupadas en las diferentes formaciones propuestas para el lapso comprendido entre el Pleistoceno Tardío-Holoceno temprano de la cuenca de la Salinas Grandes (Fm. Chuña; Carignano, 1997), piedemonte y planicie fluvio-eólica central (Fm. General Paz; Santa Cruz, 1972) o la cuenca de la Laguna Mar Chiquita (Fm. Tezanos Pinto; Iriondo y Kröhling, 1995; Kröhling, 1999) de la provincia de Córdoba (Figura 13).

Es por este motivo que también proponemos una nueva Formación, compuesta por tres tramos estratigráficos. El lapso temporal que comprendería sería la datación OLS de la base de la facies 2 y la edad AMS superior del Geosuelo Olaen. Proponemos además la misma localidad tipo que la del Geosuelo Majada de Santiago y el perfil tipo propuesto es el de Pampa Vacca Corral (Krapovickas, 2014). El nombre formal propuesto para esta unidad litoestratigráfica es Formación Vacca Corral (Comité Argentino de Estratigrafía, 1992) (Figura 11, 12, 13).

Columna Generalizada

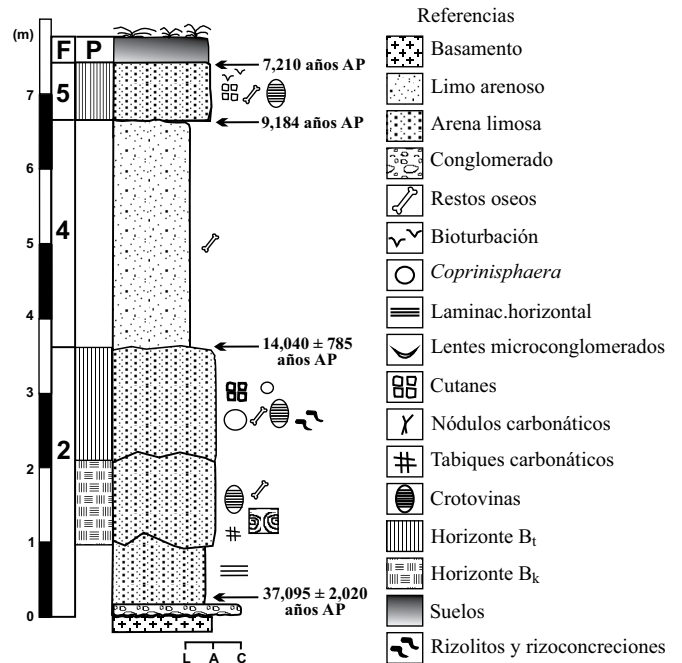


Figura 12. Columna Generalizada de la Fm. Vacca Corral (Krapovickas y Tauber, nueva Formación). F: facies; P: horizontes pedogenéticos inferidos.

