

SUELOS CALCÁREOS DEL LITORAL NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Perla Amanda Imbellone, Jorge Eloy Giménez & María Liliana Mormeneo*

Instituto de Geomorfología y Suelos. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Calle 3 N° 584, B1902CIX La Plata, Argentina. micromorfologia@igs.edu.ar

Resumen | El objeto de este capítulo es discutir desde el punto de vista pedológico las características y génesis de los suelos calcáreos del litoral noreste de la provincia de Buenos Aires, desarrollados en depósitos generados por procesos dinámicos costeros y acciones continentales que ocurrieron desde el Pleistoceno tardío. Se distinguen en el área dos unidades litoestratigráficas relacionadas con transgresiones marinas: Formación Las Escobas (Holoceno) y Formación Pascua (Pleistoceno medio a superior). Se caracterizaron 15 pedones; 11 de ellos se encuentran en las llanuras costeras “Río de la Plata” (LCRP) y “Ajó” (LCA) y los 4 restantes en la “Llanura Alta” (LA). Los suelos de la LCRP (principalmente Haprendoles y Calciudoles) se desarrollaron en cordones conchiles con materiales siliciclásticos y alto contenido de CaCO_3 litogénico proveniente principalmente de valvas de moluscos enteras y/o fragmentadas y rodados calcáreos, a veces con marcadas evidencias de alteración y recristalización. Los suelos de la LCA (Haprendoles, Hapludoles, Udipsamentos) se encuentran en cordones conchiles, dunas y mantos arenosos. El contenido de CaCO_3 es variable y está influido por la cantidad de bioclastos. Los suelos de la LA (Argiudoles, Hapludertes) se desarrollan en sedimentos loésicos que carecen de carbonato litogénico bioclástico y sobreyacen en discontinuidad litológica con los depósitos carbonáticos que constituyen una coquina (Formación Pascua); ésta suele encontrarse modificada por diagénesis superficial formando horizontes petrocálcicos. Los procesos pedológicos principales que tienen lugar en orden de importancia son: calcificación, melanización, biopedoturbación y en menor escala la argilipedoturación. La génesis de los horizontes ricos en carbonato de calcio pedogenético se produciría: a) en los depósitos bioclásticos holocenos, por alteración pedogenética del carbonato parental con mínima translocación, y ocasionalmente con formación incipiente de calcretas discontinuas en horizontes parcialmente cementados; b) en los depósitos continentales loésicos pleistocenos -superficiales o enterrados por depósitos holocenos- por translocación y precipitación de carbonato de calcio por aporte externo o local y, en los depósitos bioclásticos pleistocenos infrayacentes, por alteración *in situ* de la roca. Es conspicua la presencia de calcita pedogenética en casi todos los suelos, con distintas morfologías calcíticas: acicular, micrítica y esparítica, generadas por cristalización y recristalización de soluciones carbonatadas bajo la influencia de variaciones estacionales del macro- y microclima regional. Se describe por primera vez para la zona la presencia de horizontes petrocálcicos laminados (calcretas pedogenéticas) generados por procesos de epigénesis. En la formación de rasgos calcíticos pedogénicos existiría participación tanto inorgánica como orgánica. Los suelos estudiados reflejan las características granulométricas y mineralógicas de los materiales originales y, en menor grado, la influencia de las geofomas resultantes de la evolución geomorfológico del área.

Palabras clave: suelos calcáreos, calcita pedogenética, calcreta, litoral noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Extended Abstract | *Calcareous soils of littoral Buenos Aires Province, Argentina*. In NE Buenos Aires province, Argentina, two quaternary litho-stratigraphic units related to marine transgressions are found. Both include soils with lithogenic or pedogenic carbonates. In the most recent unit (Las Escobas Formation, Holocene) lithogenic calcareous soils are developed. The oldest unit (Pascua Formation, middle to upper Pleistocene) is interbedded in the upper part of loessoid sediments of Pampiano Formation; it consists of sandy sediments with high amounts of mollusk shells strongly cemented with CaCO_3 forming a coquina. These deposits are overlain by sediments of the Pampiano Formation, where the soils were affected by calcification. The objective of this chapter is to discuss from the pedological viewpoint the characteristics and genesis of calcareous soils developed in estuarine and continental settings. Fifteen pedons were studied; 11 are located in two coastal plains called “Rio de la Plata Coastal Plain”, RPCP (pedons 1-5) and “Ajó Coastal Plain”, ACP (pedons 6-11). Pedons 12 to 14 are found in the “High Plain” (HP), in the vicinity of above-mentioned coastal plains (Fig. 1). The climate is temperate-humid, with a mean annual rainfall of 1040 mm, fairly well distributed; mean annual temperature is 16.2 °C (La Plata city, 34° 55' S, 57° 56' W, altitude 15 m a.s.l.). The monthly mean water balance shows a small deficit (7 mm) in summer and an important surplus (240 mm) between autumn and spring. The soil moisture regime is udic and the soil temperature regime is thermic. According to Thornthwaite's classification the climate is B1 B'2 r a'. The natural vegetation in the interfluvies of the HP is the Pampean grassland, drastically modified by agriculture and stock raising. In the two coastal plains the most conspicuous community is the tala (*Celtis tala*) forest, which is found mainly in the shelly ridges, associated with other shrubby and woody species such as coronillo (*Scutia buxifolia*), sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), barba de tigre (*Colletia spinosissima*), etc. The studied soils reflect the grain-size and mineralogical characteristics of the parent materials and, to a lesser degree, the landforms derived from the geological-geomorphological evolution of the area. All soils have lithological discontinuities due to compositional differences in the parent materials. Other common feature is the presence of CaCO_3 from different origins: a) *lithogenic* (pedons 1, 7, 9, 10, 11); b) *pedogenic* derived from bioclastic sediments (pedons 2, 3, 4, 5); c) *lithogenic* from the coquina and *pedogenic* from this rock and from the loessial part of the soils (pedons 12, 13, 14, 15) and d) *pedogenic* in buried horizons derived from lithogenic carbonate in the overlying horizons and from the buried horizon itself (pedon 6). The soils of the RPCP are located in shell ridges and have A-C or A-AC-C sequences. Most of them are classified as Haprendolls and Calcudolls. The A horizons are about 30 cm thick, with 2 - 7 % organic carbon. CaCO_3 is high almost in all horizons, mainly derived from mollusk fragments and calcareous pebbles, in some cases with marked signs of alteration and recrystallization. Some layers consist of a mixture of shelly and siliciclastic materials, some are made up of whole or fragmented shells whereas others consist of nearly pure siliciclastic material. The soils of the ACP (Haprendolls, Hapludolls, Udipsamments) are found in shelly ridges (pedons 7, 10, 11) and in sand dunes and sheets (pedons 6, 8, 9). The former two soils have 2 - 3 % organic carbon in the A horizons and generally <1 % in the latter soils. Texture is generally coarser than in the RPCP. CaCO_3 is variable and is influenced by the amount of bioclasts in the sediment. The soils of the HP are developed in loessial sediments and differ from the coastal plain soils for not presenting bioclastic lithogenic carbonate. The loessial sediments have 0.60-1.10 m in thickness and lie in unconformity on Pleistocene carbonatic deposits (Pascua Formation). Sometimes it is modified by surficial diagenesis forming petrocalcic horizons, also called *pedogenic calcretes*. The soils (Argiudolls, Hapluderts) are moderately developed with A-B-C horizons. The A horizons have 3 - 4 % organic carbon; B horizons have moderate or strong structure. Texture is more homogeneous than in the coastal plains. In the horizons developed in loessial sediments CaCO_3 is absent or scarce (<10 %); it is high (60-80 %) at the base of the solum, in the petrocalcic horizons and in the coquina. Some pedons have calcic or petrocalcic (2Ckmb) horizons. The mineralogical composition of mollusk fragments is mainly aragonitic, but almost all deposits exhibit evidences of transformation of aragonite to calcite. Shell alteration is also

evidenced by dissolution voids on their surface. The amount of calcite is higher as the degree of cementation increases.

Some relevant micromorphological features in the coastal plain soils are a greater degree of pedality in A horizons of Haprendolls and Calciudolls, high porosity and the presence of skeletal bioclasts and calcitic and humic plasma. Bioclasts exhibit differences in abundance, size, fragmentation and alteration, as well as relative abundance with respect to plasma. Calcitic plasma, made up mainly of neoformed needle calcite, is present in most of the horizons, it is rare in the A horizons and more abundant in AC and C horizons. In the HP soils the skeletal fraction is siliciclastic, embedded in a dense silty-clay matrix. In the upper part of the solum there is scarce micritic carbonate in the mass, the calcitic features concentrate mainly in voids. However, overlying the coquina (BC or C horizons), there is a crystic fabric with calcite-rich masses in a non-calcareous matrix and abundant micritic calcite distributed in matrix zones or concentrated in nodules. These features would be formed through coquina alteration and/or present or past illuvial concentration. Coquina clasts intermingled with loessial material are also observed. The petrocalcic horizons have a laminar zone with bands of different colours, probably due to organic matter and/or Fe and Mn oxides since clay mineralogy is similar, alternating micrite, microsparite and sparite (Imbellone *et al.*, 2012). Clay mineralogy of the analyzed laminae and the coquina is similar, which indicates its genetic relation.

The relationship between rainfall, temperature, runoff and relief is critical in the formation of crusts, which require short and alternate periods of rain and high evaporation. Rainfall in the area is high enough throughout the year to dissolve carbonates, whereas in summer the high evapotranspiration generates water deficit in the soils. The genesis of carbonate-rich horizons would be ascribable to: a) pedogenic alteration of lithogenic carbonate with a minimum translocation in the bioclastic deposits and occasional formation of discontinuous calcretes in partially cemented horizons, in the Holocene deposits and b) translocation and precipitation of CaCO_3 of external or internal origin in the surface or buried loessial deposits and *in situ* alteration of the coquina in the Pleistocene bioclastic deposits.

The presence of pedogenic calcite is conspicuous in almost all soils at macro- or microscopic level; it has different calcitic morphologies: acicular, micritic and sparitic formed by crystallization y recrystallization of carbonate solution under the influence of seasonal climate variations. Petrocalcic horizons formed through epigenic processes are described for the first time in the area. The spatial variability of the calcretes would be related to microtopographic and microclimatic heterogeneities.

Key words: calcareous soils, pedogenic calcite, calcrete, northeastern littoral, Buenos Aires province, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La evolución paleogeográfica de las llanuras costeras del noreste de la provincia de Buenos Aires generó durante los últimos 120.000 años A.P. depósitos sedimentarios en los cuales se desarrollan los suelos actuales. Las características de los sedimentos resultan de la acción de procesos dinámicos costeros y de eventos eustáticos de variaciones del nivel del mar acaecidos desde fines del Pleistoceno (Fidalgo *et al.*, 1973; Tricart, 1973).

Durante el último período interglacial, en el Pleistoceno tardío, ocurrió el máximo transgresivo y el mar ingresó hacia el continente. En

ese momento, en las zonas menos expuestas a la dinámica oceánica, se formaron playas de baja energía con la depositación de sedimentos como los de la Formación Pascua, que marcan el máximo ingreso del mar hasta donde actualmente es área continental. Durante el retiro del mar, simultáneamente con el desarrollo creciente de la última glaciación, los sistemas de barreras litorales migraron acompañando el retroceso y a medida que el nivel del mar descendía fueron quedando desvinculadas de la acción marina y cubiertas por sedimentos eólicos de las Formaciones Buenos Aires y La Postrera. En las etapas iniciales de la última transgresión iniciadas aproximadamente

hace 20.000 años, que siguió al máximo glacial, el mar comenzó a ingresar otra vez sobre el continente, produciendo el modelado del sustrato donde posteriormente y tras sucesivos pulsos de variaciones del nivel del mar, se produjo la evolución holocena con la depositación de sedimentos en mantos arenosos y cordones litorales de la Facies Cerro de la Gloria, entre otros (Violante *et al.*, 2001).

Los sedimentos litorales depositados mediante los procesos mencionados precedentemente poseen materiales bioclásticos de distinto tamaño y con distinto grado de cementación, los que tienen influencia en la formación de suelos calcáreos de la zona, ya sea por formar parte del solum en los suelos formados en depósitos holocenos conchiles, o infrayacer a los depósitos loésicos cuando éstos son los materiales originarios de los suelos. En la literatura hay numerosas definiciones de suelos calcáreos (FAO, 1973). Un suelo calcáreo es aquel que contiene suficiente cantidad de CaCO_3 y otros carbonatos como para producir efervescencia visible o audible cuando es tratado con HCl 0,1 M en frío; comúnmente contiene de 10 a casi 1000 g kg^{-1} de CaCO_3 equivalente (Soil Science Society of America, 2001). Esta definición semicuantitativa y sin connotaciones genéticas es aplicable adecuadamente a los suelos de la zona de trabajo ya que los mismos poseen carbonato de calcio de distinto origen, ya sea litogénico como pedogénico, con tenores de carbonato de calcio equivalente desde más de 0,2% en los horizontes enriquecidos con carbonato de calcio a más del 15 % en los horizontes cálcicos, y hasta 80 % en los horizontes petrocálcicos (Imbellone & Giménez, 1998; Imbellone *et al.*, 2012).

En el área que nos ocupa hay abundante información proveniente de varias especialidades vinculadas a las ciencias de la tierra, biológicas y sociales como geología, paleopedología, zoología, botánica, arqueología, etc. hasta ciencias aplicadas como la geología económica. Las sucesiones litorales son atrayentes por sí mismas y por sus connotaciones paleoclimáticas y paleoambientales. Desde la óptica geológica se puede citar entre otros a Frenguelli (1950, 1957); Fidalgo (1983); Spalletti *et al.* (1987); Aguirre (1992); Cavallotto (1995); Violante *et al.* (2001); Fucks *et al.* (2010), etc. Los sedimentos, rocas calcáreas y suelos calcáreos

tampoco pasaron desapercibidos para los primeros pedólogos, que en registros cartográficos mencionan y describen suelos Rendzinas o Rendzinoides (Cappannini, 1949, 1952; Papadakis, 1960; Miaczynski & Tschapek, 1965; Bonfils, 1966). Posteriormente se origina mayor información como consecuencia de los estudios sistemáticos comenzados en 1964 dentro del marco del Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana ejecutado por el INTA (INTA, 1989). En las décadas que siguieron sólo algunos trabajos abordaron la óptica pedológica (Vargas Gil *et al.*, 1972; Tricart, 1973; Sánchez, 1976; Imbellone, 1996; Imbellone & Giménez, 1998; Giménez & Imbellone, 2008; Imbellone *et al.*, 2012).

Este capítulo presenta una recopilación del conocimiento pedológico actualizado de los suelos calcáreos de la región, por lo cual parte de la información ya fue publicada por los autores. El objeto del trabajo es discutir integralmente desde el punto de vista pedológico las características y génesis de los suelos calcáreos desarrollados en depósitos sedimentarios de distinta naturaleza situados en la Llanura Costera Río de la Plata, la parte norte de la Llanura Costera Ajó y el borde continental loésico de la Llanura Alta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizan tres áreas del sector noreste del litoral bonaerense cercanas entre sí, pero con distintas características geológicas. Se estudiaron 15 pedones; once de ellos se encuentran en dos llanuras costeras de la provincia de Buenos Aires, diferenciadas según conceptos geomorfológicos por Violante *et al.* (2001) como “Llanura Costera Río de la Plata”, al norte de Punta Piedras (pedones 1 a 5; partidos de Berisso, La Plata, Magdalena y Punta Indio) y “Llanura Costera Ajó” entre Punta Piedras y Villa Gesell, (pedones 6 a 11, partido de Punta Indio). Los cuatro pedones restantes (12 a 15) se encuentran en la “Llanura Alta” (Cavallotto, 1995), también denominada “Terraza Alta” (Frenguelli, 1950) o “Zona interior” (Fidalgo & Martínez, 1983), en cercanías de las llanuras costeras mencionadas (partidos de Magdalena y Punta Indio) (Fig.1).

Los suelos se describieron en el campo medianamente normas convencionales (Soil Survey Division

Staff, 1993; Schoeneberger *et al.*, 2000). La falta de estructura se indicó con los calificativos “grano suelto” y “masivo”, haciéndose extensivo el último a las capas R, que a la vez son una roca. El análisis granulométrico y la clasificación textural de todos los horizontes se realizó según la escala utilizada en suelos (Sistema USDA, Soil Survey Division Staff, 1993), complementada con la escala sedimentológica de Udden-Wentworth (McBride, 1971) por brindar esta última mayor detalle para la caracterización del material de los suelos. En ambos casos la distribución de tamaño de partículas se determinó sobre muestra total. El nombre de las clases texturales se indica en la Tabla 1. En la escala de suelos se usa el concepto de “tierra fina seca al aire” (partículas <2000 μm) para nombrar a la clase textural propiamente dicha. Si existen partículas mayores (“fragmentos de roca” o “fragmentos gruesos”) y su porcentaje en volumen es de 15% o más, se agrega al nombre de la clase textural un adjetivo que tiene en cuenta el tamaño y cantidad de fragmentos de roca, por ejemplo: “areno franco muy gravoso” (Soil Survey Division Staff, 1993). La presencia de fragmentos de roca exige su cuantificación en volumen, tanto para la denominación de clases texturales como para la corrección de mediciones de propiedades tales como parámetros hídricos. El porcentaje en volumen de los fragmentos de roca se obtuvo tamizando la muestra total (tierra fina más fragmentos de roca) y lavando con agua destilada el material retenido en el tamiz de 2 mm. Luego de secarse se pesa la fracción retenida, calculando el porcentaje en peso respecto a la muestra total. La transformación de porcentaje en peso a volumen se realizó utilizando la fórmula de Brakensiek *et al.* (1986). La coquina de la Formación Pascua no permitió la determinación granulométrica por el método convencional debido al grado de cementación.

Para el análisis granulométrico de la “tierra fina seca al aire” se eliminó la materia orgánica, determinando las fracciones de tamaño mayor a 62 μm mediante tamizado en seco y las fracciones finas (limo y arcilla) por el método de la pipeta a intervalos de 1 ϕ (Carver, 1971). Con los resultados obtenidos de estos análisis se construyeron las curvas acumulativas y se determinaron los parámetros estadísticos. Los parámetros estadísticos utilizados son: *media gráfica* (Mz), que es una medida del tamaño

promedio del sedimento y *desviación estándar* (σ), que es una medida de uniformidad e indica la selección del sedimento (Folk & Ward, 1957).