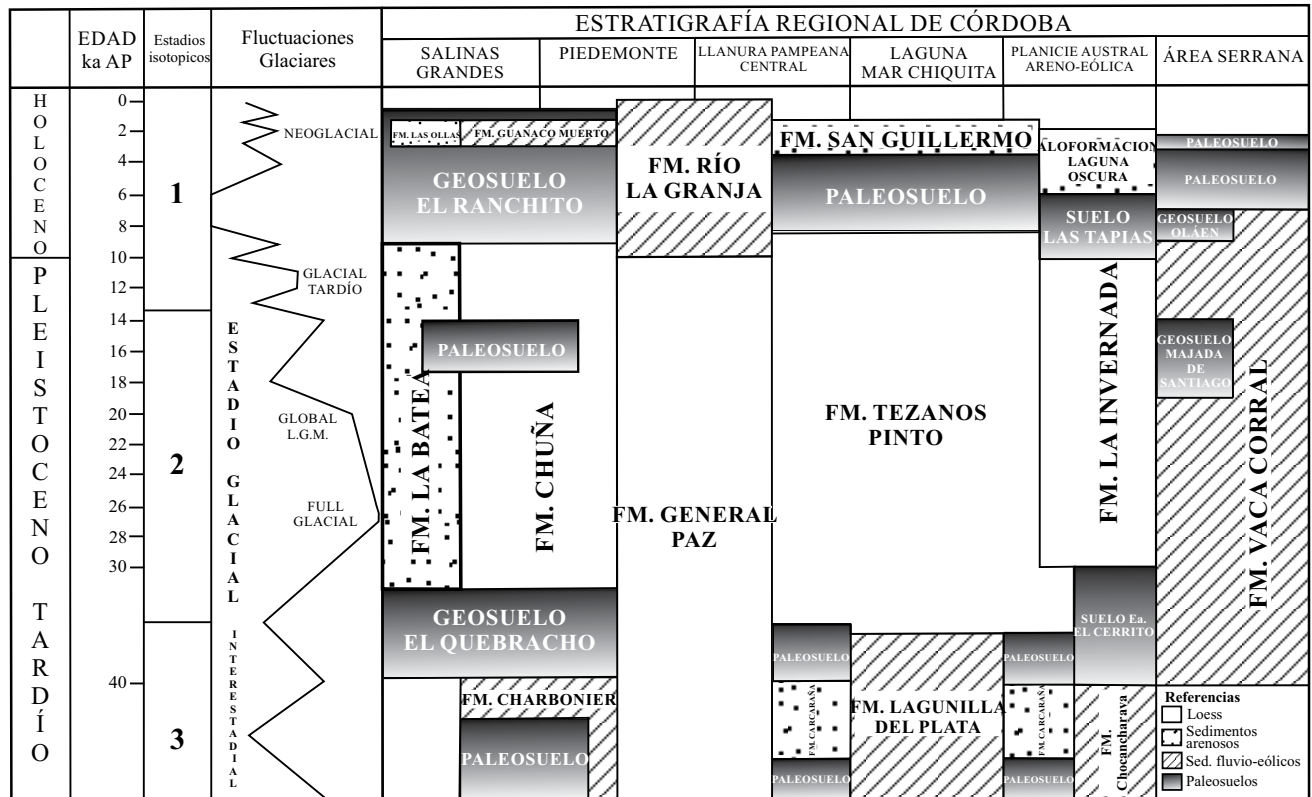


Figura 13. Estratigrafía regional para el Pleistoceno Tardío de la provincia de Córdoba (Argentina), con las diferentes regiones geomorfológicas reconocidas para la región (modificado de Carignano, 1999), incluyendo la nueva formación estratigráfica propuesta en este trabajo para la región serrana.

PALEOCLIMA Y PALEOAMBIENTE

El estudio de los cambios climáticos globales ha sido, generalmente, llevado a cabo en regiones glaciares y periglaciares (Clapperton, 1993), o bien a partir del registro estratigráfico y paleontológico de los sedimentos marinos y lagunares. El hecho de tener en cuenta regiones montañosas en investigaciones de tipo paleoambiental y paleoclimática ofrece un marco diferente para la resolución de esta problemática.

Goya (2003) y Córdoba (2005) propusieron correlacionar el registro estratigráfico de Pampas de Vaca Corral y Olaen, respectivamente, con los estadios isotópicos del oxígeno (EIO), basándose en la bioestratigrafía. Estos autores, calibraron las bases de los perfiles estratigráficos con los 130 k.a. AP, edad de la base del Piso/Edad Lujanense *sensu stricto* (Cione *et al.*, 2009). Así, pudieron identificar 6 eventos alternantes, evidenciados por procesos pedogenéticos observables en el campo.

Estos autores propusieron que la facies 5, compuesta por arena limosa de color oscuro habría sido depositada durante el EIO 1. Por debajo de este último, se observa un paquete de limos arenosos, finos a medios, macizos (del tipo "Loessoidé"), que habrían sido depositadas en un período más seco que el actual, que parece corresponder con el EIO 2 o Último Máximo Glacial. Luego, sincronizaron el depósito de la facies 2 y posterior formación del Geosuelo Majada de Santiago, con los EIO 3, 4 y 5 (Goya, 2003; Córdoba, 2005).

Las edades obtenidas por OSL en este trabajo para la base del perfil tipo de la Fm. Vaca Corral, son mucho más jóvenes que las edades obtenidas para la base del Lujanense, lo que permite ajustar el lapso temporal de los episodios alternantes de sedimentación fluvio-loésica y posterior formación de paleosuelos con los estadios isotópicos del oxígeno marino.

Las dataciones realizadas permiten correlacionar el depósito de la facies 2 con el EIO 3 en su tramo final (interstadial). Por otra parte, la base de la facies 4 (*i.e.*, loessoidé; tradicionalmente evidenciaría un período más seco que aquel que permitió el depósito de la facies 2 y posterior desarrollo del Geosuelo Majada de Santiago), se correlaciona con el final del OIS 2 (Glacial). De ser correcta la hipótesis temporal planteada a partir de las dataciones realizadas, los procesos climáticos que permitieron la pedogénesis sufrida por la facies 2 se habrían desarrollado en dos escenarios distintos: durante el EIO 2 en plena expansión glacial o durante el final del EIO 3, lo que implicaría un hiato de aproximadamente 21 k.a. (es decir, casi todo el EIO 2; ver Carignano *et al.*, 1999).

Kröhling y Carignano (2014) se refieren a un período Seco del Pleistoceno Superior, desde ca. 30/25 a 16 ka A.P. (EIO 2), que podría haber permitido el depósito de los sedimentos de la facies 2. La pedogénesis presente en este sector podría corresponder a la corta fase subhúmeda intercalada en el Período Seco del Pleistoceno Superior (EIO 2, *ca.* 16.5–15 ka A.P.), referida por dichos autores.

Existe una explicación alternativa poco común en la bibliografía que puede ser útil para interpretar esta aparente falta de correspondencia entre los eventos Glacial-interstadial y la alternancia de ciclos de depósito-pedogénesis observados en las sierras de Córdoba. Normalmente se utiliza el registro sedimentario de paleosuelos para indicar un aumento en el porcentaje de la humedad relativa con respecto a las unidades depositacionales infra y supra-adyacente (Retallack, 2001; Kemp *et al.*, 2006; Frechen *et al.*, 2009). Así, un clima más húmedo permitiría la formación y acumulación de arcillas por iluviación y sustentaría la biota.

Sin embargo, el papel de la tectónica pocas veces ha sido tenido en cuenta en los procesos pedogenéticos o es tratado como un asunto de segundo orden. Un período de biostasia prolongada, por escasa o nula actividad tectónica que active los procesos erosivos, podría dejar

un registro pedogenético poco alterado, aún en períodos en que la humedad relativa disminuya.

Esto puede haber ocurrido en las serranías de Córdoba, donde el paleosuelo basal parece haberse desarrollado en pleno período glacial. Así, durante un prolongado lapso, las escasas precipitaciones anuales ocurridas durante este período glacial pueden haber tenido un efecto acumulativo parecido a un estadio húmedo, relativo a la acumulación de arcillas en la capa B. La presencia de abundante carbonato de calcio, tanto en macroestructuras (*i.e.*, nódulos y tabiques) como en microestructuras (*e.g.*, revestimientos porales de carbonato micrítico), tradicionalmente es prueba suficiente para interpretar un paleoclima semi-árido a árido (Catt *et al.*, 1990). Sin embargo, en algunas regiones donde existen horizontes pedogenéticos ricos en carbonatos, se ha interpretado su origen en ambientes y climas más húmedos (*e.g.*, Twidale y Bourne, 1998).

Además, un clima frío, propio del período glacial en regiones o áreas altas de montañas, no condice con el color pardo rojizo amarillento del Geosuelo Majada de Santiago. Retallack (2001) sostiene que los colores rojizos en paleosuelos son el resultado de la oxidación de los minerales de hierro en climas cálidos o en suelos con cientos de miles a millones de años de antigüedad. En la actualidad, en suelos donde las coloraciones rojizas dominan, las temperaturas superan los 17 °C y las precipitaciones exceden los 900 mm, con una fuerte estacionalidad y veranos calurosos y secos (Catt *et al.*, 1990).

Las estructuras icnológicas nos permitió identificar que este paleosuelo pleistoceno como icnofacies *Coprinisphaera*. Esta icnofacies se asocia con ambientes de sabanas, pastizales, praderas, estepas y la mayoría de las comunidades herbáceas terrestres, desarrolladas en llanuras aluviales y planicies de inundación (Genise *et al.*, 2000; Buatois *et al.*, 2002; Vizcaíno *et al.*, 2001).

Además, el conjunto faunístico encontrado en esta área permitió inferir un ambiente abierto con pastizales, parecido al paleoambiente de la llanura Pampeana para el Lujanense, con bosques en galería como forma secundaria del paisaje (Tonni y Cione, 1995).

El registro estratigráfico no arrojó pruebas de la presencia de grandes canales durante el Lujanense serrano. La laminación horizontal que se encuentra abundantemente en el registro, es evidencia de un flujo laminar de bajo régimen, donde predomina la escorrentía superficial y no encausada. Probablemente era común la formación de pequeñas lagunas, que se desecaban en tiempo desfavorable, permitiendo la formación de grandes tabiques carbonáticos y un nivel freático alto, que entoscó los materiales fósiles.

El depósito de los sedimentos de la facies 4, se pueden correlacionar al Período Seco del Pleistoceno Final (*ca.* 14–11 ka A.P.), referido por Kröhling y Carignano (2014).

Por otra parte, los paleosuelos holocenos estudiados en el área serrana, demuestran que existe mayor resolución temporal y respuesta a los ciclos de mejoramiento climático, que los estudiados en la llanura Pampeana cordobesa (Kemp *et al.*, 2006; Sanabria *et al.*, 2014). En Pampa de Achala se describieron y dataron tres paleosuelos (*e.g.*, Facies 5)

Estos hallazgos permiten afirmar que durante el comienzo del Holoceno, el clima habría sido húmedo, permitiendo la concentración de agua en los pantanos y lagos poco profundos. Dentro de estos depósitos de agua, se habría acumulado el material parental de estos suelos, tanto loésico como el meteorizado de las rocas graníticas. Más tarde, ese material habría sido expuesto en una posición subaérea, con un clima más seco y las condiciones de humedad con contraste estacional, evidenciado por la presencia de abundantes prismas dentro de los perfiles pedogenéticos. Los colores oscuros evidencian un desarrollo bajo un clima frío (Retallack, 2001), aunque González (1960) y Moretti *et al.* (2012) consideraron un clima cálido para los

suelos holocenos de las Sierras de Córdoba y San Luis, respectivamente.

Se observa además, una correspondencia relacionada con la edad del "Suelo Fósil I" (Montes, 1955, 1956, 1958-1959), el nivel negro de la gruta de Inti Huasi figurado por González (1960), y uno equivalente mencionado por Roldán *et al.* (2004) y Sanabria *et al.* (2014), que fue datado entre 9,181 y 7,206 cal. años AP. Este puede ser el registro del "Óptimo Climático" (Nores, 1996) para el área serrana de Córdoba y San Luis. Kröhling y Carignano (2014) realizan una compilación de diferentes proxys recolectados por otros autores sobre el Óptimo Climático en la provincia, y concluyen que éste se habría desarrollado durante un clima subtropical húmedo, con temperaturas mayores a las presentes.