El carbonato de calcio se determinó en la tierra fina (<2 mm) y en material molido en mortero en los horizontes cementados. La abundancia de CaCO_3 se estimó en el campo según el grado de efervescencia al aplicar al suelo ácido clorhídrico al 10%. El análisis se efectuó por gravimetría en muestras con fuerte efervescencia y por neutralización ácida en muestras con reacción menor (Allison & Moodie, 1965). Se tomó como límite para el uso de uno u otro método el grado de efervescencia fuerte correspondiente a un tenor de aproximadamente 10% CaCO_3 en la matriz (FAO, 2009). El carbonato de calcio equivalente brinda el contenido de carbonato de calcio total de cada horizonte. Si bien permite calificar a los suelos como calcáreos, no es indicador de enriquecimiento secundario en suelos desarrollados en depósitos calcáreos, como los suelos de las llanuras costeras; es decir, registra tanto el carbonato de origen litogénico como pedogénico. En las sucesiones estudiadas, los tenores están fuertemente influenciados por la abundancia de bioclastos en el depósito, por lo que resultarían irrelevantes por sí solos como indicadores de enriquecimiento secundario. Por otro lado, el análisis microscópico de las fracciones arena y de porciones no disturbadas de los horizontes de suelo, permite establecer las proporciones relativas de bioclastos en cada uno de ellos y observar procesos de disolución y recristalización. Así, mediante la convergencia de evidencias químicas, sedimentológicas y micromorfológicas es posible estimar la redistribución de CaCO_3 en estos suelos.

El pH se determinó potenciométricamente en la pasta de suelo saturada y el carbono orgánico según el método de Walkley-Black (National Soil Survey Center, 1996). Se determinaron los parámetros hídricos de contenido de humedad a capacidad de campo (0,3 bar) y punto de marchitez permanente (15 bares) mediante placas de presión (Richards, 1965) a fin de relacionarlos con los parámetros granulométricos y con las posibilidades de desarrollo de la vegetación. El análisis se realizó sobre la tierra fina, corrigiendo los datos para muestra total (fragmentos de roca + tierra fina) con el factor C_m ($100 - \% \text{Vol} > 2\text{mm} / 100$) (National Soil Survey Center, 1996) en

muestras con fragmentos de conchilla y/o roca. La mineralogía de arcillas se determinó por difracción de rayos X en muestras orientadas, saturadas con magnesio al natural, glicoladas y calcinadas, leídas con el programa “Origin” y se semicuantificaron por el método de Biscaye (1965). Particularmente en las calcretas y coquina se realizaron dos tipos de preparados: a) muestras orientadas para establecer la presencia de minerales de arcilla, en registros entre 2° y $15^\circ 2\theta$, y b) de polvo a fin de identificar minerales no laminados carbonáticos en registros entre 30° y $60^\circ 2\theta$. En ambos casos se molieron en mortero pequeños trozos de calcreta, coquina y conchillas aisladas. Para determinar los minerales de arcilla en las muestras orientadas de las calcretas y coquinas, la fracción arcilla se obtuvo por pipeteo, previo tratamiento con acetato de sodio a pH 5 para eliminar carbonatos; para las muestras de polvo se analizó directamente el material molido. Se analizaron dos láminas de la calcreta, una externa blanquecina y otra más interna de color pardo.

En algunos pedones se realizaron observaciones de secciones delgadas con microscopio óptico (Bullock *et al.*, 1985; Stoops *et al.*, 2010) y de fracturas frescas de agregados naturales con microscopio electrónico de barrido hasta 5000 aumentos, a fin de observar la morfología y estado de alteración de los bioclastos y morfología y ordenamiento de los cristales de calcita.

La clasificación se realizó según *Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy, Soil Survey Staff, 2010)*, sistema adoptado en la Argentina a principios de la década de 1960, y según el sistema *World Reference Base for Soil Resources*, comúnmente conocido como *WRB (IUSS, Grupo de Trabajo WRB, 2007)* por ser de uso creciente internacionalmente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del área de trabajo

El área de estudio se encuentra en el noreste de la provincia de Buenos Aires y abarca: a) la llanura continental o Llanura Alta, principalmente la cuenca del río de la Plata y, en menor medida, la cuenca del río Samborombón; b) la “Llanura Costera Río de la Plata” desde Villa Elisa hasta Punta Piedras y c) la porción norte de la “Llanura Costera Ajó” desde Punta Piedras hasta la parte norte de la Bahía de

Samborombón (Fig. 1).

La Llanura Alta (LA) se encuentra por encima de la cota de 5 m s.n.m., que coincide en algunos sectores con un escalón o “paleoacantilado” de aproximadamente 1 m de altura, el cual marca la posición de la línea de costa durante el máximo transgresivo del Holoceno. Está constituida por sedimentos loésicos de origen continental: Formaciones Pampiano y La Postrema; en la primera se intercalan sedimentos marinos bioclásticos fuertemente cementados formando una coquina en la parte superior de la misma: Formación Pascua (Fidalgo *et al.*, 1973). Se distinguen dos vertientes: la del río de la Plata y la del río Samborombón. La primera tiene relieve suavemente ondulado y representa en el área de estudio las manifestaciones más meridionales de la Pampa Ondulada. En algunos cursos, por ejemplo el arroyo Espinillo cercano a la localidad de Magdalena, la ingresión pleistocena penetró más profundamente y originó en sus márgenes los depósitos de coquina. La vertiente del río Samborombón posee relieve más plano, con ambientes transicionales a la Pampa Deprimida. No obstante, se reconocen lomas alargadas y subcirculares -especialmente cerca del río Samborombón y afluentes y bordeando la Llanura Costera Ajó- en algunas de las cuales se encuentran depósitos de conchilla pleistocenos.

La Llanura Costera Río de la Plata (LCRP) se extiende desde el escalón mencionado hasta la costa del río de la Plata. Consiste en una franja de aproximadamente 150 Km de largo y 4-10 Km de ancho hasta Punta Piedras, desde donde se ensancha hacia el sur hasta la paleopunta Villa Gesell, constituyendo la Llanura Costera Ajó (LCA) (Fig. 1). La paleopunta Punta Piedras influyó en la evolución de los fenómenos geomorfológicos costeros, tal como la divergencia de las direcciones de la deriva litoral que motivó la formación de depósitos costeros de distinta forma y naturaleza granulométrica; al descender el nivel del mar, se instalaron geofformas litorales al NO y SO de Punta Piedras, con diferentes características según su orientación. Así, los cordones ubicados al SO de dicha punta (pedones 7, 10, 11) poseen mayor contenido de arena que los situadas al NO (pedones 1 a 5) (Giménez & Imbellone, 2008); también se encuentran aquí mantos arenosos extensos (Sánchez *et al.*, 1976) (pedones 9 y 10) y dunas

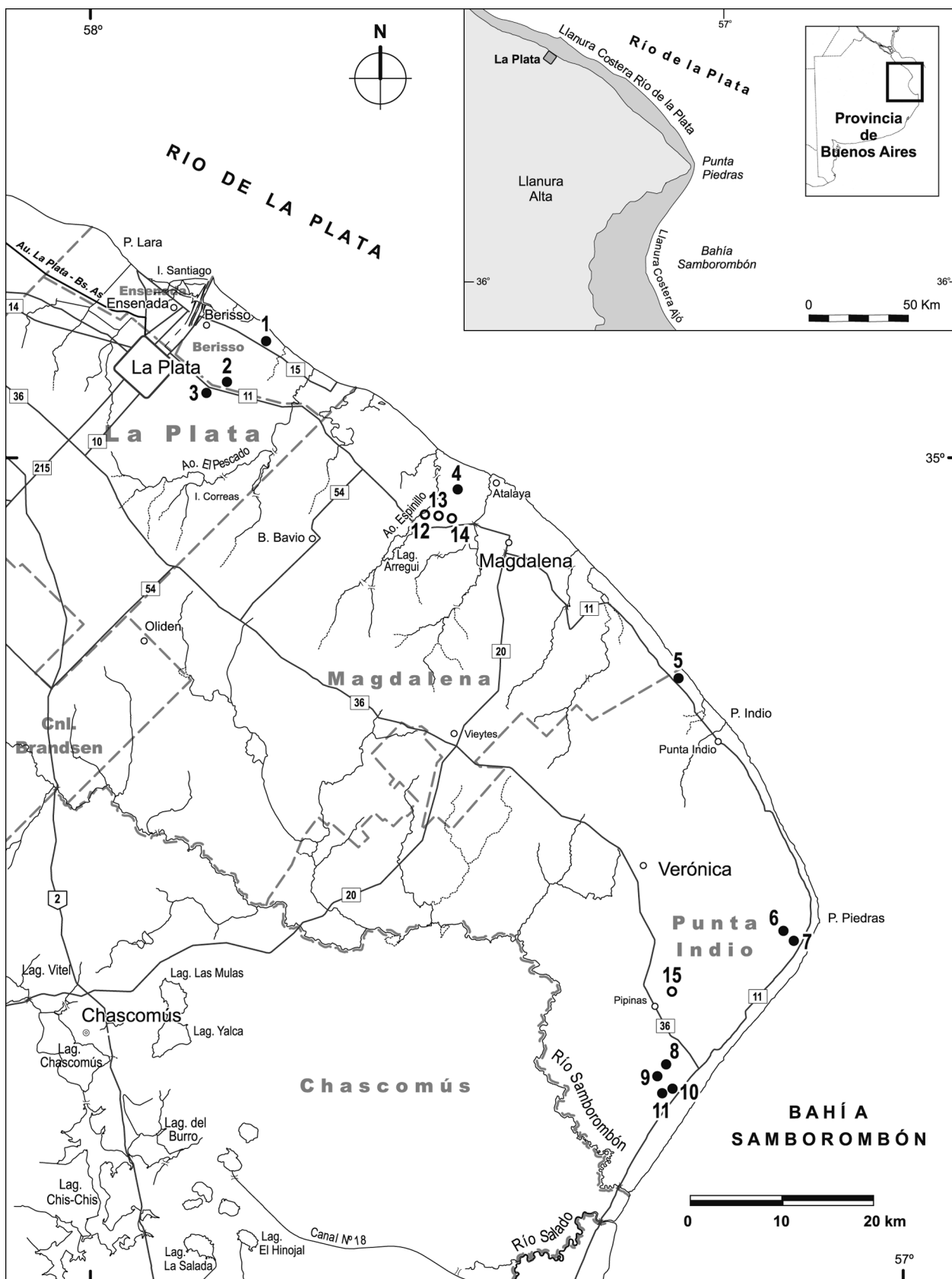


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio y de los 15 pedones representativos. ● Pedones de las Llanuras Costeras (1-11). ○ Pedones de la Llanura Alta (12-15).

Figure 1. Location map of the study area and the 15 representative pedons. ● Pedons in the Coastal Plains (1-11). ○ Pedons in the High Plain (12-15).

(pedón 6), geoformas que hacia el norte aparecen aisladamente en la LCRP.

Los cordones litorales, denominados bancos subribereños o bancos sublitorales (Parodi, 1940), cordones de conchilla, albardones, etc., constituyen una de las geoformas más conspicuas de los ambientes litorales. En trabajos más recientes se identifican como “cordones de playa” que forman parte, junto con los intercordones, de la “llanura de cordones de playa”; este ambiente constituye un sistema de espigas progradantes ubicado entre la “llanura de mareas interior” hacia el continente y la “llanura costera de fango” hacia la costa. La llanura de cordones de playa se extiende principalmente en la mitad sur de la LCRP, mientras que en la mitad norte se reconocen los “cordones interiores” adosados al paleoacantilado, los que fueron generados por tormentas en la parte alta de playas durante el máximo trasgresivo (Cavallotto, 1995). Esta diferenciación de los cordones tendría relación con la evolución de los suelos ya que las capas de conchilla parcialmente cementadas se encuentran en los cordones interiores, más antiguos.

Las acumulaciones biogénicas, que contienen también arena y rodados de calcáreo de origen continental re trabajados por el agua, corresponden a la Formación Las Escobas, Miembro Cerro de la Gloria (Fidalgo *et al.* 1973). En la LCRP estos depósitos están cubiertos por una mezcla de sedimentos litorales y eólicos de la Formación La Postrera (Imbellone, 1996) o, en sectores aislados, por sedimentos finos de la llanura costera de fango adyacente. En gran parte de la LCA y en algunos sectores aislados de dunas o mantos de la LCRP sobre la Formación Las Escobas se depositaron sedimentos eólicos arenosos de la Formación La Petrona (Colado *et al.*, 1995).

Clima

La caracterización del clima regional proviene de la información proporcionada para el período 1909-2005 por la Estación Climatológica La Plata, perteneciente a la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP (ubicación: latitud 34° 55' S, longitud 57° 56' O, altitud 15 m s.n.m.). La precipitación media anual es de 1040 mm. La distribución estacional de lluvias es bastante regular en la mayor parte del año (verano y otoño:

27,8 %, primavera: 25,6 %) con cierta disminución en invierno (18,8 %). El mes más lluvioso es marzo (111 mm) y el menos lluvioso junio (63 mm). La temperatura media anual es de 16,2 °C, con medias de verano de 22,0 °C y de invierno de 10,4 °C. Las temperaturas máxima y mínima absolutas han sido 43 °C y -5 °C. Una serie histórica más corta (1951-1960) del Servicio Meteorológico Nacional indica para la localidad de Punta Indio una precipitación media anual de 1026 mm y una temperatura media anual de 15,6 °C.

Un fenómeno meteorológico que afecta la LCRP con cierta frecuencia es la “sudestada”. Consiste en fuertes vientos del SE, acompañados en general por lluvias persistentes débiles o moderadas. Se origina por la acción combinada de un sistema de alta presión ubicado en el Océano Atlántico frente a las costas patagónicas y un centro de baja presión localizado al este de la provincia de Buenos Aires y el Uruguay. Los vientos producen una elevación del nivel de las aguas del estuario, originando inundaciones de magnitud variable de acuerdo con la intensidad y duración de la sudestada. Durante la sudestada más intensa registrada (abril de 1940, 4,65 m) las aguas ocuparon prácticamente la totalidad de la llanura costera.

Según la clasificación de Thornthwaite (1948) le corresponde a la zona el clima *B1 B'2 r a'* (húmedo, mesotérmico, con nula o pequeña deficiencia de agua y baja concentración térmica estival). El *balance hídrico medio mensual* (Thornthwaite & Mather, 1957) muestra un pequeño déficit de agua en el suelo en verano (alrededor de 7 mm) y un exceso importante (240 mm) entre abril y noviembre. Estos datos permitieron determinar el régimen de humedad *údic* para los suelos mejor drenados de la región. En gran parte de las llanuras costeras y en sectores deprimidos de la Llanura Alta el régimen es *ácuico*. Mediante la estimación de las temperaturas media anual, de verano e invierno del suelo a 50 cm (17,2; 21,4 y 11,0 °C, respectivamente), efectuada a partir de las respectivas temperaturas del aire, se determinó para el área el régimen de temperatura del suelo *térmico* (Soil Survey Staff, 1999).

Vegetación

Es posible diferenciar la vegetación de la Llanura Alta (LA) o continental donde se encuentran

los suelos calcáreos loésicos influenciados por depósitos de conchilla pleistocenos y la vegetación que cubre los suelos calcáreos de las llanuras costeras, específicamente la presente en los cordones conchiles.

La vegetación natural dominante en las zonas de interfluvios de la LA es el pastizal pampeano, comunidad también denominada “estepa gramínea climax” (Cabrera & Zardini, 1993) o “flechillar típico” (Vervoost, 1967). Sin embargo, las actividades agropecuarias desarrolladas durante más de un siglo han modificado profundamente las características florísticas y estructurales del pastizal original. Entre las especies originariamente dominantes se pueden mencionar a *Stipa neesiana*, *Piptochaetium montevidense* y *Bothriochloa laguroides*. Estas han sido reemplazadas por forrajeras exóticas como los géneros *Lolium*, *Festuca*, *Phalaris*, *Dactylis* y *Trifolium* (León *et al.*, 1984). Otras especies consideradas malezas comunes en el área son *Cynara cardunculus*, *Carduus acanthoides*, *Baccharis sp.* Se encuentran también especies arbóreas nativas como el tala (*Celtis tala*) en forma dispersa o géneros exóticos como *Eucalyptus* o *Casuarina*. Por otro lado, deben considerarse también las alteraciones producidas por el uso urbano y obras relacionadas al mismo como infraestructura de comunicaciones y actividades extractivas de suelo, tanto superficiales como profundas, que también afectan a las llanuras costeras.

En las dos llanuras costeras la vegetación que cubre los cordones conchiles es generalmente la *comunidad del talar*, la principal formación boscosa de la Región Pampeana, constituida principalmente por el tala (*Celtis tala*), acompañado por otras especies arbóreas y arbustivas que requieren buen drenaje: coronillo (*Scutia buxifolia*), incienso (*Schinus longifolius*), sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), saúco (*Sambucus australis*), barba de tigre (*Colletia spinosissima*), etc. El hecho de que los talares crezcan en cordones conchiles y arenosos sugeriría que se trata de una vegetación *azonal*, ya que está determinada por el factor edáfico, pero según Vervoost (1967) sería una vegetación *extrazonal* ya que tiene su zonalidad en otra región (*Provincia del Espinal, distrito del tala*; Cabrera, 1976), que corresponde a un clima subhúmedo a semiárido; la presencia de la comunidad en áreas más húmedas se explicaría porque en éstas los suelos

tienen baja retención de agua y alta permeabilidad debido principalmente a sus texturas gruesas. Por otro lado, Cabrera (1976), define al talar como una *comunidad edáfica* dentro de los pastizales, sugiriendo que su distribución geográfica no está relacionada a condiciones climáticas actuales (Tonello & Prieto, 2010). Esta comunidad sería un indicador paleoambiental remanente de las condiciones secas a semiáridas (Tonni *et al.*, 2003) que reinaron en la región durante el Pleistoceno tardío.

Los talares experimentaron procesos de degradación desde hace más de 400 años principalmente para la extracción de leña, luego debido a las actividades agropecuarias y urbanizaciones con sus infraestructuras anexas (rutas, vías férreas, etc.) y más recientemente por extracción de conchilla. No obstante, en muchas áreas taladas el rebrote de cepa ha permitido la persistencia del bosque (Arturi & Goya, 2004). A pesar de las acciones antrópicas mencionadas, diversos autores advirtieron diferencias naturales entre talares de distintas áreas costeras de la provincia de Buenos Aires. Así, Parodi (1940) menciona que cerca del río Samborombón (actual partido de Punta Indio) y en los partidos de Chascomús y Castelli de la LCA los talares son ralos o aparecen sólo ejemplares aislados. Vervoost (1967) consigna que a lo largo de 14 km al norte del río Samborombón los talares se estrechan y quedan reducidos a manchones. Los ambientes descriptos por ambos autores coinciden en gran parte con el “manto arenoso” descripto por Sánchez *et al.* (1976) y se sitúan en la LCA. Cagnoni & Faggi (1993) comparan talares de los partidos de Magdalena (LCRP) y General Lavalle (LCA), encontrando que los primeros están muy extendidos, presentan otras especies arbóreas (molle, coronillo, sombra de toro, ligustro), con una diversidad de 1,0 (índice de Shannon-Weaver, 1963) y un estrato arbóreo de 81 %. En cambio, los segundos cubren una superficie reducida, tienen menor diversidad (índice 0,58) y la cobertura media es de 52 %. En las escasas dunas de la LCRP se observó también que los talares son más ralos que en los cordones conchiles cercanos (Instituto de Geomorfología y Suelos, 1988). Por otra parte, Cagnoni *et al.* (1996) comparando variación de especies entre cordones conchiles de la LCRP encontraron que en los cordones más alejados de la costa (más secos), *Celtis tala* era la especie

más abundante, mientras que en los cordones más cercanos al río (más húmedos) predominaban *Scutia buxifolia* y *Schinus longifolius*. Así, *Celtis tala* sería una especie más tolerante a sequía que las otras de la comunidad, lo que explicaría su dominancia y la menor diversidad de especies en suelos de baja retención de agua como son los Udipsamentos de la LCA.