En las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis, este Óptimo Climático Holoceno se manifestó en la elevación de los pisos de vegetación serrana hacia altitudes mayores, a la vez que las amplias regiones con vegetación adaptada a climas más rigurosos, que se extendían por las llanuras argentinas y conectaban las sierras de Buenos Aires (*e.g.*, Sierra de la Ventana) con las de Córdoba, se redujeron, restringiéndose a las áreas montañosas. De este modo se encuentran relictos de flora y fauna similar en zonas tan alejadas y desconectadas como las Sierras de la Ventana, Sierras Pampeanas de Córdoba y la Cordillera de los Andes, representando una clara distribución insular (Ceji, 1972; Kristensen y Frangi, 1995; Tauber, 1999; Acosta, 2002).

Además, este aislamiento climático puede haber propiciado las condiciones para que en las áreas elevadas de las sierras hayan actuado procesos evolutivos, como la disminución del flujo génico y el aumento de la deriva génica entre poblaciones, aumentando las tasas de especiación. Esta conjetura puede ser la explicación al llamativo número de especies endémicas que existe en la actualidad en esta región (Acosta y Rosso de Ferradas, 1996; Di Tada *et al.*, 1996; Nores, 1995, 1996; Acosta, 1997; Acosta, 2002; Lescano *et al.*, 2015).

En la Pampa de Achala se describió una capa aluvial posteriormente pedogenizada datada entre los 3,340 y 1,971 cal. años AP. Este mejoramiento climático coincide con el observado por Silva *et al.* (2011), quienes determinaron que aproximadamente a los 3,870 (± 210) años AP en adelante, las plantas C4 (gramíneas) fueron reemplazadas por las de tipo C3 (arbustos y árboles) dentro del área de estudio, lo que indica un cambio en las condiciones climáticas más frías y húmedas, según estos autores.

Por último, se halló un nivel palustre con abundante vegetación fósil de *Typha cf. T. dominguensis*, datada en 1,500 \pm 50 años AP (Krapovickas, 2014). Este hallazgo es de utilidad para inferir su paleoambiente, ya que esta especie actualmente se encuentra en regiones de altitudes bajas y de alto contenido de humedad ambiente, como ser la pampa húmeda de la región centro este de Argentina (Crespo y Perez-Moreau, 1967). Este registro, nos permite afirmar un mantenimiento climático en cuanto a la mayor humedad disponible en la región, correspondiéndose parcialmente al Período Cálido Medieval (ca. 1.4/1–800 a. AP) referido por Kröhling y Carignano (2014) para el área serrana. Durante este periodo en la llanura Pampeana se registra un desmejoramiento climático entre los 3,500 y 1,000 años AP (Iriondo y Kröhling, 1995; Carignano, 1997; y referencias sobre El Período Seco del Holoceno Superior -ca. 4/3.5 - 1.4/1 ka AP- en la provincia de Córdoba tratadas en Kröhling y Carignano, 2014).

CONCLUSIONES

El análisis estratigráfico y sedimentario permitió identificar cinco facies en las pampas de altura de las Sierras Pampeanas de Córdoba: 1- Limo arenoso con megatabiques de carbonato de calcio; 2- Arena limosa pardo rojiza con clastos; 3-Arena limosa laminada y cementada;

4-Limo arenoso amarillento; y 5-Arena limosa oscura maciza. Estas facies fueron agrupadas en dos asociaciones de facies fluviales/eólicas.

También se describió una nueva formación litoestratigráfica que incluye a las sedimentitas presentes en las pampas de altura de las Sierras Pampeanas de Córdoba. Esta nueva Formación recibe el nombre de Vaca Corral y tiene una edad ca. 37,095 (OSL)-7,206 (AMS) cal. años AP.

Se definieron dos unidades pedoestratigráficas, con sus respectivas variaciones laterales, separadas por un loess retrasportado. La unidad pedoestratigráfica inferior recibe el nombre de Geosuelo Majada de Santiago y tiene una edad entre ca. 37,095–14,040 años AP (probablemente 16.5–14 ka; Kröhling y Carignano, 2014). La unidad pedoestratigráfica superior se denomina Geosuelo Olaen y tiene una edad entre los ca. 9,181–7,206 cal. años AP (AMS).

La evidencia permitió hipotetizar un paleoambiente análogo a las sabanas y/o praderas actuales para las pampas de altura tratadas en este trabajo durante el Lujanense tardío (entre 37,095 \pm 2,020 y 14,040 \pm 785 años AP) y gran parte del Holoceno. Las comunidades vegetales habrían estado dominadas por pasturas y arbustos de pequeño porte y bosques en galería de árboles. El tipo de flora desarrollada en estos climas templados secos pudo sustentar una comunidad de megafauna pleistocena. No se registraron grandes cauces de ríos y probablemente fueron frecuentes las anegaciones estacionales poco profundas. A partir del Holoceno medio se registra un cambio climático a condiciones más húmedas y frías, con un remplazo en la dominancia de las gramíneas por árboles y arbustos. Estas condiciones se habrían mantenido hasta 1,500 años AP.