Propiedades de los suelos

Los suelos estudiados reflejan propiedades de los materiales originarios y parcialmente de las geoformas provenientes de la evolución geológica-geomorfológica de la zona ya que no hay tipos de suelos específicos para cada geoforma (Tabla 1). Se desarrollan en cordones de conchilla (pedones 1 a 5, 7, 10, 11), mantos arenosos (pedones 8 y 9) y dunas (pedón 6.) correspondientes a depósitos sedimentarios holocenos, y en la planicie loésica pleistocena del borde continental (pedones 12 a 15) (Fig. 1 y Tabla 1).

Todos los suelos del área estudiada poseen algunos rasgos macromorfológicos que les son comunes, y en la mayoría de los casos fácilmente observables en los perfiles, provenientes de las características de los sedimentos o de procesos pedogénicos. En el primer caso se trata de la presencia de discontinuidades litológicas más o menos marcadas debidas a diferencias composicionales del material originario. Además de los parámetros inherentes a la definición de discontinuidades litológicas (Soil Survey Division Staff, 1993), que a veces no son fácilmente visibles en el campo, estas discontinuidades se manifiestan por otras propiedades morfológicas como: diferencias en los límites, estructura y consistencia, entre los horizontes de cada perfil y entre los perfiles de la zona. Los límites generalmente son netos y de forma plana, ondulada o quebrada, indicando el plano de depositación original de los sedimentos o su alteración por pedoturbación. Otro rasgo compartido y prominente es la presencia de carbonato de calcio en distintos horizontes de los pedones, ya sea heredado de los sedimentos (litogénico) y/o generado por pedogénesis (pedogénico), variando su contenido entre horizontes de un mismo pedón y entre pedones. Con respecto a la reorganización pedogénica, casi todos los suelos presentan algún

grado de evolución cálcica variable en tipo y grado, ya sea por alteración *in situ* del sedimento o la roca carbonática o, como ocurre en materiales loésicos, por concentración de soluciones calcáreas.

Los suelos son calcáreos, excepto el pedón 8, y poseen: a) solamente carbonato litogénico (pedones 1, 7, 9, 10, 11); b) carbonato pedogénico proveniente de los sedimentos bioclásticos (pedones 2, 3, 4 y 5); c) carbonato litogénico de la coquina y carbonato pedogénico proveniente de esta última y de otro origen en la porción loésica de los suelos (12, 13, 14 y 15) y d) carbonato litogénico en los sedimentos sobreyacentes a horizontes enterrados y pedogénico en estos últimos (pedón 6).

Una diferencia morfológica de campo entre el carbonato litogénico y el pedogénico es la distribución en los perfiles. El primero se encuentra en capas de sedimentos conchiles, sin ninguna relación pedogenética entre ellos, pudiendo corresponder a horizontes A, AC o C, que cuando poseen evolución calcárea también contienen carbonato pedogénico. En cambio, otros suelos tienen por un lado carbonato pedogénico en horizontes iluviales desarrollados en materiales sin bioclastos y por otro, fuerte evolución calcárea en rocas carbonáticas que se encuentran en la base de los suelos (pedones 12 a 15). Es de mencionar que la nomenclatura de horizontes indica la presencia de carbonato pedogénico con el símbolo "k" (Tabla 1), pero no la presencia de carbonato litogénico que en los suelos estudiados son depósitos de bioclastos de moluscos marinos y rocas calcáreas.

La principal diferencia entre los suelos del área estudiada es el grado de desarrollo pedogénico relativo, vinculado con las características sedimentológicas del material originario, ya sean depósitos litorales, eólicos o eolo-litorales, como también posiblemente con la edad de los materiales originarios y consecuentemente de los suelos. Existen dataciones de C^{14} realizadas principalmente en materiales bioclásticos de los sedimentos. En varias localidades de la cuenca del río Salado, como Cerro de la Gloria (Formación Las Escobas), se determinaron edades entre 4.220 ± 110 años AP a 4.800 ± 90 años AP y en Rincón de López entre 4.920 ± 220 años AP y 7.030 ± 320 años AP (Mari *et al.*, en prensa). Para la Formación Pascua se asignan las siguientes edades: >40.000 años AP en Pipinas (Colado *et al.*, 1995) y 30.190 ± 730 años AP en

Bahía de Samborombón (Cortelezzi, 1993). Un listado detallado de edades medidas en materiales de la zona se puede consultar en Violante *et al.* (2010) e Isla *et al.* (2000). La distribución en profundidad del carbonato de calcio equivalente también posee patrón distinto y depende principalmente de las características de los sedimentos, o sea de la cantidad aportada por el material originario y del grado de reorganización por pedogénesis, o sea el grado de evolución calcárea.

El grado de humificación del horizonte A, estimado a partir del contenido de materia orgánica, es variable; es mayor en los Haprendoles de los cordones conchiles donde el proceso es favorecido por la intensa actividad biológica resultante de condiciones ecológicas locales y de factores físicos y químicos favorables como pH. En particular, la abundancia de calcio contribuye a la estabilidad del humus, reflejada por el elevado contenido de huminas encontrado por Sánchez (1976). Dichas condiciones también favorecen la buena agregación (estructura granular o en bloques subangulares finos) que permite un buen contacto raíz-suelo. Los suelos de la LA también poseen horizontes A con alto contenido de materia orgánica, atribuible al aporte subsuperficial de restos orgánicos de la vegetación de pastizal. En contraste, los Udipsamentes, ubicados en la LCA, el grado de humificación es bajo, especialmente en los mantos arenosos debido a las texturas muy gruesas que favorecen más la mineralización que la humificación de los restos orgánicos, que en estos sectores es menor, como se indicó en la sección Vegetación.

Suelos de la Llanura Costera Río de la Plata (Tabla 1, Fig.2a). Están ubicados en cordones conchiles (pedones 1 a 5); poseen secuencias de horizontes A-C o A-AC-C. Los horizontes A tienen espesores de alrededor de 30 cm en promedio, son oscuros con contenidos moderados a altos de materia orgánica, estructura granular o en bloques subangulares bien desarrollada ya que, además del mayor contenido de componentes agregantes se suman los tenores altos de calcio que contribuye a la floculación de los coloides promoviendo la generación de agregados estructurales estables. Las clases texturales son muy diversas (Tablas 1 y 2).

El límite con los horizontes subyacentes (AC o C), puede ser neto y plano aunque a veces es

irregular u ondulado debido a la actividad del “tuco-tuco” (*Ctenomys talarum*), roedor que produce bioturbaciones anisotrópicas al mezclar horizontes A, AC y C. Este género, endémico en la porción austral de América del Sur, excava túneles horizontales ramificados con funciones alimentarias (De Santis & Moreira, 2000). Es común la presencia de crotovinas originadas por el relleno de cuevas abandonadas. También las raíces de la vegetación arbórea producen un efecto semejante, favoreciendo la caída de material superficial húmifero oscuro dentro de las capas de conchilla subyacentes. El horizonte AC del pedón 5 posee abundantes detritos de conchilla, y pseudomicelios (Fig. 2a). Los horizontes C son depósitos calcáreos conchiles estratificados con distinto grado de fragmentación, rodados de carbonato de calcio, sueltos o con algún grado de cementación además de cantidades variables de arena, principalmente fina y muy fina, e intercalaciones lentiformes de depósitos limo-arenosos de origen marino (pedones 1, 2, 3 y 5, Tablas 1 y 2).

El pedón 4 difiere de los anteriores ya que gran parte del material que sobreyace a los horizontes conchiles y arenosos tiene alto contenido de arcilla, en parte de carácter expansivo revelado por la presencia de superficies de deslizamiento en el horizonte Bss. Dicho material fino podría tener origen en la llanura costera de fango cercana.

En los horizontes donde hay marcada presencia de carbonatos litogénicos o pedogénicos los colores son claros, con luminosidad (*value*) entre 6 y 8 e intensidad (*chroma*) entre 1 y 4, en seco. Algunos horizontes con detritos de conchilla finamente fragmentados, pero sin carbonato pedogénico, se ven en el campo más claros que lo indicado por la nomenclatura Munsell cuando el color se determinó sobre la matriz terrígena del horizonte.

La reacción varía en la mayoría de los casos de neutra a moderadamente alcalina (pH 7 a 8,5). En ningún caso se encontraron horizontes con cantidades importantes de sales solubles ya que la conductividad específica es en todos los casos inferior a 1 dS m^{-1} (datos no incluidos). El contenido de carbonato de calcio es elevado en casi todos los horizontes, aportado principalmente por fragmentos biogénicos de moluscos y en menor proporción por clastos de rodados calcáreos, a veces con marcados signos de alteración y recristalización. La mayoría

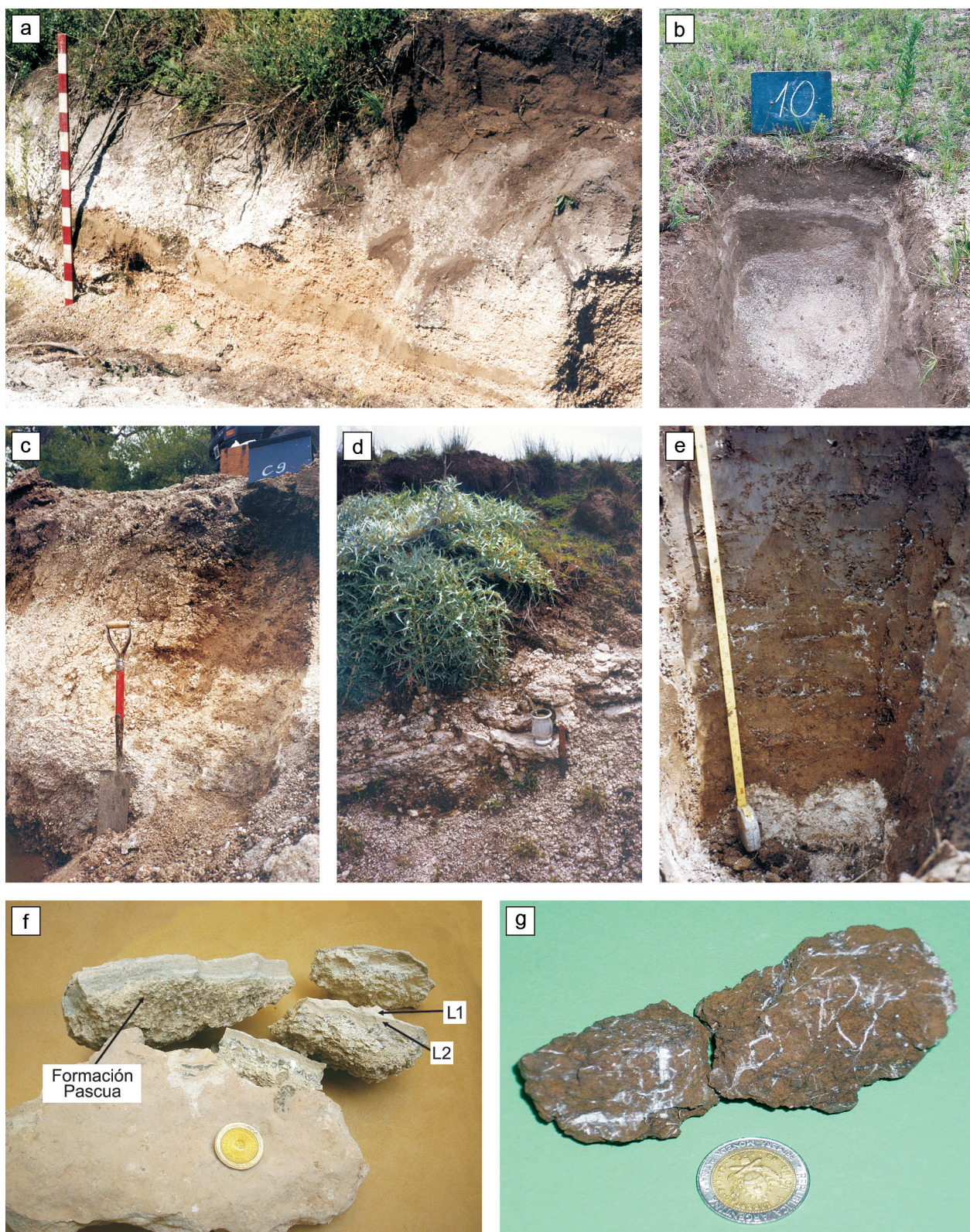


Figura 2. Características morfológicas de los suelos estudiados. 1. Llanura Costera Río de la Plata. a) Pedón 5, Calciudol típico: A, ACk, 2Ck, 3Cg, 4Ck. 2. Llanura Costera Ajó. b) Pedón 10, Udipsament típico: Ap, AC, 2C. 3. Llanura Alta. c) Pedón 13 Hapludert típico: A, 2Btkssb1, 2Btkssb2, 2BCKb, 3Ck/2CBkb, 3Ckmb, 3R. d), e) Pedón 12, Argiudol vértico: A, 2Btssb, 2Btkssb, 2BCKb, 3Ckmb, 3R. f) Pedón 12. Muestra de mano de la coquina (Formación Pascua) con horizonte petrocálcico laminado (observado en el perfil de la Fig. 2d). L1, L2: láminas analizadas por rayos X cuya composición se discute en el acápite correspondiente. g) Pedón 12. Muestra de mano mostrando los pseudomicelios que revisten las paredes de un agregado del horizonte 2Btkssb (también observados en el perfil de la Fig. 2e).

de los suelos posee reorganización calcárea más o menos visible a simple vista (pedones 2, 3, 4, 5) y algunos poseen horizontes cálcicos (pedones 2, 3 y 5). Especialmente, el pedón 5 es un suelo con evolución calcárea marcada. Los horizontes A y ACk poseen 20 y 80 % de CaCO_3 respectivamente, con participación bioclástica mayor en el segundo, pero menor que en los infrayacentes; los horizontes 2Ck y 4Ck corresponden a depósitos biogénicos propiamente dichos parcialmente cementados con carbonato pedogénico, con alrededor de 70 % de CaCO_3 . Los horizontes ACk, 2Ck y 4Ck son horizontes cálcicos (Tabla 1, Fig. 2a). El plasma es abundante en A y ACk, pero en el primero es predominantemente húmico, con aproximadamente 7 % de carbono orgánico y con reorganización de plasma calcítico. En cambio, en el ACk el plasma calcítico es abundante. Este horizonte ha sido clave en la interpretación del proceso de redistribución de CaCO_3 porque es el único horizonte de los suelos actuales que posee abundantes pseudomicelios claramente visibles en el campo. Ellos indican fuerte reorganización *in situ* de carbonato litogénico y posiblemente alguna ganancia por lixiviación proveniente de la disolución de bioclastos o de otros orígenes, desde el horizonte A. El depósito que forma el horizonte 3Cg posee escasa cantidad de bioclastos.

El contenido de agua en capacidad de campo de los horizontes A en los suelos de la LCRP varía entre 8 y 19 % y en el punto de marchitez permanente entre 5 y 14 %, con contenidos de agua útil cercano a 10 %. En el resto de los horizontes el agua útil varía entre 3 y 9 %. Una excepción es el perfil 4, cuyo horizonte A posee 46 y 29 % en capacidad de campo y punto de marchitez permanente, respectivamente, debido a su elevado contenido de arcilla.

Suelos de la Llanura Costera Ajó (Tabla 1 y Fig. 2b). Se desarrollan algunos en cordones conchiles (pedones 7, 10 y 11) y otros en dunas y mantos

arenosos (pedones 6, 8 y 9). Los suelos poseen secuencias de horizontes A-AC-C. Los horizontes A poseen en su mayoría espesores de 20 a 30 cm. El horizonte A en los cordones conchiles tiene a 1 a 3 % de carbono orgánico; en las dunas y mantos es generalmente inferior al 1 %, llegando excepcionalmente al 2 % y el grado de la estructura es más débil. Los suelos tienen texturas más gruesas que los de la LCRP. Los colores de la matriz de los horizontes A son semejantes a los de la LCRP a pesar del menor contenido de materia orgánica de aquellos, debido a que la baja superficie específica de los materiales de texturas gruesas permite un recubrimiento efectivo de las partículas, aun con contenidos bajos de sustancias húmicas (Imbellone *et al.*, 2010). Cuando el horizonte AC está presente (pedones 6, 10 y 11), está constituido por una mezcla de material detrítico y se diferencia del horizonte superficial por el contenido marcadamente menor de materia orgánica y ausencia de estructura. Los horizontes C son depósitos areno-conchiles. En dunas y mantos arenosos se encuentran a veces horizontes B enterrados con carbonato pedogénico abundante, como en el pedón 6 (Fig. 7c). Superficialmente se observa intensa bioturbación por roedores, especialmente tuco-tuco, con alta frecuencia de cuevas y montículos.

El contenido de carbonato de calcio equivalente es variable y está influenciado por la cantidad de bioclastos del sedimento, ya que algunos suelos tienen escaso material detrítico conchil y en otros las lentes de conchilla son prominentes (pedón 10, Fig. 2b). Estas capas y/o lentes son discontinuas y sin estructura (grano suelto) y no muestran pseudomicelios. Tienen consistencia desde blanda a extremadamente dura.

En todos los casos, los suelos son bien drenados a excesivamente drenados, con una infiltración básica generalmente muy rápida (pedón 9: 30 cm/hora en el horizonte A y 37 cm/hora en el C1). De los suelos estudiados en este trabajo, los ubicados

Figure 2. Morphological characteristics of the studied soils. 1. Río de la Plata Coastal Plain. a) Pedon 5, Typic Calcudoll: A, ACk, 2Ck, 3Cg, 4Ck. 2. Ajó Coastal Plain. b) Pedon 10, Typic Udipsamment: Ap, AC, 2C. 3. High Plain. c) Pedon 13, Typic Hapludert: A, 2Btkssb1, 2Btkssb2, 2BCKb, 3CK/2CBkb, 3CKmb, 3R. d), e) Pedon 12, Vertic Argiudoll: A, 2Btssb, 2Btkssb, 2BCKb, 3CKmb, 3R. f) Hand specimen of coquina (Pascua Formation) with laminated petrocalcic horizon (also observed in Fig. 2d). L1, L2: laminae analyzed by X-rays whose composition is discussed in the text. g) Hand specimen showing pseudomicelia on aggregate surface, 2Btkssb horizon (also observed in profile of Fig. 2e).

Tabla 1. Propiedades morfológicas, físicas y químicas seleccionadas de los suelos estudiados.
Table 1. Selected morphological, physical and chemical properties of the studied soils.