Las evidencias discutidas aquí, litológica, pedogenética y temporal, con respecto al Geosuelo Majada de Santiago, depositado en el Pleistoceno Tardío, y los suelos de edad holocena, permiten hipotetizar una posible resiliencia del sistema serrano, que lo hizo menos propenso a cambios climáticos muy drásticos.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra Rosa Ayala y al Geol. Marcelo Calvi por los estudios micromorfológicos realizados a los paleosuelos estudiados. A los Dres. Jorge Sanabria y Sabrina Rozault por su asistencia en el campo y discusión sobre temas pedológicos. Los autores agradecen los comentarios realizados por los evaluadores, Dr. Claudio Carignano y otro anónimo, que enriquecieron este trabajo. Al Sr. Cesar Sarmiento por la traducción al inglés del resumen. JMK agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba por el apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Acosta, L.E., 1997, Descripción de *Bothriurus olaen*, nueva especie de escorpión de Argentina central (Scorpiones, Bothriuridae): *Revue Arachnologique*, 12, 1-8.
- Acosta, L.E., 2002, Patrones zoogeográficos de los opiliones argentinos (Arachnida: Opiliones): *Revista Ibérica De Aracnología*, 6, 69-84.
- Acosta, L.E., Rosso de Ferradas, B., 1996, Arácnidos de la provincia de Córdoba, en Di Tada, I.E., Bucher, E.H. (eds.), *Biodiversidad de la Provincia de Córdoba*: Universidad Nacional de Río Cuarto, Fauna, 71-99.
- Asurmendi, I., 2015, *Estratigrafía y vertebrados fósiles del Cenozoico tardío del río de La Cruz*, departamento Calamuchita, provincia de Córdoba: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis de Grado, 100 pp.
- Bárcena Esquivel, G., 2013, *Crotovinas del Pleistoceno-Holoceno del Valle*

- de Los Reartes, Provincia de Córdoba, República Argentina: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis de Grado, 62 pp.
- Beltramone, C.A., 2007, Las superficies de erosión en las Sierras Pampeanas de Córdoba: algunas consideraciones sobre su génesis: Revista de la Asociación Geológica Argentina, 62 (3), 478-482.
- Buatois, L., Mángano, M.G., Aceñolaza, F.G., 2002, Trazas fósiles. Señales de comportamiento en el registro estratigráfico: Trelew, Edición Especial Museo Egidio Feruglio, 2, 382 pp.
- CAE (Comité Argentino de Estratigrafía), 1992, Código Argentino de Estratigrafía: Buenos Aires, Argentina, Asociación Geológica Argentina, 20, 64 pp. Cantú, M.P., 1992, El Holoceno de la Provincia de Córdoba, en Iriondo, M. (ed.), El Holoceno en la Argentina: Comité Argentino de Investigaciones del Cuaternario, CADINCUA, 1: 1-16.
- Capitanelli, R.G., 1979, Geomorfología, en Vázquez, J.B., Miatello, R.A., Roqué, M.E. (eds.), Geografía Física de la provincia de Córdoba: Buenos Aires, Ed. Boldt, 213-296.
- Carignano, C.A., 1997, Caracterización y evolución durante el Cuaternario Superior, de los ambientes geomorfológicos extra-serranos en el noroeste de la provincia de Córdoba: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis Doctoral, 228 pp.
- Carignano, C.A., 1999, Late Pleistocene to Recent climate change in Córdoba Province, Argentina: Geomorphological evidence: Quaternary International, 57/58, 117-134.
- Carignano, C., Cioccale, M.A., Rabassa, J., 1999, Landscapes antiquity of the Central Sierras Pampeanas (Argentina): Geomorphologic evolution since the Gondwanan times: J. Zeitschrift für Geomorphologie: Annals of Geomorphology, 118, 245-268.
- Carignano, C.A., Tauber, A.A., Cioccale, M.A., Krapovickas, J.M., 2012, Parada Atos Pampa (guía de Campo) en V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología: Río Cuarto, Córdoba, Argentina, 9 pp.
- Carignano, C.A., Kröhling, D., Degiovanni, S., Cioccale, M.A., 2014, Geomorfología en Martino, R.D., Guereschi, A.B. (eds.), Relatorio del XIX Congreso Geológico argentino: Córdoba, Argentina, Asociación Geológica Argentina, 747-822.
- Catt, J.A., Bronger, A., Bullok, P., Dalrymple, J.B., Follmer, L.R., Múcher, H., Polach, H., Rose, J., Yaalon, D.H., 1990, Paleopedology Manual: Quaternary International, 6, 1-95.
- Cei, J.M., 1972, Segregación corológica y procesos de especiación por aislamiento en anfibios de la Pampa de Achala, Córdoba: Acta Zoológica Lilloana, 29.
- Chimento, N., Rey, L., 2008, Hallazgo de una fecal fósil en el Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior del partido de General Guido, provincia de Buenos Aires, Argentina: Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, nueva serie, 10(2), 239-254.
- Cioccale, M., 1999, Investigación Geomorfológica de Cuencas Serranas, Estudio Geomorfológico Integral: Morfodinámica, Morfometría y Morfogénesis del Flanco Oriental de las Sierras Chicas de Córdoba: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis Doctoral, 218 p.
- Cione, A.L., Tonni, E.P. 2005., Bioestratigrafía basada en mamíferos del Cenozoico Superior de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, en de Barrio R.E., Etcheverry R.O., Cabase, M.F., Llambías, E., (eds.), Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires: Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata 11, 183-200.
- Cione, A.L., Tonni, E.P., Soibelzon, L., 2009, Did humans cause large mammal late Pleistocene-Holocene extinction in South America in a context of shrinking open areas?, en Haynes, G. (ed.), American Megafaunal Extinctions at the End of the Pleistocene: Dordrecht, Springer, 125-144.
- Clapperton, C.M., 1993, Quaternary geology and geomorphology of South America: Amsterdam, Elsevier, 779 pp.
- Córdoba, F., 2005, Estudio geomorfológico y análisis paleoambiental del Cuaternario en las áreas cumbres de las Sierras de Córdoba: Pampa de Olaen: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis de grado, 129 pp.