Horiz.	Prof. (cm)	Límite	Color (Munsell)		Estructura (tipo, clase, grado)	Consist. (seco)	Granulometría, Sistema USDA (% peso)				pH (pasta)	C org. (%)	CaCO ₃ (%)	Parámetros hídricos (%)		
			seco	húmedo			arc.	limo	are.	frag. roca				clase textural	CC	PMP
Llanura Costera Río de la Plata																
Pedón 1. Haprendol típico (TS), Phaeozem Réndzico (Arénico) (WRB). Ubicación: Cerdón conchil. 34° 52' 51" S, 57° 49' 10" O. Partido de Berisso																
A	0-50	n, o	10YR 4/1	10YR 3/1	gr, f, débil	blando	4,3	15,3	80,4	14,6	0	7,9	3,7	93,3	18,7	14,3
2C	50-75	n, p	10YR 8/1	10YR 5/2	grano suelto	suelto	5,6	15,0	79,4	21,9	0	7,9	0,8	56,8	19,9	16,6
3Cg	75-87	n, p	2,5Y 5/2	2,5Y 4/2	masivo	muy duro	0,7	44,2	55,1	4,2	0	8,1	0,8	18,3	24,4	15,4
4C	87-100+	n, p	10YR 6/3	10YR 5/3	grano suelto	suelto	0,5	7,1	92,4	14,0	0	8,4	0,2	16,7	-	-
Pedón 2. Calcicudol típico. Phaeozem Réndzico Cálcico. Ubicación: Cerdón conchil. 34° 56' 30" S, 57° 51' 18" O. Partido de Berisso																
A	0-20	n, i	10YR 3,5/2	10YR 2/2	gr, f, moderada	blando	8,5	23,4	68,1	0	0	7,3	2,5	21,0	16,5	11,1
2Ck	20-84	n, p	10YR 8/1	10YR 7/2	laminar/masivo	muy duro*	tz	tz	99,5	57,1	0	8,0	0,3	71,0	8,6	4,7
3Cg	84-120	n, i	2,5Y 6/2	2,5Y 4,5/2	masivo	blando	13,6	50,6	35,8	0	0	7,7	0,4	0,5	23,2	15,4
4Ck	120-160+	n, i	7,5YR 7/4	7,5YR 5/4	masivo	blando	16,8	63,5	19,7	0	0	8,1	0,1	5,5	-	-
Pedón 3. Calcicudol típico. Phaeozem Réndzico Cálcico (Endoarénico). Ubicación: Cerdón conchil. 35° 56' 33" S, 57° 51' 54" O. Partido de La Plata																
A	0-40	n, o	10YR 3,5/3	10YR 2/3	b.sub,gr, f, débiles	blando	10,2	26,6	63,2	0	0	7,8	1,6	2,1	7,7	5,1
2C	40-60	c, o	10YR 8/1	10YR 7/2	grano suelto	suelto	3,0	9,4	87,6	42,6	0	8,5	0,5	85,1	7,4	4,5
2Ck	60-77+	n, p	10YR 8/1	10YR 7/2	masivo	ex duro*	11,2	8,3	80,5	14,7	0	8,5	0,4	68,2	15,5	10,6
Pedón 4. Epiacuerténtico. Vertisol Gleico (Calcárico). Ubicación: Cerdón conchil. 35° 01' 13" S, 57° 34' 23" O. Partido de Magdalena																
A	0-18	g, p	10YR 5/1	10YR 3/1	b.sub, me, mod	muy duro	35,5	51,3	13,2	0	0	5,8	4,63	0,0	46,0	29,4
Bssk	18-52	g, p	2,5Y 5,5/2	2,5Y 4/2	b.bang, me, fuertes	extr. duro	57,0	32,0	11,0	0	0	7,1	0,95	2,6	46,3	30,4
2Bckg	52-64	c, o	5Y 6,5/2	5Y 4/2	b.bang, me, fuertes	muy duro	27,0	31,1	41,9	0	0	7,5	0,34	5,5	37,7	19,2
3Cg	64-80	n, i	5Y 7/2	5Y 4,5/2	masivo	duro	15,5	20,5	64,0	2,8	0	7,7	0,15	5,6	19,8	9,2
4C	80-105	n, p	10YR 8/1	10YR 7/2	grano suelto	suelto	14,7	21,4	63,9	39,3	0	7,6	0,14	18,3	17,8	13,8
5Cg	105-130+	n, p	2,5Y 7/3	2,5Y 5/3	masivo	blando	2,2	6,5	91,3	4,8	0	8,0	0,05	4,3	6,8	5,3
Pedón 5. Calcicudol típico. Phaeozem Réndzico Cálcico (Endoarénico). Ubicación: Cerdón conchil. 35° 12' 30" S, 57° 18' 20" O. Partido de Punta Indio																
A	0-40	n, p	10YR 4/2	10YR 2/2	gr, f, mod-débil	blando	15,9	52,3	31,8	0	0	7,3	6,8	21,2	33,6	17,3
ACK	40-70	n, o	10YR 5/1	10YR 3/1	b.sub, me, débiles	blando	6,6	36,5	56,9	0	0	7,8	2,1	83,7	17,7	8,6
2Ck	70-120	n, p	10YR 6/1	10YR 4/1	masivo	ex duro*	tz	tz	99,5	52,7	0	8,1	0,6	74,5	17,7	8,6
3Cg	120-130	n, p	2,5Y 7/2	2,5Y 5/2	grano suelto	suelto	3,9	65,9	30,2	0	0	8,3	0,1	1,2	12,0	5,1
4Ck	130-145+	n, p	10YR 8/1	10YR 7/3	masivo	ex duro*	tz	tz	99,5	49,0	0	8,3	0,1	72,0	12,0	5,1
Llanura Costera Ajo																
Pedón 6. Hapludol taptó-árgico. Phaeozem Háptico (Calcárico, Endoarénico, Taptó-lúvico). Ubicación: Duna. 35° 18' 29" S, 57° 09' 15" O. Partido de Punta Indio																
A	0-33	c, p	10YR 4/2	10YR 2/2	b.sub, f, débiles	lig duro	18,8	22,1	59,1	0,0	0,0	7,8	2,1	30,9	25,4	15,8
AC	33-100	n, q	10YR 5/2	10YR 3/3	grano suelto	suelto	7,1	7,6	85,3	0,0	0,0	7,7	0,6	33,0	10,2	5,7
C	100-105	n, o	10YR 7/3	10YR 5/3	grano suelto	suelto	2,2	2,2	95,6	0,0	0,0	8,2	0,1	34,4	5,3	2,8
2Btkb	105-110+	n, o	7,5YR 6/4	7,5YR 5/4	b.bang, me, mod	muy duro	44,5	46,1	9,4	0,0	0,0	7,9	0,1	5,8	36,4	21,4
Pedón 7. Haprendol típico. Phaeozem Réndzico (Arénico). Ubicación: Cerdón conchil. 35° 28' 30" S, 57° 09' 10" O. Partido de Punta Indio																
A	0-20	n, o	10YR 4/2	10YR 2/1	gr, f, moderada	blando	7,9	11,7	80,4	0,0	0,0	7,4	3,2	76,7	24,8	17,4
2C1	20-26	n, o	10YR 8/1	10YR 8/2	grano suelto	suelto	tz	tz	99,5	91,0	0	-	-	85,6	-	-
2C2	26-53+	n, o	10YR 8/2	10YR 7/3	grano suelto	suelto	tz	2,0	98,0	59,0	0	-	-	-	-	-

Pedón 8. Udipsament típico. Arenoso háplico. Ubicación: Manto arenoso. 35° 36' 19" S, 57° 18' 21" O. Partido de Punta Indio															
A	0-18	g,p	10YR 5/3	10YR 3/3	grano suelto	2,5	2,0	95,5	0,0	A	6,4	0,29	0,0	7,1	3,6
C	18-70+		10YR 6/4	10YR 3/4	grano suelto	1,6	1,1	97,3	0,0	A	7,1	0,07	0,0	6,6	1,9
Pedón 9. Udipsament típico Arenoso háplico. Ubicación: Manto arenoso. 35° 36' 25" S, 57° 18' 08" O. Partido de Punta Indio															
A	0-26	g,p	7,5YR5/4	7,5YR3/4	grano suelto	3,0	2,5	94,5	0	A	6,5	0,16	0,0	4,8	2,4
C1	26-66	g,p	7,5YR6/4	7,5YR4/4	grano suelto	1,7	1,5	96,8	0	A	7,0	0,14	0,0	4,2	1,7
C2	66-140+		10YR 6/3	10YR 4/3	grano suelto	0,9	1,0	98,1	0,7	A	8,3	0,04	4,5	4,1	1,5
Pedón 10. Udipsament típico. Arenoso háplico (Calcárico). Ubicación: Cordón conchil. 35° 37' 24" S, 57° 17' 53" O. Partido de Punta Indio															
Ap	0-25	n,p	10YR 5/3	10YR 3/3	gr suelto/granular	5,6	7,9	86,5	1,0	A	7,8	1,29	10,9	8,8	5,4
AC	25-50	n,o	10YR5,5/3	10YR 3/3	masivo	4,2	6,7	89,1	3,1	A	8,0	0,67	3,3	8,5	3,7
2C	50-60+		10YR 8/3	10YR 7/3	grano suelto	1,3	2,3	96,4	31,1	A grav.	8,3	-	61,8	4,5	2,8
Pedón 11. Udipsament típico. Arenoso háplico (Calcárico). Ubicación: Cordón conchil. 35° 37' 25" S, 57° 17' 56" O. Partido de Punta Indio															
Ap	0-16	c,p	10YR 4/2	10YR 2/2	grano suelto	6,4	5,0	88,6	0,0	A	7,5	1,13	0,6	7,5	4,8
AC	16-54	n,i	10YR 4,5/2	10YR 3/2	masivo	5,5	6,0	88,5	0,4	A	7,7	0,59	1,6	7,6	4,2
2Cg	54-110+		2,5Y 6/2	2,5Y 4/2	masivo	2,8	3,6	93,6	0,4	A	8,3	0,11	2,1	6,1	2,6
Llanura Alta															
Pedón 12. Argiudol vértico. Phaeozem Endoléptico Vértico Calcálico Lúvico Ubicación: Interfluvio. 35° 03' 26' S, 57° 36' 27" O. Partido de Magdalena															
A	0-21	n,p	10YR 5/2	10YR 3/2	gr. f. débil	24,4	61,8	13,8	0,0	FaL	6,6	3,9	0,0	29,0	17,0
2Btssb	21-56	g,p	10YR 4/3	10YR 3/3	pr, me, moderados	37,8	51,4	10,8	0,0	aL	6,8	1,2	0,0	32,9	19,8
2Btkssb	56-83	g,p	7,5YR 4/4	7,5YR 3/4	b.ang, me, mod	47,8	44,2	8,0	2,1	aL	8,0	0,5	2,1	49,7	26,6
2BCKb	83-94	n,o	7,5YR 5/4	7,5YR4,5/4	b.ang, f, mod	45,3	46,3	8,4	2,4	aL	7,8	0,4	2,4	42,9	23,4
3CKmb	94-100	n,o	7,5YR 7/3	7,5YR 6/4	masivo	-	-	-	-	-	-	-	60,0	-	
3R	100+		7,5YR 8/2	7,5YR 6/2	ex. duro**	-	-	-	-	-	-	-	82,0	-	
Pedón 13. Hapludert típico. Vertisol Lúvico (Calcárico). Ubicación: Interfluvio. 35° 03' 39" S, 57° 36' 01" O. Partido de Magdalena															
A	0-10	c,p	10YR 5/2	10YR 2/2	b.sub, me, mod	31,5	55,8	12,7	0,0	FaL	7,0	2,5	0,0	-	-
2Btkssb1	10-30	c,p	7,5YR 4/2	7,5YR3,5/2	b.ang, f, mod	52,7	40,1	7,2	0,0	a	7,9	0,6	2,9	-	-
2Btkssb2	30-77	g,p	7,5YR 5/4	7,5YR 4/4	b.ang, me, mod	52,5	40,5	7,0	0,0	a	7,9	0,2	2,4	-	-
2BCKb	77-102	n,o	7,5YR 6/4	7,5YR 5/4	b.ang, me, mod	46,7	45,1	8,2	0,0	aL	7,7	0,1	2,6	-	-
3CK/2CBKb	102-130	n,o	7,5YR 8/2	7,5YR 7/2	masivo	-	-	-	-	-	8,0	0,1	73,1	39,9	25,9
3CKmb	130-150	n,o	10YR 8/1	10YR 8/2	masivo	-	-	-	-	-	-	-	74,3	-	
3R	150-200+		-	-	ex. duro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pedón 14. Argiudol vértico. Phaeozem Vértico Lúvico. Ubicación: Interfluvio. 35° 03' 43" S, 57° 35' 02" O. Partido de Magdalena															
A	0-26	n,p	10YR4,5/2	10YR 2/2	b.sub, me, mod	22,5	62,6	14,9	0,0	FL	6,8	1,7	0,0	30,1	12,4
2Btssb	26-65	g,p	7,5YR 5/5	7,5YR 4/5	b.ang, me, fuertes	55,5	35,7	8,8	0,0	a	6,8	0,6	0,0	47,2	27,2
2Btkb	65-110	n,p	7,5YR 7/4	7,5YR 5/4	pr, me, fuertes	42,1	47,8	10,1	0,0	a	7,4	0,2	2,1	38,8	21,5
2BCKb	110-140	g,p	7,5YR 8/4	7,5YR 5/4	masivo	28,2	59,7	12,1	0,0	FaL	7,9	0,3	7,8	30,9	17,6
2CKb	140-210	n,p	7,5YR 8/4	7,5YR 5/4	masivo	27,2	57,7	15,1	0,0	FaL	7,5	0,1	6,5	27,8	15,6
3R	210+		-	-	ex. duro	-	-	-	-	-	-	-	84,0	-	
Pedón 15. Argiudol calcálico. Phaeozem Calcálico Lúvico (Abrúptico). Ubicación: Loma alargada. 35° 31' 43" S, 57° 18' 30" O. Partido de Punta Indio															
A	0-25	c,p	10YR 3/2	10YR 2/2	b.sub, me, fuertes	36,4	54,5	9,1	0,0	FaL	6,1	3,5	0,5	48,0	31,5
2Btb	25-43	g,p	10YR 3/2	10YR 2/2	b.ang	57,7	35,4	6,9	0,0	a	5,7	1,7	0,5	-	-
2BCKb	43-60	n,p	7,5YR6,5/4	7,5YR 4/4	b.ang	44,9	47,0	8,1	0,0	aL	6,7	0,2	16,4	-	-
3R	60+		-	-	ex. duro	-	-	-	-	-	-	-	82,0	-	

Referencias: Límite: n: neto; c: claro; g: gradual; p: plano; i: irregular; q: quebrado. Clase textural: a: arcillosa; f: franca; L: limosa; A: arenosa; grav: gravosa; m: muy; ex: extremadamente. Estructura: pr: prismas; gr: granular; b: ang: bloques angulares; b.sub: bloques subangulares; f: finos; me: medios; mod: moderados. Parámetros hidricos: CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente. * Parcialmente cementado. ** Cementado

más al sur de la Llanura Costera Ajo (8 a 11) son los que tienen menor capacidad de retención de agua, expresada como agua útil (capacidad de campo - punto de marchitez permanente), oscilando principalmente entre 2 y 4% (Tabla 1). Esta propiedad se relacionaría con la mayor selección granulométrica y los valores de media como se muestra en la Fig. 4.

Algunos suelos (pedones 6 y 7) que se encuentran en la zona norte de la LCA en transición hacia la LCRP se asemejan a los de esta última zona, especialmente el pedón 7. En el pedón 6 los valores de 30 % de CaCO_3 en los horizontes superiores, proviene principalmente a la fracción bioclástica, con escasa cantidad de plasma calcítico. Cuando hay horizontes enterrados como en este caso (2Btkb) carecen de bioclastos y el tenor de CaCO_3 (5 %), junto con los seudomicelios, indicarían enriquecimiento secundario por iluviación. La fuente de carbonato de calcio podría ser tanto la propia del depósito, como de los sedimentos suprayacentes. La presencia de oquedades de disolución en los bioclastos del suelo actual asegura su aporte como fuente del CaCO_3 . La presencia del horizonte 2Btkb sepultado se explicaría porque el perfil se encuentra en las cercanías de Punta Piedras, donde la llanura costera queda reducida a una franja muy angosta (de aproximadamente 500 m de ancho) y la llanura alta se encuentra muy cerca de los cordones conchiles, encontrándose el sustrato de sedimentos loésicos a menor profundidad y cubiertos por el manto arenoso.

Suelos de la Llanura Alta (Tabla 1 y Fig. 2c, d, e, f, g). Se desarrollan principalmente en sedimentos loésicos, los que no poseen carbonato de calcio litogénico bioclástico, a diferencia de los suelos anteriores. El depósito loésico en los pedones estudiados, donde se desarrolla el solum, yace en discordancia sobre depósitos carbonáticos pleistocenos de la Formación Pascua y posee espesores variables entre 0,60 y 1,10 m, aunque en algunas localidades (Magdalena y Berazategui) la coquina está aflorante o a menor profundidad. La coquina a veces se encuentra modificada por diagénesis superficial constituyendo horizontes petrocálcicos (Imbellone *et al.*, 2012), también denominados calcretas pedogenéticas (Goudie, 1983). Horizontes petrocálcicos de otros orígenes son mencionados

y estudiados en suelos actuales y antiguos de distintas regiones de la Argentina, en zonas áridas (Del Valle & Beltramone, 1987), semiáridas (Amiotti *et al.*, 2001; Buschiazzo, 1988, 1990) y subhúmedas (Pazos, 1990; Schiavo *et al.*, 2010). Independientemente de su origen, los depósitos calcáreos cementados se denominan “tosca” en la Argentina.

Los suelos estudiados tienen moderado desarrollo con secuencia de horizontes A-B-C. Poseen horizontes A con espesores entre 10 y 26 cm, con elevados tenores de carbono orgánico (3-4 %) que disminuye marcadamente en profundidad. La intensidad es mayor (entre 1 y 2 unidades) que en los suelos holocenos, particularmente en los horizontes B; sin embargo, decrece donde hay segregaciones carbonáticas pedogénicas, (ejemplo: pedón 13, Tabla 1). El color en seco de horizontes petrocálcicos es generalmente 7,5YR 7/3 en su techo, aunque incluye bandas más grises (10YR 6/1) o más rojizas (5YR 7/4). Los horizontes B poseen marcado desarrollo estructural (grado de estructura moderado y fuerte), considerando esta propiedad como indicador de desarrollo pedogenético. En la mayoría se observan barnices de tensión y escasos de iluviación. Se observan en forma saltuaria horizontes cementados (2Ckmb) (pedones 12 y 13).

El contenido de carbonato de calcio muestra una distribución semejante en todos los suelos de la Llanura Alta (pedones 12 a 15). Los horizontes desarrollados en sedimentos loésicos poseen nulo o escaso contenido de carbonato de calcio (<10 %); en cambio es elevado (entre 60 y 80 %) en la base del solum, los horizontes petrocálcicos y la coquina. Algunos pedones (13 y 15) poseen horizontes cálcicos. Los parámetros hídricos indican elevada capacidad de retención de agua, especialmente en los horizontes B, donde la capacidad de campo varía entre 33 y 50 % y el agua útil entre 13 y 23 %.