- Córdoba, F., Cioccale, M.A., Tauber, A., 2005, Geología y Estratigrafía del Pleistoceno tardío-Holoceno en la Pampa de Olaen, Sierras Grandes, provincia de Córdoba, en XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires: Argentina, Asociación Geológica Argentina, Actas de resúmenes, IV, 269-276.
- Crespo, S., Perez-Moreau, R.L., 1967, Revisión del género *Typha* en la Argentina: Darwiniana, 14, 413-429.
- Di Martino, P., 2014, Análisis palinológico como indicador paleoambiental en una "Pampa de Altura" de las Sierras Pampeanas de Córdoba, R. Argentina: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis de Grado, 71 pp.
- Di Tada, I.E., Zavattieri, M., Bridarolli, M., Salas, N., Martino, A., 1996, Anfibios anuros de la provincia de Córdoba, en Di Tada, I.E., Bucher, E.H. (eds.), Biodiversidad de la Provincia de Córdoba: Río Cuarto, Argentina, Universidad Nacional de Río Cuarto, 1, 191-213.
- Doering, A., 1907, La Formación Pampeana de Córdoba: Revista del Museo de La Plata, 14, 172-190.
- Esteban, M., Klappa, C.F., 1983, Subaerial exposure environment, en Scholle, P.A.D.G. Bebout, C. H. Moore, (eds.), Carbonate Depositional Environments: Tulsa, U.S.A., American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1-55.
- Etcheverehere, P.H., 1976, Normas de reconocimiento de suelos: Castelar, Buenos Aires INTA, 152, 211 pp.
- Etcheverría, M.P., Folguera, A., 2014, Los calcretes del sudeste de la provincia de La Pampa: caracterización y origen: Revista de la Asociación Geológica Argentina, 71(1), 92-99.
- Frechen, M., Seifert, B., Sanabria, J.A., Argüello, G.L., 2009, Chronology of late Pleistocene Pampa loess from the Córdoba area in Argentina: Journal of Quaternary Science, 24(7), 761-772.
- Frenguelli, J., 1955, Loess y limos pampeanos, Serie técnica y didáctica del Museo de La Plata: La Plata, Argentina, Museo de La Plata, 7, 88 pp.
- Genise, J.F., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Laza, J.H., Verde, M., 2000, Insect trace fossil associations in palaeosols: The *Coprinisphaera* ichnofacies: Palaios, 15, 49-64.
- González, A.R., 1960, La estratigrafía de la Gruta de Intihuaesi, (Provincia de San Luis, R.A.) y sus relaciones con otros sitios precerámicos de Sudamérica: Revista del Instituto de Antropología, Facultad de Filosofía y Letras, 9-289.
- González Bonorino, F., 1950, Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas: Revista de la Asociación Geológica Argentina, 5(3), 8-110.
- 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(1), 67-148.
- Gordillo, C.E., Lencinas, A.N., 1979, Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina: Academia Nacional de Ciencias Córdoba, 1, 577-650.
- Goya, F., 2003, Estratigrafía y fósiles del Cuaternario de las pampas de altura de la pedanía Candelaria, departamento Cruz del Eje, provincia de Córdoba, Argentina: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis de Grado, 107 pp.
- Gregory, P.J., 2006, Plant Roots Growth, Activity and Interaction with Soils: Oxford, Reino Unido, Blackwell publishing, 308 pp.
- Guereschi, A.B., Martino, R.D., 2014, Las migmatitas de las sierras de Córdoba, en Martino, R.D., Guereschi, A.B. (eds.), Relatorio del XIX Congreso Geológico argentino: Córdoba, Argentina, Asociación Geológica Argentina, 67-94.
- Iriondo, M.H., Kröhling, D., 1995, El Sistema Eólico Pampeano: Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino", 5(1), 1-68.
- Kemp, R.A., Zárate, M., Phillip, T., Sanabria, J.A., Argüello, G., 2006, Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in the Northern Pampa, Argentina: Quaternary Research, 66, 119- 132.
- Krapovickas, J.M., 2014, Estratigrafía y mamíferos fósiles de las Sierras Pampeanas de la Provincia de Córdoba, Argentina: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis Doctoral, 391 pp.
- Krapovickas, J.M., Tauber, A.A., 2012a, La Estratigrafía en las Pampas de Altura de las Sierras Pampeanas de Córdoba: Modelo Regional, en V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología: Río Cuarto, Argentina, Universidad de Río Cuarto, Actas de resúmenes, p. 34.
- Krapovickas, J.M., Tauber, A.A. 2012b, Atos Pampa, Área Fosilífera Cuaternaria de las Sierras de Córdoba: Estudios Preliminares en V Congreso Argentino

- de Cuaternario y Geomorfología: Río Cuarto, Argentina, Universidad de Río Cuarto, Actas de resúmenes, p. 47.
- Krapovickas, J.M., Tauber, A.A., 2014, El registro Cuaternario de Atos Pampa, localidad clásica de las Sierras Grandes, *en* Geología y recursos naturales de la provincia de Córdoba; Sitios de Interés Geológico: Córdoba, Argentina, Asociación Geológica Argentina, Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, 1350 pp.
- Kristensen, M.J., Frangi, J.L., 1995, La Sierra de la Ventana: Una isla de biodiversidad: *Ciencia Hoy*, 5(30), 25-34.
- Kröhling, D.M., 1999, Upper Quaternary of the lower Carcarañá Basin, North Pampa, Argentina: *Quaternary International*, 57/58, 135-148.
- Kröhling, D., Carignano, C.A., 2014, La estratigrafía de los depósitos sedimentarios cuaternarios, *en* Geología y recursos naturales de la provincia de Córdoba: Córdoba, Argentina, Asociación Geológica Argentina, Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, 673-724.
- Leonardi, P., 1961, Contribución al conocimiento de la estratigrafía y paleontología de la Pampa de Olaen: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis Doctoral, 57 pp.
- Lescano, J.N., Nori, J., Verga, E., Robino, F., Bonino, A., Miloch, D., Leynaud, G.C., 2015, Anfibios de las Sierras Pampeanas Centrales de Argentina: diversidad y distribución altitudinal: *Cuadernos de Herpetología*, 29(1), 1-13.
- Manzur, A., 1995, Aspectos genéticos de los suelos presentes en Atum Pampa y Athos Pampa, Sierras Grandes, Córdoba, Argentina: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis Doctoral, 114 pp.
- Manzur, A., 1997, Dinámicas evolutivas de suelos en Atum Pampa, Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina: *Muldequina*, 6, 67-83.
- Martino, R.D., Escayola, M.P., Saal, A., 1994, Estructura interna de la "kinzigita" del Río Santa Rosa, Departamento Calamuchita, Provincia de Córdoba: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(1-2), 3-10.
- Mercado, R., Moore, M., 1997, Geografía de Córdoba: Córdoba, Troquel, 142 pp.
- Miall, A.D., 2006, The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology: Springer, 582 pp.
- Montes, A., 1954, El Pampeano Lacustre en relación con nuestra prehistoria: *Comunicaciones del Museo de Mineralogía y Geología*, 22, 1-25.
- Montes, A., 1955, El Holoceno en la relación con nuestra prehistoria: *Comunicaciones del Museo de Mineralogía y Geología*, 25, 3-33.
- Montes, A., 1956, Cronología de nuestra prehistoria: *Revista de la F.C.E.Fy N.-U.N.C.*, 18(3-4), 1-41.
- Montes, A., 1958-1959, Cambios climáticos durante el Holoceno en las Sierras de Córdoba: *Anales de Arqueología y Etnología*, 14-15, 35-52.
- Moretti, L.M., Morrás, H., Sanabria, J., Argüello, G.L., 2012, Mineralogía y micromorfología de paleosuelos en la Pampilla de Los Gigantes, Córdoba, *en* XIX Congreso Latinoamericano y XXXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: Mar del Plata, Argentina, Asociación Argentina de Ciencias del Suelo, 16-20.
- Nores, M., 1995, Insular biogeography of birds on mountaintops in northwestern Argentina: *Journal of Biogeography*, 22, 61-70.
- Nores, M., 1996, Avifauna de la Provincia de Córdoba, *en* Di Tada, I.E., Bucher, E.H. (eds.), Biodiversidad de la Provincia de Córdoba: Río Cuarto, Argentina, Universidad Nacional de Río Cuarto, 1, 255-337.
- Núñez, V., 2014, Análisis mineralógico de paleosuelos (fitolitos, zoolitos y mineralogía de arenas) en perfiles de Pampa de Olaen, Córdoba: Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis de grado, 110 pp.
- Rabassa, J., Carignano, C., Cioccale, M., 2010, Gondwana Paleosurfaces in Argentina: An Introduction: *Geociencias*, 29(4), 439-466.
- Ramos, V., 1988, Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America. A collisional history: *Episodes*, 11, 168-175.
- Retallack, G.J., 2001, *Soils of the past*: Oxford, Reino Unido, Blackwell, 404 pp.
- Roldán, F., Rivero, D., Sanabria, J., Argüello, G.L., 2004, Geoarqueología del Sitio El Alto 3 (Punilla, Provincia de Córdoba), Primera Aproximación *en* XV Congreso Nacional de Arqueología Argentina: Río Cuarto, Argentina, Universidad de Río Cuarto, 341.
- Sanabria, J., Tauber, A., Argüello, G., Morrás, H., Moretti, L., Krapovickas, J., Rouzaut, S., Mansilla, L., Zahn, E., 2014, Paleosuelos del Holoceno, en el área de Los Gigantes, Sierra Grande de Córdoba, Argentina *en* XIX Congreso Geológico Argentino: Córdoba, Argentina, S13-4, 1075-1076.
- Santa Cruz, J., 1972, Geología al Este de la Sierra Chica (Córdoba), Valle del Río Primero: *Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba*, 1(34), 102-109.
- Scott, K., Pain, C., 2009, *Regolith science*: Melbourne, Australia, Csiro Publishing, 473 pp.
- Silva, L., Giorgis, M., Anand, M., Enrico, L., Pérez-Harguindeguy, N., Falczuk, V., Tieszen, L., Cabido, M., 2011, Evidence of shift in C4 species range in central Argentina during the late Holocene: *Plant Soil*, 349, 261-279.
- Soil Survey Staff, 1999, *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Agriculture Handbook, 436(2), 869 pp.
- Tauber, A.A., 1999, Hallazgo de una vicuña en el Pleistoceno de la provincia de Córdoba, República Argentina: *Ameghiniana*, 36(1), 55-62.
- Tauber, A.A.(h), 2005, Material escatológico de la Formación Santa Cruz (Mioceno temprano-medio), Patagonia austral, *en* XVI Congreso Geológico Argentino: La Plata, Argentina, Asociación Geológica Argentina, Actas de resúmenes, 3, 305-308.
- Tauber, A.A.(h), Goya, F., 2006, Estratigrafía y fósiles del Pleistoceno-Holoceno de las pampas de altura en el departamento Cruz del Eje, Córdoba, Argentina, *en* III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología: Córdoba, Argentina, Actas de resúmenes, 2, 717-726.
- Tauber, A.A., Álvarez, D., Luna, C., 2008, Registro de *Megatherium americanum* Cuvier, 1796 en una pampa de altura de las Sierras de Córdoba, Argentina, *en* XVII Congreso Geológico Argentino: San Salvador de Jujuy, Argentina, Actas de resúmenes, 3, 1055-1056.
- Tauber, A., Krapovickas, J.M., Bárcena, G., Sanabria, J., Toledo, G., 2011, Nuevos hallazgos de crotovinas de grandes mamíferos en el Neógeno de la provincia de Córdoba, *en* IV Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados: Ameghiniana, 48(4), R213.
- Tauber, A., Carignano, C., Martino, R., Krapovickas, J., Haro, A., 2013, Nuevas localidades neógenas de la vertiente oriental de las sierras Pampeanas de Córdoba, *en* II Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina: Diamante, Argentina, Actas de resúmenes, 29.
- Tonni, E.P., Cione, A.L., 1995, Los mamíferos como indicadores de cambios climáticos en el Cuaternario de la región pampeana de la Argentina *en* Argollo, J., Mouguiart, P. (eds.), Climas Cuaternarios en América del Sur: Orstom, La Paz, 319-326.
- Tripaldi, A., Limarino, C.O., 2008, Ambientes de interacción eólica-fluvial en valles intermontanos: ejemplos actuales y antiguos: *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 15(1), 43-66.
- Twidale, C.R., Bourne, J.A., 1998, The use of duricrusts and topographic relations in geomorphological correlation: conclusions based in Australian experience: *Catena*, 33, 105-122.
- Vera Torres, J.A., 1994, *Estratigrafía Principios y Métodos*: Madrid, Editorial Rueda, 805 pp.
- Vizcaino, S.F., Zárate, M., Bargo, M.S., Dondas, A., 2001, Pleistocene burrows in the Mar del Plata area (Argentina) and their probable builders: *Acta Palaeontologica Polonica*, 46(2), 289-301.
- Zárate, M., Kemp, R., Blasi, A., 2002, Identification and differentiation of Pleistocene paleosols in the northern Pampas of Buenos Aires, Argentina: *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 303-313.

Manuscrito recibido: Junio 4, 2015

Manuscrito corregido recibido: Diciembre 31, 2015

Manuscrito aceptado: Febrero 2, 2016