Clasificación de los suelos

Los suelos estudiados se incluyen en tres Ordenes de Taxonomía de Suelos: *Molisoles*, *Entisoles* y *Vertisoles* y en tres Grupos de Suelos de Referencia de WRB: *Phaeozems*, *Arenosoles* y *Vertisoles*. En el área de estudio las clasificaciones reflejan, a través de sus horizontes y propiedades de diagnóstico, principalmente las relaciones entre materiales

originarios y grado de desarrollo. Menor influencia tiene el relieve y las geofformas, encontrándose así Entisoles (Arenosoles) en mantos arenosos y cordones conchiles de la LCA y Molisoles (Phaeozems) en cordones conchiles y dunas de la LCRP, como así también, junto con Vertisoles, en lomadas loésicas de la Llanura Alta.

La mayoría de los suelos corresponden a Molisoles (Phaeozems), lo cual refleja que el proceso de melanización ha actuado con intensidad suficiente como para producir un horizonte *mólico*. Este horizonte está bien manifestado en los cordones conchiles de la LCRP y en la LA donde la vegetación ha provisto restos orgánicos en abundancia, a lo que se suma en el caso de los cordones la acción estabilizante del humus producida por el calcio. Se identificaron dos subórdenes: *Rendoles* y *Udoles*. Los primeros, que incluyen en la región el Gran Grupo *Haprendoles*, corresponden a suelos con ≥ 40 % de CaCO_3 equivalente en el horizonte A o inmediatamente por debajo, pero no contienen acumulaciones de CaCO_3 pedogénico suficiente para formar un horizonte de diagnóstico *cálcico*. En este caso, los suelos se han clasificado a nivel de Gran Grupo como *Calciudoles*.

Dada la naturaleza carbonática de los materiales originarios es interesante mencionar la definición taxonómica del horizonte de diagnóstico *cálcico* aplicada a los suelos calcáreos de la zona. Según Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1999), el horizonte cálcico es un horizonte iluvial de ≥ 15 cm de espesor, con ≥ 15 % de CaCO_3 equivalente y ≥ 5 % que el horizonte subyacente. Cuando esta última condición no se cumple porque el CaCO_3 aumenta en profundidad por la presencia de carbonato litogénico, como en la mayoría de los suelos estudiados, un horizonte se define como cálcico cuando, además de los dos primeros requisitos, tiene ≥ 5 % (en volumen) de carbonatos secundarios. Si el horizonte cálcico está cementado y/o endurecido con carbonatos secundarios se define como horizonte *petrocálcico*, cuando las raíces sólo pueden penetrar por fracturas separadas por 10 cm o más y el espesor debe ser ≥ 10 cm o bien 1 cm o más si consiste en un revestimiento laminar (*laminar cap*) sobre roca calcárea (Soil Survey Staff, 1999). El sistema WRB incluye, además de los anteriores, otros requerimientos complementarios para el horizonte petrocálcico, a saber: 1) efervescencia

muy fuerte al aplicar solución 1 M de HCl; 2) los fragmentos del horizonte no deben desleírse en agua y 3) consistencia extremadamente dura en seco que impide de su penetración mediante pala o barreno. TS señala que los horizontes petrocálcicos se encuentran principalmente en suelos más antiguos que el Holoceno y constituyen una evidencia de evolución edáfica avanzada. El término “petrocálcico” no se ha utilizado en la denominación de los suelos por no alcanzar el espesor mínimo (pedón 12) o porque el Orden en que se encuentra (Vertisol, pedón 13) no lo contempla.

Dentro de los Udoles estudiados también se han reconocido *Argiudoles* en suelos con horizonte *argílico*. Estos suelos, de mayor evolución, sólo se han reconocido en la LA y tienen en común la presencia de roca dura (coquina) a distintas profundidades, pero siempre por debajo de los 50 cm, por lo que no se definen dentro del subgrupo *lítico*. Se definen los Subgrupos *Argiudoles vérticos* cuando los horizontes superficiales tienen menos de 30 % de arcilla y los horizontes B poseen rasgos vérticos, como los pedones 12 y 14. En algunas lomas se han encontrado suelos con horizontes Bt de menor espesor y sin rasgos vérticos que se clasificaron como *Argiudoles cálcicos* por poseer un horizonte cálcico (pedón 15). Se reconocieron Udoles en dunas de la LCA que, por su escaso desarrollo (secuencia A-AC-C) se clasificaron a nivel de Gran Grupo como *Hapludoles* y a nivel de Subgrupo como *Hapludoles tpto-árgicos* por tener un horizonte argílico enterrado.

El orden *Vertisol* corresponde a suelos que poseen rasgos vérticos y ≥ 30 % de arcilla desde la superficie hasta los 50 cm. Dos suelos reúnen estas condiciones: el pedón 13 similar a los Argiudoles vérticos, pero con mayores contenidos de arcilla en el horizonte A, clasificado como *Hapludert típico* y el pedón 4 situado en un cordón conchil, donde el material calcáreo fue recubierto por arcillas estuáricas con características expansivas, clasificado como *Epiacuert éntico*.

El orden *Entisol*, que agrupa a suelos con muy escaso desarrollo, se lo identificó en la LCA, donde predominan materiales arenosos. En estos suelos el epipedón es *ócrico*, por ausencia de estructura (grano suelto) y/o por el contenido de materia orgánica menor al 1 %. A nivel de Suborden se clasificaron como *Psamentes* por los elevados tenores de arena

(clase textural areno franca o más gruesa) y a nivel de Subgrupo como *Udipsamentes típicos*.

El sistema WRB tiene más flexibilidad que TS para indicar la presencia de calcáreo en sus distintas formas; por ejemplo, el calificador *cálcico* es aplicable a suelos que tienen *horizonte cálcico* o bien sólo *concentraciones de carbonatos secundarios*, sin precisar contenidos mínimos. Así, en el pedón 12 la presencia de carbonato pedogénico quedó indicada al clasificarlo como *Phaeozem Endoléptico Vértico Cálcico Lúvico*, característica que no se reflejó a nivel de Subgrupo en la clasificación según TS (*Argiudol vértico*) porque el carbonato no alcanzó el contenido mínimo exigido. Asimismo, la presencia de carbonato litogénico en escasa cantidad puede ser indicada mediante el calificador *calcárico*, aplicable a suelos que tienen *material calcárico* entre los 20 y 50 cm de profundidad (o una roca continua o capa cementada si es más somera). Se define a *material calcárico* como aquel que contiene ≥ 2 % de CaCO_3 equivalente. Así, en los pedones 4, 6, 10, 11 y 13 la presencia de calcáreo quedó reflejada en el sistema WRB como un calificador grupo II (*suffix qualifier*), pero no en TS a nivel de Subgrupo (Tabla 1). Además, el sistema WRB permitió reflejar en algunos suelos de cordones conchiles la doble participación de carbonato pedogénico y litogénico. Ello se indicó en los pedones 2 y 5 clasificados como *Phaeozems Réndzicos Cálcicos* en los que el calificador *réndzico* hace referencia a carbonato litogénico, como se indicó al describir a los *Haprendoles* según el sistema TS, mientras que el calificador *cálcico* indica la presencia de carbonato pedogénico. Según TS, esos pedones se clasificaron como *Calciudoles* ya que los *Haprendoles* no pueden tener horizonte cálcico.

El material originario de los suelos

La composición granulométrica y mineralógica del material originario de los suelos son propiedades que cambian muy lentamente, y sólo en aquellos muy evolucionados se modifican por pedogénesis (Buol *et al.*, 1989); de lo contrario, dichas propiedades reflejan las condiciones originales de los sedimentos, como ocurre en la mayoría de los suelos estudiados.

Los suelos formados en sedimentos holocenos de

las llanuras costeras poseen materiales originarios relacionados con la Formación Las Escobas, ya sea como materiales siliciclásticos (capas arenosas) o bioclásticos (capas conchiles) casi puros o como una mezcla de los mismos con materiales terrígenos de la Formación La Postrera. En cambio, los suelos formados en sedimentos más antiguos -pleistocenos- se desarrollan en materiales loésicos a los que subyace la coquina de la Formación Pascua.

Granulometría. Los suelos actuales de las llanuras costeras tienen escaso desarrollo de horizontes, algunos con evolución calcárea marcada. La granulometría de los suelos estudiados suele reflejar el ambiente de sedimentación donde se depositaron los materiales originarios ya que los procesos pedológicos no enmascaran totalmente las características sedimentarias; en los ambientes eólico-litorales poseen componentes bioclásticos y siliciclásticos, con marcada presencia de fracciones gruesas (fragmentos de valvas y rodados de calcretas, desde arena media hasta guiija: 0,5-16 mm); en cambio, en los suelos del ambiente continental predominan las fracciones finas.

Todos son suelos estratificados con varias discontinuidades litológicas; por lo tanto, la granulometría de los horizontes en cada uno de ellos es variable según la característica del depósito; también la distribución en profundidad de los tenores de cada subfracción es muy variable en los suelos de las llanuras costeras, a diferencia de aquellos de la Llanura Alta donde las diferencias granulométricas son mínimas. (Tabla 2 y Fig. 3). Los depósitos conchiles de la Formación Las Escobas pueden ser texturalmente homogéneos como en el horizonte 2Ck del pedón 2 o heterogéneos con valvas de distintos tamaños como en los horizontes 2C1 y 2C2 del pedón 7, con intercalaciones franco limosas como el horizonte 3Cg del pedón 5 (Fig. 3). Estos depósitos pueden estar totalmente sueltos o poseer algún grado de cementación como en los pedones 2, 3 y 5, aunque en el último caso es posible separar las valvas con la mano.

En la LCRP (Tabla 2 y Fig 3) (pedones 1 a 5) es frecuente la alternancia de capas de distinta naturaleza composicional, donde la granulometría es variable y a veces marcadamente distinta entre los horizontes de un mismo pedón. Algunos horizontes están casi totalmente formados por valvas

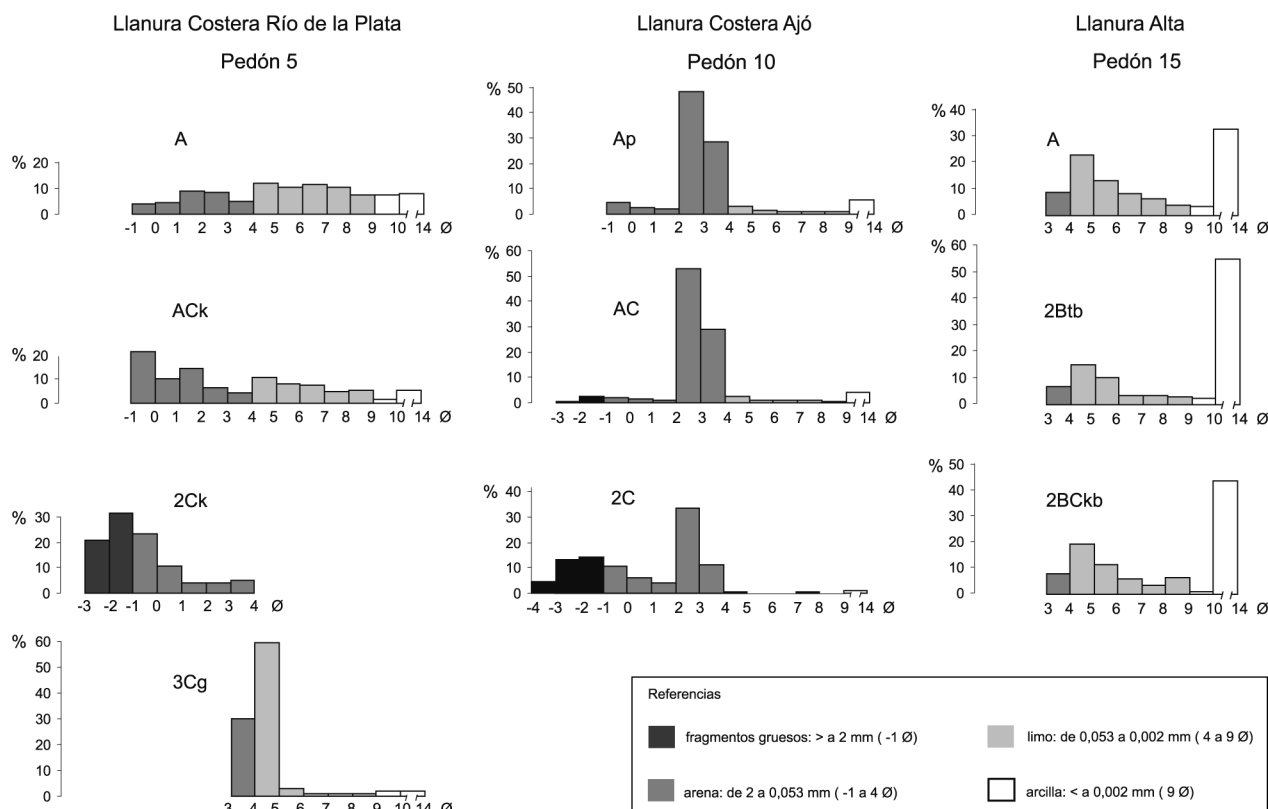


Figura 3. Histogramas de frecuencia granulométrica. Llanura Costera Río de la Plata. Pedón 5, Calciudol típico: A, ACK, 2Ck, 3Cg, 4Ck. Llanura Costera Ajó. Pedón 10, Udipsament típico: Ap, AC, 2C. Llanura Alta. Pedón 15, Argiudol cálcico: A, 2Btb, 2BCKb, 3R.

Figure 3. Histograms showing grain-size distribution. Río de la Plata Coastal Plain. Pedon 5, Typic Calciudoll: A, ACK, 2Ck, 3Cg, 4Ck. Ajó Coastal Plain. Pedon 10, Typic Udipsament : Ap, AC, 2C. High Plain. Pedon 15, Calcic Argiudoll: A, 2Btb, 2BCKb, 3R.

de moluscos casi enteras o con distinto grado de fragmentación (pedón 3, horizonte 2C; pedón 4, horizonte 4C y pedón 5, horizonte 2Ck), con alto predominio (40 a 50 %) de fracciones mayores a 2 mm. Otros poseen material siliciclástico casi puro (pedón 2, horizontes 3Cg y 4Ck; pedón 4, horizontes A, Bssk, 2BCKg, 3Cg y pedón 5, horizonte 3Cg). Las poblaciones se distribuyen en algunos casos en los intervalos de mayor tamaño, como en el caso del horizonte 2Ck de los pedones 2 y 5, donde todo el material tiene dimensiones mayores a arena muy fina (125-62 μm) con abundantes fragmentos gruesos constituidos principalmente por bioclastos. En otros casos, más de la mitad del material está concentrado en intervalos entre arena muy fina y limo grueso (125-31 μm) como en los pedones 2 (horizontes 3Cg y 4Ck) y 5 (horizonte 3Cg) (Tabla 2 y Fig. 3).

En la LCA (pedones 6 a 11), algunos suelos tienen características granulométricas semejantes

a las descritas precedentemente, como aquellos ubicados en la transición con la LCRP, aunque tienen una tendencia general a poseer sedimentos más gruesos, con moda en 250 a 125 μm (arena fina), como en el pedón 6, desarrollado en una duna y el pedón 7, desarrollado en un cordón conchil, con abundantes bioclastos en fracciones mayores a 500 μm . En cambio, los pedones 8, 9, 10 y 11 ubicados en la LCA propiamente dicha tienen distribución granulométrica menos variable, aunque a veces tienen discontinuidades litológicas. Los dos primeros se desarrollan en mantos arenosos y los segundos en cordones de conchilla, sugiriendo que la geoforma tiene influencia relativa. Todos presentan los sedimentos distribuidos principalmente en subfracciones mayores a 125-62 μm (arena muy fina), y alta concentración en pocos intervalos entre 62 y 250 μm (arena muy fina y arena fina), con moda principal entre 250 a 125 μm (arena fina) en todos los horizontes y con otra moda secundaria en los

Tabla 2. Distribución granulométrica de los suelos y parámetros sedimentológicos estadísticos.
Table 2. Grain-size distribution of soils and statistical sedimentological parameters.

µm ø	> 2000 > -1	2000-1000 -1 - 0	1000-500 0 - 1	500-250 1 - 2	250-125 2 - 3	125-62 3 - 4	62-31 4 - 5	31-16 5 - 6	16-8 6 - 7	8-4 7 - 8	4-2 8 - 9	2-1 9 - 10	< 1 < 10	Parámetros estadísticos		
														Mz	Desv.	Curt. Asim.
Llanura Costera Río de la Plata																
Pedón 1. Haprendol típico																
A	14,6	18,2	18,7	8,7	17,7	5,5	1,9	1,6	2,1	1,6	5,9	3,7 *	1,40	2,85	0,93	0,40
2C	21,9	13,8	12,1	5,7	25,5	5,1	1,3	1,8	2,5	2,2	3,9	4,4 *	1,37	3,08	0,74	0,11
3Cg	4,2	4,0	5,2	2,9	22,4	18,2	6,4	7,0	13,6	7,8	7,5	0,7 *	4,16	2,61	0,80	0,23
4C	14,0	9,3	7,9	2,7	38,8	20,9	1,3	0,8	1,8	1,1	1,1	0,4 *	1,68	2,04	0,46	-0,49
Pedón 2. Calcudol típico																
A	0,0	16,1	5,1	14,4	25,6	7,0	9,7	7,2	2,6	2,8	1,1	1,9	6,6	3,23	1,38	0,31
2Ck	57,1	12,9	12,0	12,0	5,0	1,2	tz	tz	tz	tz	tz	tz	tz	1,56	0,84	0,38
3Cg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	35,0	33,0	9,2	4,4	2,7	1,3	2,3	11,3	2,48	2,3	0,71
4Ck	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	19,3	32,0	14,6	7,0	6,7	3,2	7,0	9,8	2,59	1,2	0,67
Pedón 3. Calcudol típico																
A	0,0	4,5	4,8	4,8	43,5	5,7	12,1	4,5	3,3	3,2	3,5	10,2 *	4,10	2,82	1,51	0,64
2C	42,60	21,1	8,2	7,3	12,0	1,6	0,6	1,2	1,7	0,7	1,2	1,7 *	-0,17	2,56	0,34	0,44
Pedón 4. Epiacuert éntico																
A	0,0	0,0	0,0	0,1	3,8	9,3	16,4	10,3	9,5	10,6	4,5	4,7	30,8	3,46	1,14	0,28
Bssk	0,0	0,0	0,1	0,2	2,8	7,9	13,6	4,1	6,8	5,7	1,8	6,8	50,2	3,60	1,04	-0,32
2BCkg	0,0	1,1	0,1	2,1	7,9	30,7	18,5	4,8	3,5	3,4	0,9	3,4	23,6	3,65	1,06	0,65
3Cg	2,8	0,9	0,0	1,2	23,1	37,1	12,4	2,9	1,9	1,9	0,8	1,4	13,7	3,08	3,23	0,70
4C	39,3	13,0	0,7	4,5	7,8	12,8	9,3	1,6	0,5	1,0	0,6	0,4	8,5	3,71	0,57	0,49
5Cg	4,8	2,1	1,5	1,3	46,3	35,8	4,2	0,2	0,8	0,3	0,7	0,7	1,4	1,20	1,73	-0,09
Pedón 5. Calcudol típico																
A	0,0	4,2	4,5	9,3	8,8	5,2	12,0	10,5	11,5	10,6	7,7	7,8	8,1	3,36	0,83	-0,05
ACK	0,0	21,4	10,1	14,7	6,3	4,4	10,9	7,8	7,5	4,8	5,5	1,5	5,1	3,35	0,74	0,36
2Ck	52,7	23,5	10,5	4,1	4,0	5,14	tz	tz	tz	tz	tz	tz	tz	1,52	1,12	0,32
3Cg	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	30,1	59,7	3,3	1,0	0,9	1,0	1,8	2,1	0,78	3,55	0,47
Llanura Costera Ajó																
Pedón 6. Hapludol taptó-árgico																
A	0,0	2,5	7,3	13,8	21,7	13,7	7,8	6,0	3,0	3,7	1,6	1,8	17,0	4,48	1,14	0,62
AC	0,0	0,0	16,1	20,3	32,5	16,5	3,0	1,3	1,3	1,7	0,3	1,0	6,1	2,26	2,24	0,34
C	0,0	0,0	12,1	22,7	49,3	11,4	0,9	0,1	0,7	0,4	0,1	0,2	2,0	0,98	1,3	-0,07
2Btkb	0,0	0,0	0,2	0,2	2,2	6,9	17,4	10,4	6,3	7,6	4,4	5,4	39,1	3,42	0,58	0,07
Pedón 7. Haprendol típico																
A	0,0	39,8	18,9	11,7	5,4	4,8	3,1	2,5	2,7	1,7	1,7	1,9	6,0	3,06	1,35	0,73
2C1	91,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	tz	tz	tz	tz	tz	tz	tz	1,01	1,44	0,78
2C2	59,0	18,0	6,0	2,0	8,0	7,0	tz	tz	tz	tz	tz	tz	tz	2,18	1,19	0,29

Pedón 8. Udipsament típico																	
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	58,5	36,6	0,9	0,0	0,6	0,4	0,1	2,5*	2,94	0,41	1,27	0,22
C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	60,1	37,0	0,6	0,1	0,1	0,3	0,0	1,6*	2,93	0,36	1,02	0,40
Pedón 9. Udipsament típico																	
A	0,0	0,0	0,0	1,6	0,1	52,5	41,9	1,6	0,0	0,5	0,3	0,1	3,0*	3,03	0,45	1,15	0,32
C1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,3	62,0	34,5	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1	1,7*	2,90	0,40	1,04	0,24
C2	0,7	2,1	1,3	0,5	0,7	57,6	35,9	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,9*	2,82	0,47	0,91	0,04
Pedón 10. Udipsament típico																	
Ap	0,3	4,8	2,7	3,2	2,1	48,3	28,4	3,2	1,5	1,1	1,1	1,0	5,6*	3,00	1,88	4,51	0,31
AC	3,1	2,2	1,3	2,7	1,1	52,8	29,1	2,7	1,3	0,9	1,0	0,6	4,1*	2,90	1,48	3,89	0,23
2C	31,8	10,9	5,9	0,6	4,1	33,6	11,2	0,6	0,2	0,3	0,4	0,1	0,9*	0,83	2,22	0,63	-0,48
Pedón 11. Udipsament típico																	
Ap	0,0	0,0	0,1	1,6	0,3	49,6	38,7	1,6	1,4	2,0	0,0	0,0	6,2*	3,07	1,38	4,73	0,53
AC	0,7	0,1	0,0	2,0	0,3	57,4	30,5	2,0	1,5	1,0	1,1	0,0	5,5*	3,05	1,33	3,77	0,61
2Cg	0,4	0,7	0,6	1,4	0,8	61,8	29,4	1,4	0,7	0,6	0,7	0,2	2,8*	2,87	0,65	1,60	0,35
Llanura Alta																	
Pedón 12. Argiudol vértico																	
A	0,0	0,1	1,3	25,3	1,5	4,9	5,9	25,3	13,8	9,5	7,4	5,8	4,2	20,2	3,27	1,41	0,46
2Btssb	0,0	0,0	0,7	22,4	1,0	3,3	5,7	22,4	13,4	6,2	4,5	4,9	2,2	35,6	3,59	1,05	0,37
2Btkssb	0,0	0,0	0,3	20,8	0,6	2,0	5,1	20,8	10,1	7,0	4,4	2,0	3,3	44,5	3,56	1,02	0,12
2Bckb	0,0	0,0	0,5	19,2	0,7	2,4	4,8	19,2	13,5	7,0	2,1	4,6	4,5	40,8	3,53	1,06	0,22
Pedón 13. Hapludert típico																	
A	0,0	0,1	0,7	22,8	1,7	4,9	5,3	22,8	16,2	8,2	4,5	4,1	3,2	28,3	3,58	1,07	0,42
2Btkssb1	0,0	0,0	0,4	15,1	0,9	2,7	3,3	15,1	11,1	7,4	4,6	1,9	2,7	50,0	3,63	1,03	-0,30
Btkssb2	0,0	0,0	0,4	16,3	0,8	2,6	3,3	16,3	10,9	2,9	8,3	2,1	5,8	46,7	3,55	1,04	-0,22
2Bckb	0,0	0,0	0,4	18,0	0,9	3,1	3,9	18,0	11,5	8,1	3,3	4,2	4,1	42,6	3,59	1,01	0,02
Pedón 14. Argiudol vértico																	
A	0,0	0,0	0,5	24,0	2,3	6,3	5,9	24,0	16,6	10,5	7,1	4,2	3,2	19,3	3,35	1,52	0,33
2Btssb	0,0	0,0	0,6	14,2	1,1	3,7	3,6	14,2	9,4	4,9	3,9	3,3	3,3	52,2	3,72	0,99	-0,55
2Btkb	0,0	0,0	0,3	19,2	1,5	4,3	3,9	19,2	10,3	7,0	6,5	4,8	3,8	38,3	3,66	1,02	0,16
2Bckb	0,0	0,0	0,7	19,5	1,3	4,5	5,9	19,5	13,7	9,6	10,6	6,1	6,1	22,1	3,32	1,32	0,29
2Ckb	0,0	0,0	0,9	21,3	2,1	6,9	5,3	21,3	13,1	10,4	6,4	6,5	6,0	21,2	3,42	1,28	0,34
Pedón 15. Argiudol cálcico																	
A	0,0	0,0	0,1	23,0	0,1	0,2	8,8	23,0	13,4	8,1	6,3	3,7	3,4	33,0	3,34	1,09	0,48
2Btb	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	0,1	6,8	15,2	10,4	3,2	3,7	2,9	2,5	55,2	3,66	1,08	-0,55
2Bckb	0,0	0,0	0,0	19,3	0,1	0,2	7,8	19,3	11,5	5,9	3,7	6,6	1,0	43,9	3,52	1,08	0,27

Referencias: Parámetros estadísticos: Mz: Media gráfica, Desv.: Desviación estándar gráfica, Curt.: Curtosis gráfica, Asim.: Asimetría gráfica.

* Incluye la fracción <1 µm. tz: trazas.

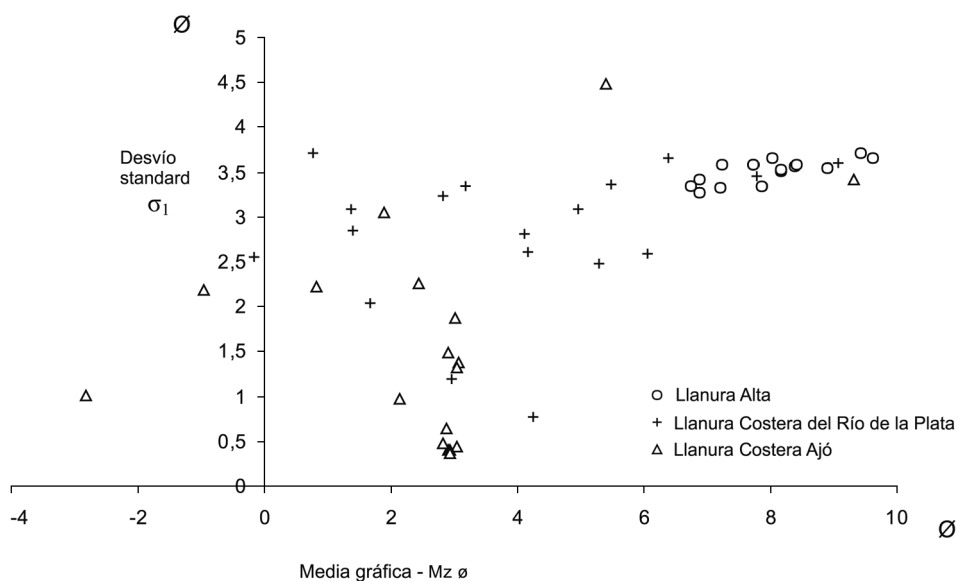


Figura 4. Relación entre la media (Mz) y la desviación estándar (σ), donde se observan separadas las poblaciones que corresponden a los suelos de la Llanura Costera Ajó y la Llanura Alta, y con mayor variabilidad las correspondientes a la Llanura Costera Río de la Plata.

Figure 4. Relationship between mean (Mz) and standard deviation (σ). Populations corresponding to soils of the Ajo Coastal Plain and the High Plain are differentiated; a higher variability in the Río de la Plata Coastal Plain is observed.

fragmentos gruesos cuando hay aporte bioclástico marcado (pedón 10, horizontes AC y 2C; Fig. 3). La fracción arcilla es minoritaria, con tenores menores al 6 %.

Distinta es la distribución granulométrica de los suelos desarrollados en la Llanura Alta (Imbellone *et al.*, 2012). En los suelos estudiados (pedones 12 a 15) la granulometría es más homogénea que en las llanuras costeras, tanto entre los pedones como entre los horizontes de cada uno de ellos. Poseen elevada concentración de arcilla fina menor a $1 \mu\text{m}$ y una moda secundaria en la fracción limo grueso (entre 62 y $31 \mu\text{m}$); la fracción arena es minoritaria y las subfracciones de mayor tamaño (arena gruesa, $1000\text{-}500 \mu\text{m}$ y arena media, $500\text{-}250 \mu\text{m}$) están casi ausentes (Tabla 2, Fig. 3). Estos suelos también presentan discontinuidades litológicas, aunque son difícilmente detectables ya que en sedimentos loésicos las variaciones porcentuales son sutiles. Los horizontes A poseen textura más gruesa que los infrayacentes con mayores contenidos de arena y limo. Este hecho permitiría interpretar que el sedimento original que forma el horizonte A correspondería a un pulso de deposición loésica algo más grueso respecto al pulso anterior, manifestada por diferencias cercanas al 10% en

la fracción limo grueso ($62\text{-}31 \mu\text{m}$) y menores al 2% en la fracción arena muy fina ($62\text{-}125 \mu\text{m}$). La fracción arcilla es abundante, particularmente la arcilla fina, menor a $1 \mu\text{m}$, con algún aporte iluvial en los horizontes B.

Un análisis interesante para caracterizar las propiedades granulométricas de los suelos estudiados es la aplicación de los parámetros sedimentológicos estadísticos, los cuales son raramente aplicados al análisis de los materiales de los suelos pues pueden estar afectados por la pedogénesis. Han sido utilizados por Blanco & Sánchez (1992) y son aplicables a numerosos suelos aquí estudiados constituidos por capas de sedimentos. Además, el tamaño medio de las partículas (media gráfica, Mz) y la selección de las partículas (desviación estándar, σ) tienen estrecha vinculación con parámetros hidrofísicos de los suelos tales como contenido de agua total, capacidad de campo o punto de marchitez permanente, porosidad, permeabilidad etc. En médanos del litoral bonaerense los sedimentos mejor seleccionados son las arenas de playa y dunas (Spalletti & Mazzoni, 1979), donde la media está entre 1 y 3ϕ correspondiendo a arena fina y muy fina y la desviación estándar entre 0,35 y 0,71 ϕ , moderadamente bien seleccionada a muy

bien seleccionada. En cambio, la peor selección se registra en sedimentos loésicos (Kröhling & Orfeo, 2002).

Teóricamente, los materiales con valores más altos de media y menor selección tendrían menor contenido de agua en capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente. Este hecho queda demostrado en los suelos estudiados ya que, en general, los horizontes con valores mayores de media poseen menor contenido hídrico y menor cantidad de agua en el punto de marchitez permanente (Tabla 1). En suelos de la Llanura Alta (pedones 12 a 15), con Mz entre 6,75 y 9,63 ϕ y desviación estándar entre 3,3 y 3,7 ϕ , tienen entre 29 y 48% de agua en capacidad de campo y entre 12 y 23 % de agua útil. Algunos horizontes de las llanuras costeras con valores de Mz de 9,32 ϕ (pedón 6) y 9,07 ϕ (pedón 4) y desviación estándar de 3,42 y 3,60 ϕ tienen 36 y 46 % de agua a capacidad de campo y 15 y 16 % de agua útil, respectivamente. Inversamente, en suelos de la LCA con Mz entre 2,82 y 3,0 ϕ , (pedones 8 y 9) y desviación estándar entre 0,36 y 0,47 ϕ tienen los menores contenidos de agua de todos los suelos estudiados (entre 7 y 4 % en capacidad de campo y entre 2 y 3 % de agua útil). Por lo expuesto, los valores de Mz y σ de los suelos estudiados tienen diferentes tendencias entre los de distintos ambientes de sedimentación: llanuras costeras y Llanura Alta (Fig. 4).

En los suelos desarrollados en la LCRP los valores de Mz son muy variables, desde valores bajos en horizontes ricos en bioclastos (Mz -0,17 ϕ , horizonte 2C, pedón 3) o su mezcla con materiales siliciclásticos (pedones 1, 2, 3, 5), hasta valores muy altos del orden de 9 ϕ en los suelos con horizontes superficiales con altos contenidos de arcilla por influencia de la llanura costera de fango (pedón 4). En la LCA se repite la variación mencionada precedentemente en los pedones 6 y 7, en cambio en los pedones 8, 9, 10 y 11 Mz tiene escasa variación, con valores de 2 a 3 ϕ . Distinto es el caso de los suelos de la LA donde los valores de Mz varían entre 6 y 9 ϕ .

Relacionando los valores de media con los de desviación estándar (Fig. 4), quedan separadas claramente las poblaciones correspondientes a los suelos de la LA y los de la LCA, la primera con desviación estándar de aproximadamente 3 ϕ , muy pobremente seleccionada, y la otra entre

0,5 y 2,5 ϕ (moderadamente bien seleccionadas a muy pobremente seleccionadas). Entre los valores mencionados se encuentran los suelos de la LCRP con mayor variabilidad en ambos parámetros, debido a la ya mencionada heterogeneidad de las capas sedimentarias que constituyen los horizontes de los suelos. Si se analizan las clases texturales (Tabla 1) se arriba a una aproximación semejante ya que se han encontrado las siguientes: en las llanuras costeras predominan las clases gruesas (Arenosa, Areno franca y Franco arenosa), en varios casos con grava; en la LCA todas las clases son gruesas mientras que en la LCRP lo son más de la mitad, siendo el resto clases finas y medias. En cambio, en la LA casi todas las clases son finas (Arcillosa, Arcillo limosa y Franco arcillo limosa).

Mineralogía

En las llanuras costeras los depósitos de playa litorales conchiles de la Formación Las Escobas están constituidos por restos de moluscos (*Macra isabelleana*, *Tagelus plebeius*, *Erodona mactroides*, *Pitaria rostrata*, etc.; (Frenguelli, 1950; Aguirre, 1992), clastos redondeados de calcáreo y una asociación siliciclástica con las características descritas por Spalletti *et al.* (1987). En cambio, los sedimentos continentales de la LA poseen la asociación mineral loésica pampeana. (Imbellone & Teruggi, 1993).

La composición mineralógica de las valvas de moluscos es principalmente aragonítica. No obstante, en casi todos los depósitos presentan evidencias de distintos grados de transformación de aragonita en calcita, aún en aquellas enteras y sueltas, desde las aparentemente no alteradas a las marcadamente alteradas. En la Fig. 5g se muestran marcadas reflexiones de aragonita correspondientes a la composición original de las valvas, en este caso no alteradas, de la Formación Las Escobas. Confirma la alteración de las valvas la presencia de oquedades de disolución en la superficie de las mismas, algunas muy marcadas como en el horizonte 2Ck del pedón 2 (Fig. 8a) y la presencia conjunta de calcita y aragonita (Imbellone & Giménez, 1998). La presencia de calcita aumenta con el grado de cementación local de los depósitos, como indican Imbellone & Giménez (1998) y por nuevas observaciones en este trabajo.

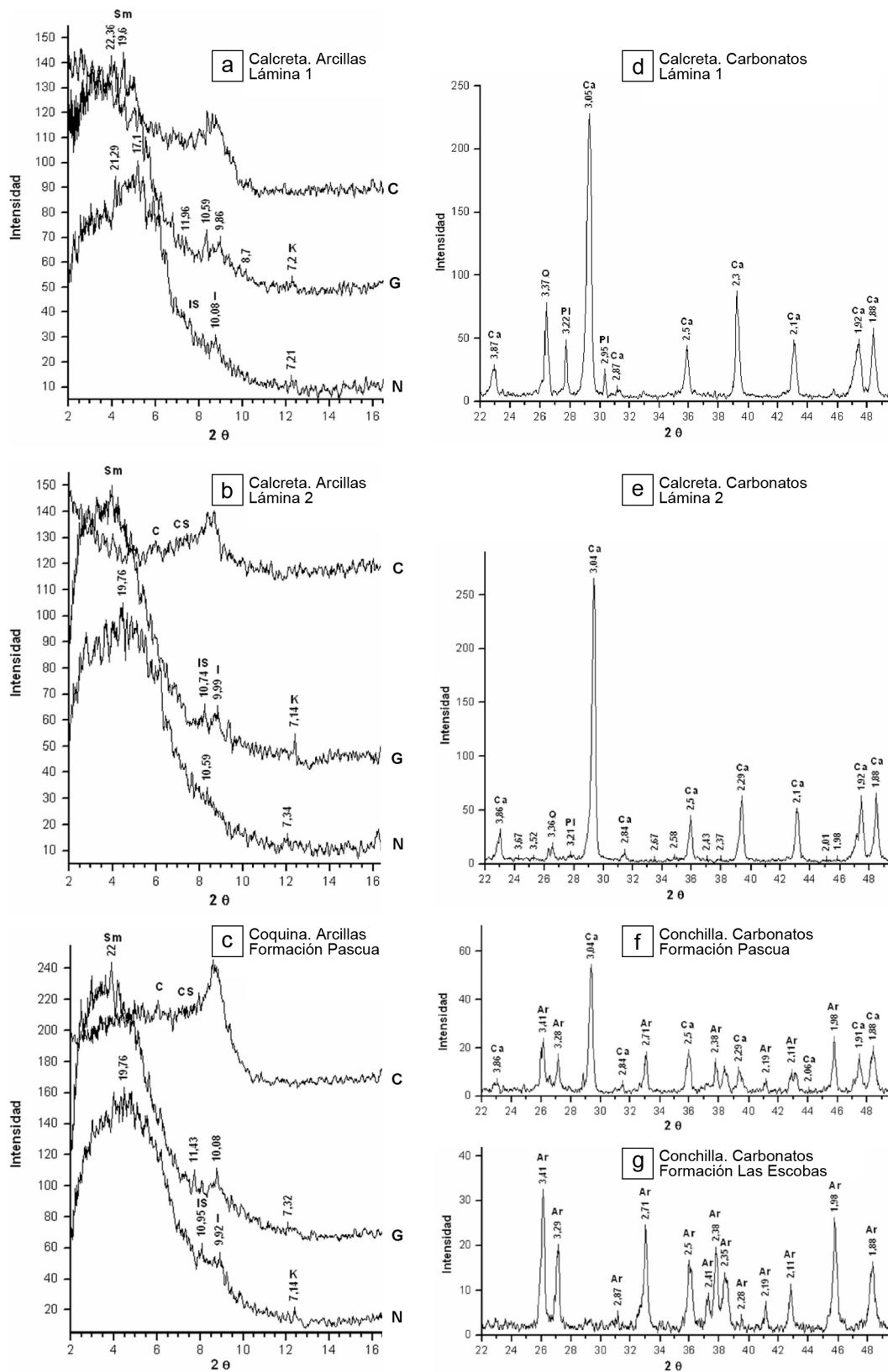


Figura 5. Difractometría de rayos X de la calcreta, coquina y conchilla (pedón 12, Fig. 2f). Arcillas de la calcreta: a) Lámina 1. b) Lámina 2. c) Arcillas de la coquina. Carbonatos de la calcreta: d) lámina 1. e) lámina 2. Carbonatos de la conchilla: f) Formación Pascua. g) Formación Las Escobas.

Figure 5. X-ray diffraction patterns of calcrete, coquina and mollusk shells (pedon 12, Fig. 2f). Calcrete clays: a) Lamina 1. b) Lamina 2. c) Coquina clays. Calcrete carbonates: d) Lamina 1. e) Lamina 2. Shell carbonates: f) Pascua Formation. g) Las Escobas Formation.

En suelos de las llanuras costeras la mineralogía de las arcillas es semejante cualitativamente, pero cuantitativamente variable (Imbellone, 1996) en los pedones 5 y 6. En el primero, formado en un cordón litoral, los horizontes A y ACk presentan un registro poco diferenciado y vestigios de illita y caolinita. En el horizonte 3Cg predominan las esmectitas sobre illita y caolinita. En el pedón 6, desarrollado en una duna, hay contenidos similares entre illita y esmectita, acompañadas por caolinita, tanto en el depósito litoral como en el loésico infrayacente.

En los suelos loésicos de la Llanura Alta (pedones 12 a 15) la composición mineral de la fracción arcilla (pedones 12 y 14) es casi totalmente illítica (entre 80 y 90 %), mostrando reflexiones bien definidas de ese mineral y cantidades subordinadas de minerales expandibles (entre 3 y 10 %) y caolinita (entre 2 y 4 %). En estos suelos hay una tendencia general de disminución de los tenores de illita en profundidad a partir del horizonte A, que se corresponde con una tendencia general de aumento de arcillas expandibles en horizontes enterrados 2Bt. Las diferencias porcentuales entre los horizontes A y los enterrados no es muy marcada pero es una evidencia concurrente junto con la granulometría más gruesa de los horizontes A, de que entre los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos habría una discontinuidad litológica (Vargas Gil *et al.*, 1972; Imbellone *et al.*, 2012), formando sucesiones sedimentarias heterogéneas a la vez que suelos policíclicos. El carbonato mineral pedogénico es exclusivamente calcita.

Las especies arcillosas de la calcreta y de la coquina difieren respecto de las del depósito loésico ya que en las primeras predominan las especies expandibles (Fig. 5a, b, c,) y en el segundo las especies illíticas (Imbellone *et al.*, 2012). La composición de la arcilla de la coquina y de ambas láminas de la calcreta es semejante (Fig. 5a, b, c). En cambio, hay diferencias entre las especies y tenores de los carbonatos. En ambas láminas de la calcreta (Fig. 2f) del pedón 12 (Fig. 2d, e) la composición es calcítica casi pura (Fig. 5d, e) formada por recristalización de aragonita; en cambio, en la coquina hay mezcla de calcita y aragonita (Fig. 5f) a pesar de que la coquina se encuentra alterada y recristalizada. También suele encontrarse calcedonia. En los suelos estudiados no se encuentran arcillas fibrosas como sepiolita

y paligorskita, las que están presentes en regiones áridas de la Argentina (Bouza *et al.*, 2007), mencionadas en el capítulo 8 de este libro.

Micromorfología

Los rasgos micromorfológicos difieren según se trate de suelos de las Llanuras Costeras (Figs. 6a, b, c, d, pedón 5, LCRP; Figs. 6e, f, pedón 7, LCA; Figs. 7a, b, c, pedón 6, LCA) o de la Llanura Alta (Figs. 7d, e, f, pedón 12), debido a que en los primeros las fracciones esqueléticas están constituidas por una asociación biosiliciclástica, y en los segundos por una asociación siliciclástica en la porción loésica.

Los rasgos micromorfológicos sobresalientes en los suelos de las llanuras costeras son el mayor grado de pedalidad en los horizontes A, el espacio poral bien desarrollado, la presencia de bioclastos esqueléticos y de plasma húmico y calcítico. La microestructura de los horizontes se vincula con la abundancia y composición del plasma húmico. La estructura granular está bien expresada cuando el plasma húmico es abundante como en los horizontes A (Fig. 6a) En algunos suelos con evolución calcárea, como en el pedón 5 (Calciudol), el plasma de los horizontes A es oscuro y bien humificado. La microestructura es esponjosa, migajosa y hasta granular con agregados bien diferenciados, a veces rugosos no acomodados entre sí y abundantes poros aislados e intercomunicados. Los agregados están compuestos por pequeños gránulos más o menos soldados entre sí, formados por partículas primarias unidas por plasma húmico (Fig. 6b). Los agregados están separados por vacíos interpedales cortos y poros irregulares de empaquetamiento compuesto y abundantes bioporos. La distribución de los granos esqueléticos es porfirica y cuando el contenido de humus es abundante hay una fábrica plásmica indiferenciada. La extinción es puntual cuando hay abundancia de partículas de limo.

Los bioclastos muestran diferencias en abundancia, tamaño, grado de fragmentación y alteración (Figs. 6 y 7), como también en abundancia relativa con respecto al plasma. Los de mayor tamaño se presentan en los vacíos y a su vez generan elevada macro- y mesoporosidad; a veces están débilmente recubiertos por material plásmico, como en las capas conchiles. Cuando poseen mayor grado de

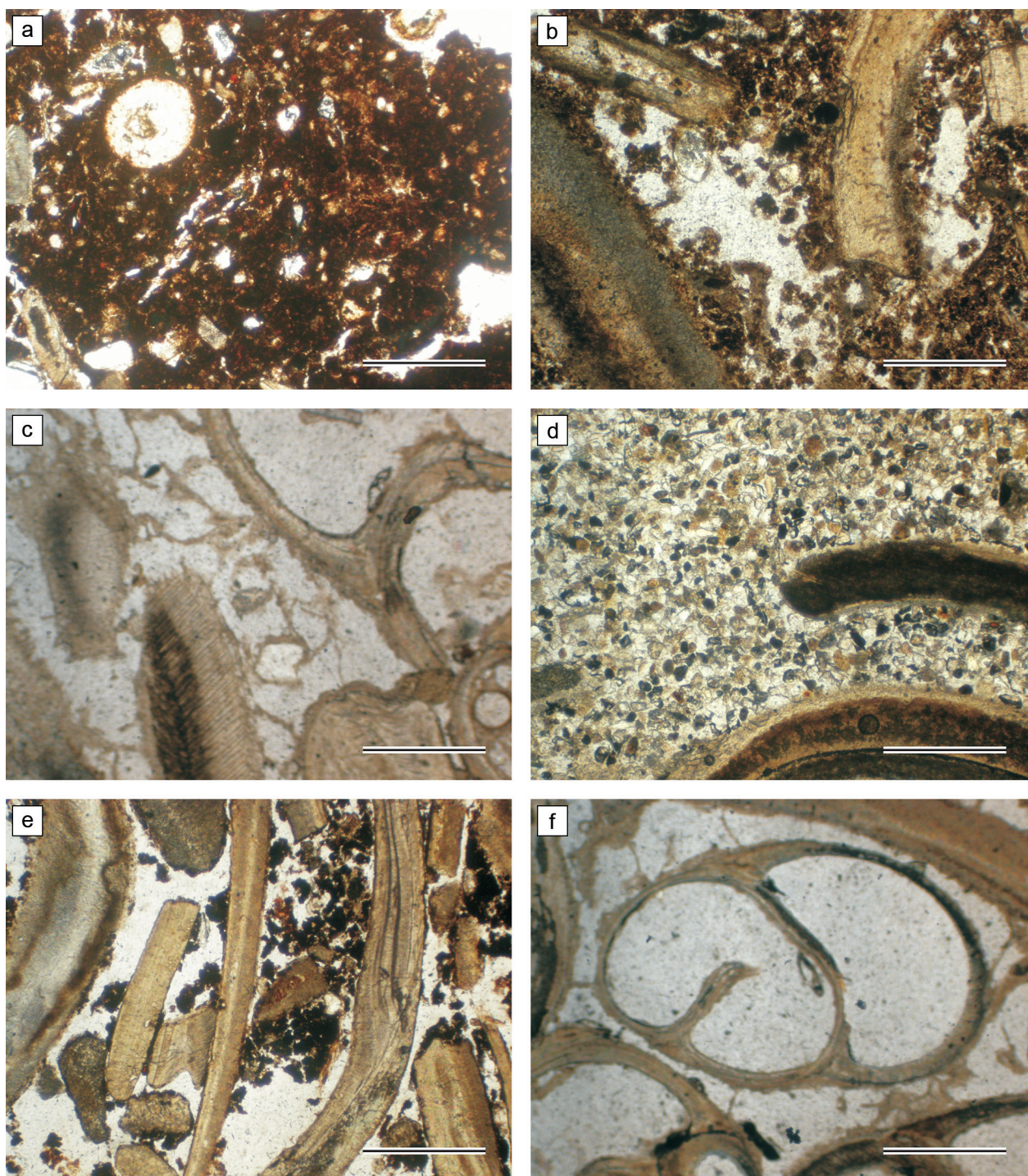


Figura 6. Rasgos micromorfológicos. Microscopía óptica, sin analizador. 1. Llanura Costera Río de la Plata. Pedón 5, Calciudol típico: a) Horizonte A. Abundante plasma húmico oscuro con muy escasa fracción esquelética y abundante fracción fina; mesovaciós. b) Horizonte ACk. Microagregados granulares finos. Abundante fracción esquelética bioclástica inmersa en un plasma húmico oscuro. c) Horizonte 2Ck. Depósito sedimentario esquelético grueso con abundantes fragmentos gruesos (≥ 2 mm) de bioclastos, sin plasma húmico y con plasma calcítico escaso entre los bioclastos. d) Horizonte 3Cg. Depósito sedimentario de matriz limo arenosa siliciclástica con muy escasa calcita micrítica (parte inferior izquierda de la foto). Algunos restos de conchilla casi enteros se destacan en la matriz, con un borde de alteración micrítica en la superficie. 2. Llanura Costera Ajó: Pedón 7, Haprendol típico: e) Horizonte A. Abundante fracción bioclástica tamaño arena con escaso plasma húmico granular y abundante macroporosidad (≥ 50 μm). f) Horizonte 2C1. Depósito totalmente esquelético grueso con muy abundantes fragmentos gruesos (≥ 2 mm) de bioclastos y muy abundante macroporosidad (≥ 50 μm) entre los bioclastos. La disposición subhorizontal de los bioclastos es una característica sedimentaria (el lado izquierdo de la imagen corresponde a la parte superior del horizonte). Escala gráfica: 1 mm.

fragmentación quedan inmersos en una matriz fina humificada, con agregados granulares grandes y vacíos ramificados como en el horizonte A del pedón 5 y pedón 6. En el interior de los agregados hay vacíos de empaquetamiento compuestos y vacíos producidos por la actividad biológica como canales y cámaras; hay también abundantes rasgos excrementales.

Hay horizontes con alta concentración de restos bioclásticos como algunos AC y C (Fig. 6b pedón 5; Fig. 6e, pedón 7); otros totalmente bioclásticos (Fig. 6c, pedón 5; Fig. 6f, pedón 7); y otros donde los restos de conchilla están mezclados con una matriz más fina (Fig. 6d, pedón 5).

Es interesante observar las características de los horizontes del pedón 6 (LCA) desarrollado en una duna. El horizonte A, con mayor proporción de plasma húmico, y el AC (Figs. 7a, b, respectivamente) poseen una mezcla de materiales bio-siliciclásticos que se hacen más finos en el horizonte C. Infrayaciendo, el horizonte 2Btkb enterrado (Fig. 7c) no posee bioclastos pero muestra recristalización de calcita esparítica en los vacíos y micrítica en la matriz, que se ven detalladamente en microscopía electrónica (Figs. 8d, e).

En los suelos de las llanuras costeras el plasma calcítico está presente en la mayoría de los horizontes, es muy escaso en los horizontes A y más abundante en los horizontes AC y C. No siempre es visible en el campo y a veces dificultosamente visible bajo microscopio óptico, pero ha sido repetidamente documentado con observaciones de microscopía electrónica, (Imbellone, 1996; Imbellone & Giménez, 1997, 1998, Fig. 8). Se halla reorganizado como revestimientos incoloros de fábrica fibrosa dispuestos entre los granos del esqueleto. Está constituido principalmente por calcita acicular neoformada pedogenéticamente.

Los cristales en vacíos pueden ser muy escasos o formar una densa masa de agujas (Fig. 8e) y donde los bioclastos se encuentran alterados, el plasma microcristalino es abundante y puede cementar débilmente partes del material. En los suelos estudiados se observan masas fibrosas sobre los bioclastos, posiblemente generadas por actividad biológica, y anillos de recristalización en los bordes de los bioclastos. Hay clastos redondeados de calcretas heredadas con calcita micrítica.

A diferencia de los suelos de las llanuras costeras, los suelos de la Llanura Alta presentan rasgos propios de los sedimentos loésicos en el solum, semejantes a los de horizontes enterrados de la Llanura Ajó (Fig. 7c) La fracción esquelética es siliciclástica inmersa en una matriz densa de naturaleza arcillo limosa fina. Los microagregados son bloques o prismas separados por fisuras interpedales más o menos continuas. La fábrica plásmica es punteada por la abundancia de partículas de limo. El plasma húmico de los horizontes eluviales es oscuro y denso. El plasma calcítico formado por la recristalización de calcita posee morfologías semejantes a las descritas por Phillips & Self (1987) y Durand *et al.* (2010). Estas morfologías autógenas son:

- calcita acicular, micrítica y esparítica, birrefringente en los vacíos de horizontes iluviales (Figs. 7c, d; Figs. 8d, e).
- calcita micrítica en masas micríticas y nódulos difusos autógenos, poco birrefringentes en la matriz, donde hay mezcla de calcita con material fino del sedimento. Estas morfologías son abundantes en la base del solum cerca de la coquina infrayacente.
- calcita micrítica y esparítica en nódulos calcáreos heredados.
- calcita micrítica y esparítica en calcreta y coquina

Figure 6. Micromorphological features. Optical microscopy. Plane polarized light. 1. Río de la Plata Coastal Plain. Pedon 5, Typic Calcudoll: a) A horizon. Abundant dark humic plasma with very rare skeletal fraction and abundant fine fraction; mesovoids. b) ACk horizon. Granular, fine microaggregates. Abundant bioclastic skeletal fraction embedded in a dark humic plasma. c) 2Ck horizon. Coarse skeletal sedimentary deposit with abundant bioclastic coarse fragments (≥ 2 mm), without humic plasma and with rare calcitic plasma between bioclasts. d) 3Cg horizon. Sedimentary deposit of siliciclastic sandy silt matrix with very sparse micritic calcite (lower left). Almost entire shell fragments set in the matrix, with a micritic altered edge on the surface. 2. Ajó Coastal Plain. Pedon 7, Typic Haprendoll: e) A horizon. Abundant, sand-size bioclastic fraction with sparse granular humic plasma and abundant macroporosity (≥ 50 μ m). f) 2C1 horizon. Totally coarse skeletal deposit with very abundant coarse bioclastic fragments (≥ 2 mm) and very abundant macroporosity between bioclasts. The subhorizontal arrangement of bioclasts is a sedimentary characteristic (left side of picture corresponds to the upper part of the horizon). Scale bar: 1 mm.

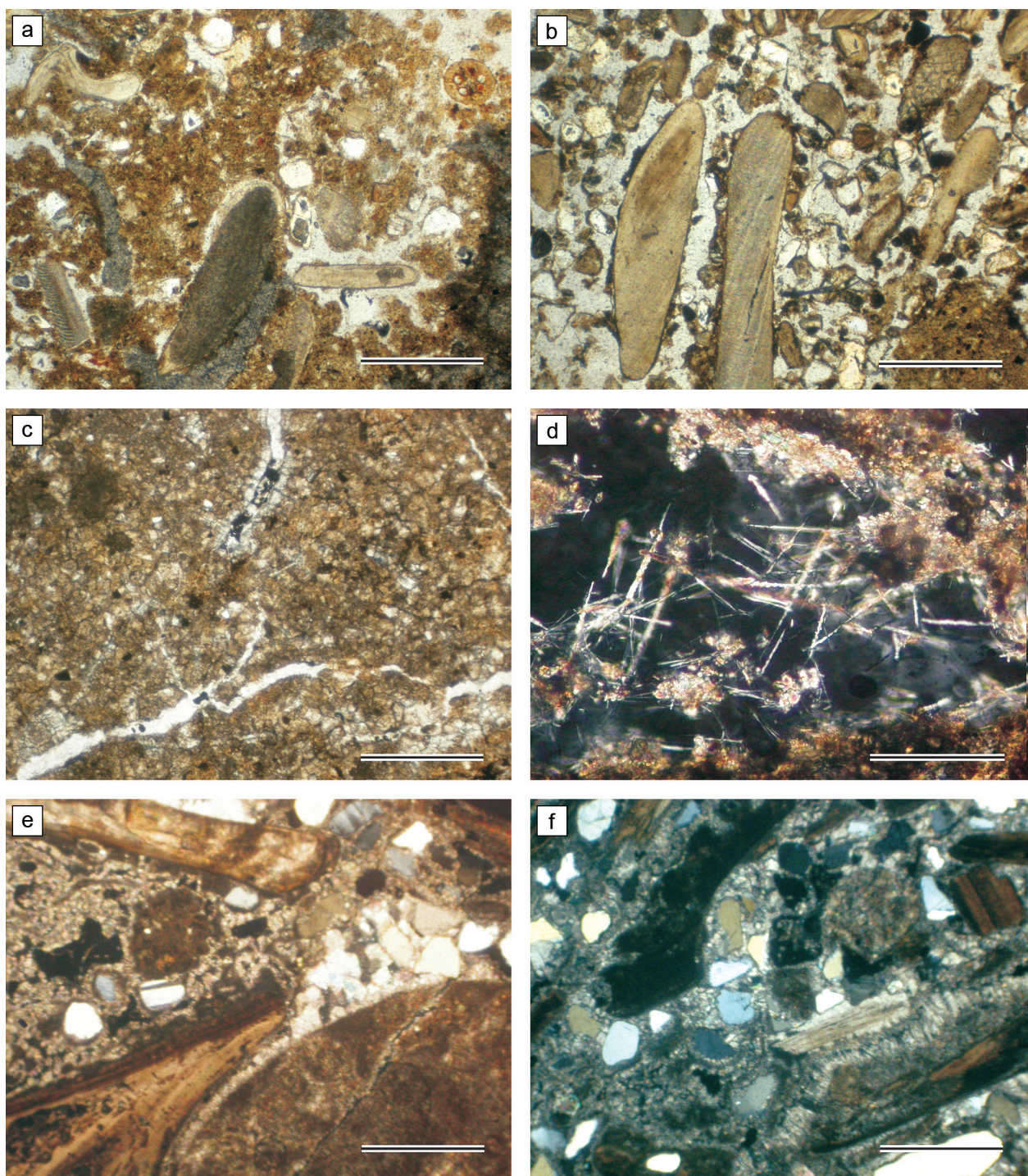


Figura 7. Rasgos micromorfológicos. Microscopía óptica. Figs. a, b, c: sin analizador; d, e, f: con nicoles cruzados. 1. Llanura Costera Ajó. Pedón 6, Haprendol taptó-árgico: a) Horizonte A. Matriz esqueletal arenosa con bioclastos, plasma húmico y vacíos intercomunicados. b) Horizonte AC. Semejante al anterior con mayor proporción de fracción esqueletal bio- y siliciclástica, plasma húmico muy escaso y porosidad intergranular. c) Horizonte 2Btkb. Matriz siliciclástica fina con vacíos longitudinales en cuyas paredes se observa recristalización de calcita. 2. Llanura Alta. Pedón 12, Argiudol vértico: d) Horizonte 2Btkssb. Plasma calcítico en forma de calcita acicular en vacíos y calcita micrítica y esparítica en el agregado. e) Horizonte 3R. Coquina. Clastos silíceos, de calcretas y bioclastos cementados por calcita micrítica y esparítica. Nótese el reborde esparítico en el clasto de calcreta fracturado en parte inferior derecha de la foto. f) Horizonte 3R. Coquina. Semejante a la anterior. Nótese el reborde esparítico en el bioclasto en la parte inferior derecha de la foto. Escala gráfica: a, b, c, e, f: 1 mm; d: 0,1 mm.

Figure 7. Micromorphological features. Optical microscopy. Figs. a, b, c: plane polarized light; Figs. d, e, f: crossed polarized light. 1. Ajó Coastal Plain: Pedon 6. Thapto-argic Hapludoll: a) A horizon. Sandy skeletal matrix with bioclasts, humic plasma and interconnected voids. b) AC horizon. Similar to (a) with a higher proportion of the bioclastic and siliciclastic skeletal fraction,

formando revestimientos de clastos (Figs. 7e, f; Fig. 8f, pedón 12).

Los horizontes cálcicos descritos por Gile *et al.* (1966) en Nuevo México generalmente infrayacen a un horizonte argílico o cámbico; cuando están dentro de horizontes argílicos se considera que éstos se formaron en clima más húmedo y luego fueron carbonatados por aporte de polvo calcáreo. En estos casos el plasma con fábrica silasépica posee una mezcla de arcilla y calcita y fábrica crística con algunos cutanes inmersos. En nuestro caso, la porción loésica superior de los suelos posee escaso carbonato micrítico en la masa, los rasgos calcíticos se concentran principalmente en los vacíos del suelo y no se encuentran revestimientos arcillosos inmersos en la matriz.

En cambio, en la base de estos suelos (horizontes BC o C), donde el material loésico apoya sobre la coquina, hay fábrica crística con cuerpos ricos en calcita en una matriz no calcárea y calcita micrítica abundante, diseminada en zonas de la matriz y concentraciones micríticas en nódulos. Estas formas se interpretan como autógenas y formadas por alteración de la coquina y/o por concentración iluvial actual o pasada. (Pedones 12 y 13 de las Figs. 2c, d, e). También suele haber clastos de la coquina, con distintos grados de alteración, mezclados con material loésico.

El horizonte petrocálcico o calcreta pedogenética tiene rasgos laminares tanto macroscópicos (Fig. 2f) como microscópicos. La zona laminar tiene un bandeo conspicuo con diferentes tonos. Suele haber distinto tamaño de grano en las bandas, con láminas alternantes de micrita, microesparita y esparita (Imbellone *et al.*, 2012) y también bandas onduladas que pueden confundirse con estructuras de algas. Estas zonas tienden a no contener granos esqueléticos y consisten casi enteramente en carbonato autógeno, como mencionara Gile *et al.* (1966). Las diferencias de color entre las diferentes capas de la lámina podría ser producida por la presencia de materia orgánica y/o teñido de óxidos de Fe y

Mn, ya que la composición arcillosa es semejante (ver Mineralogía).

Evolución calcárea de los suelos

En el proceso de carbonatación hay una compleja interacción entre las distintas fases físicas del suelo. La abundante actividad biológica del suelo, originada por plantas superiores o microorganismos, genera dióxido de carbono que pasa a la fase líquida y circula por el espacio poral del suelo hasta que se produce la precipitación cuando el suelo está por debajo de la capacidad de campo (Chadwick & Graham, 2000). Así, la formación de horizontes carbonatados pedogénicos es altamente dependiente de la disponibilidad de humedad del suelo (Tanner, 2010), aunque la precipitación de carbonato de calcio depende también de su disponibilidad. Es decir que el carbonato pedogenético puede acumularse en casi cualquier régimen de humedad si el material originario es suficientemente calcáreo (Machette, 1985). Sumada a la cantidad de carbonato presente en el suelo o incorporada a éste, la velocidad y grado de desarrollo carbonático del perfil depende de la cantidad de agua infiltrada (Reeves, 1970).

Los suelos estudiados difieren en los factores de formación: el material originario, la vegetación y la edad. El clima actual es el mismo en el área de estudio, pero sus variaciones estacionales y microclimáticas locales inciden en la generación de rasgos pedogénicos de carbonatación. Las isohietas límites entre suelos calcáreos y no calcáreos puede variar regionalmente desde 350 mm o menos a 750 mm o más dependiendo de la temperatura y la estacionalidad (Retallack, 2000). Goudie (1983) menciona como casos excepcionales el reemplazo *in situ* de calizas que forman calcretas endurecidas aún cuando la precipitación media anual excede los 1000-1500 mm, como es nuestro caso. Además, la relación entre precipitación, temperatura, escurrimiento y relieve es crítica en la formación de costras, las cuales no caracterizan a ninguna zona climática

very sparse humic plasma and intergranular porosity. c) 2Btkb horizon. Fine siliciclastic matrix with longitudinal voids showing recrystallized calcite on walls. 2. High Plain: Pedon 12, Vertic Argiudoll: d) 2Btkssb horizon. Calcitic plasma as needle calcite in voids and micritic and sparry calcite in the aggregate. e) 3R horizon. Coquina. Silicic clasts of calcretes and bioclasts cemented by micritic and sparry calcite. Note sparry edge in the clast of fractured calcrete (lower left). f) 3R coquina. Similar to (e). Note sparitic edge in a bioclast (lower right). Scale bar: a, b, c, e, f: 1 mm; d: 0.1 mm.

particular si hay períodos cortos y alternantes de lluvia e intensa evaporación (James, 1972). En los suelos estudiados se documenta amplia provisión de agua meteórica para la disolución de carbonatos y fuerte estacionalidad en los meses de verano que, a pesar de ser el período más lluvioso, la evapotranspiración es tan intensa que genera déficit hídrico en el suelo. Desde el punto de vista paleoclimático, la variaciones climáticas acaecidas desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Tonni *et al.*, 2003) podrían haber influido en la formación de carbonato pedogénico, sobre todo en los horizontes petrocálcicos.

A escala local otros factores adicionales podrían condicionar la evolución calcárea. En las partes altas del terreno el carbonato de calcio es disuelto mientras que en posiciones de media y baja pendiente habría acumulaciones de carbonato secundario, pero en nuestro caso la elección de los sitios no se realizó con criterio catenario ni microtopográfico. Con respecto a la edad y parafraseando a Gile, “el desarrollo del horizonte carbonatado de origen pedogénico está directamente relacionado con la edad del suelo” (Guide Book of Desert Project; Gile *et al.*, 1981). Este concepto es aplicable a superficies geomórficas extensas y fue enunciado para el este de los Estados Unidos considerando como variable única la edad y el resto de los factores relativamente semejantes. Podría aplicarse de una manera teórica general para el conjunto de suelos de las llanuras litorales que se encuentran en cordones u otras geoformas cuya edad disminuye hacia el río de la Plata, pero hasta el momento no hay estudios de cronosecuencias de suelos en la zona; sólo hay información saltuaria de dataciones de componentes que permitirían evaluar el grado de evolución de los suelos (Mari *et al.*, en prensa). Más específicamente el concepto no sería aplicable a los suelos de las llanuras costeras y la Llanura Alta ya que la edad y naturaleza geológica de los materiales originarios son diferentes. Los carbonatos pedogenéticos de los suelos de las llanuras costeras serían de edad holocena, en cambio los formados en los suelos del borde continental podrían ser holocenos y más antiguos, al igual que los horizontes petrocálcicos, hecho que no podemos verificar con la información propia actual. Es interesante mencionar que en la zona litoral desde el borde continental hasta el río de la Plata, el proceso de carbonatación

permite reunir en la definición de suelos calcáreos enunciada en la introducción a casi todos los suelos, que genéticamente pertenecerían a una lito-cronosecuencia en el concepto de Jenny (1941).

La formación de carbonato de calcio pedogénico tendría un fuerte origen inorgánico mostrado por la morfología de los minerales calcíticos sobre todo en los horizontes petrocálcicos (Imbellone *et al.*, 2012). Adicionalmente, hay evidencia de biolitos calcificados (Klappa, 1980); no obstante, no podemos demostrar hasta ahora el grado de intervención que han tenido los procesos bióticos en la formación de calcita acicular, como se muestra en investigaciones que postulan su origen biogénico por hongos y bacterias (Verrecchia & Verrecchia, 1994; Cailleau *et al.*, 2009; Monger, 2002; Monger *et al.*, 1991).

Los suelos estudiados forman parte de dos sistemas de génesis calcárea distinta, variables en grado de evolución y separados geográficamente: a) evolución calcárea en materiales escasamente calcáreos con acumulación de calcio en partes del perfil de suelo por translocación (modelo de Gile *et al.*, 1966), principalmente en suelos de la Llanura Alta y, b) evolución calcárea en materiales ricos en carbonato de calcio por alteración *in situ* (modelo de Rabenhorst & Wilding, 1986), principalmente en las llanuras costeras.

Los suelos de la LCRP y los de la LA poseen algún grado de evolución calcárea comprobada por la presencia de calcita pedogenética con distintas morfologías: acicular, micrítica y esparítica (Imbellone, 1996; Imbellone, *et al.*, 2012). La evolución calcárea progresa a partir de materiales originarios de distinta naturaleza granulométrica y mineralógica. Todos los suelos estudiados poseen depósitos calcáreos litogénicos en alguna porción del perfil, los que tienen influencia en el proceso de carbonatación, aunque no todos tienen carbonato pedogénico (pedones 1, 7, 8, 9, 10 y 11; Tabla 1).

En los suelos de las llanuras costeras el solum se desarrolla en sedimentos calcáreos bioclásticos de la Formación Las Escobas, y cuando hay evolución calcárea se produce por la alteración del depósito bioclástico del suelo y/o la concentración de la solución del suelo y la precipitación de bicarbonato de calcio como calcita pedogenética. En cambio, en la LA existe un modelo combinado de evolución calcárea, en parte por translocación

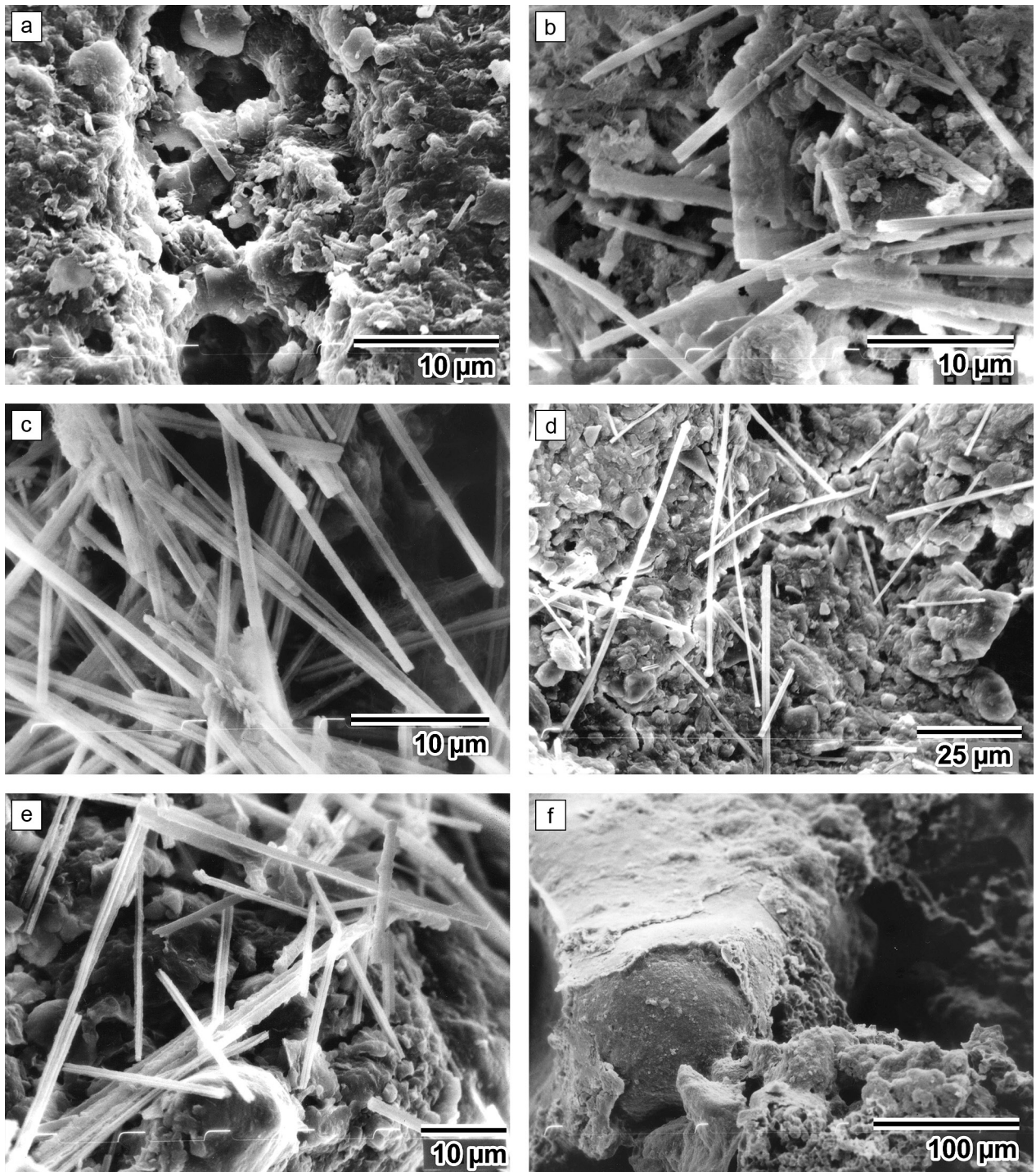


Figura 8. Rasgos micromorfológicos. Microscopía electrónica de barrido. 1. Llanura Costera Río de la Plata. Pedón 5, Calciudol típico: a) Horiz. 2Ck. Superficie de un bioclasto mostrando una oquedad de disolución. b) Horiz. ACK. Cristales de calcita acicular mezclada con la fracción siliciclástica. c) Haprendol típico, Horiz. 2Ckb. Calcita acicular formando una malla entrecruzada de cristales (tomado de Imbellone *et al.*, 2013. LAJSBA). 2. Llanura Costera Ajó. Pedón 6, Hapludol tauto-árgico: d) Horiz. 2Btkb. Cristales aciculares de calcita formados sobre la superficie de un agregado. e) Detalle de horiz. 2Btkb mostrando red entrecruzada de cristales de calcita acicular. 3. Llanura Alta. Pedón 12, Argiudol vértico: f) Horiz. 3Ckmb. Calcreta. Matriz micrítica englobando un clasto cubierto por un revestimiento de calcita.

Figure 8. Micromorphological features. Scanning electron microscopy. 1. Río de la Plata Coastal Plain. Pedon 5, Typical Calciudoll: a) 2Ck horizon. Surface of bioclast showing a dissolution void. b) ACK horizon. Crystals of needle calcite intermingled with the siliciclastic fraction. c) Typical Haprendoll, 2Ckb horizon. Needle calcite forming an intertwined mesh of crystals (from Imbellone *et al.*, 2013. LAJSBA). 2. Ajó Coastal Plain. Pedon 6, Thauto-argic Hapludoll: d) 2Btkb horizon. Needle calcite crystals formed on aggregate surface. e) Detail of 2Btkb horizon showing an intertwined mesh of needle calcite crystals. 3. High Plain. Pedon 12, Vertic Argiudoll: f) 3Ckmb horizon. Calcrete. Micrite matrix engulfing a calcite-coated clast.

y recristalización en el sector superior loésico y en parte en la base del solum, por alteración y recristalización de la roca subyacente calcárea de la Formación Pascua, a partir de la cual se forman los horizontes petrocálcicos.

Para estimar el grado de evolución calcárea de los suelos del área se considera la presencia del horizonte de diagnóstico cálcico (Imbellone & Giménez, 1998). Tanto en las llanuras costeras como en la LA hay suelos con horizonte cálcico (estado II, desarrollo moderado). Estos horizontes son frecuentes en la LCRP, en cambio, en la LCA están ausentes; además, en la primera algunos depósitos poseen cierto grado de cementación leve (pedón 2, horizonte 2Ck; pedón 3, horizonte 2Ck y pedón 5 horizontes 2Ck y 4Ck), que indican mayor evolución relativa y corresponderían al estado I, I+ y eventualmente II de Gile, *et al.* (1966). Estos suelos se hallan en cordones interiores (*sensu* Cavallotto, 1995), situados más cerca de la Llanura Alta y por lo tanto de mayor antigüedad.

Los suelos de la Llanura Alta formados en materiales mixtos (loésicos en el solum y coquina, horizontes C o R), también poseen en algunos casos (pedones 13 y 15) horizontes cálcicos en la porción loésica inferior que apoya en el techo de la coquina. En la porción loésica de la sucesión habría dos grados diferentes de carbonatación que responderían a distintos orígenes. En la parte superior y media (horizontes Bk y algunos BCk) la evolución calcárea es leve (estado I y I+ de Gile *et al.*, 1966) proveniente de carbonatación por iluviación, mientras que en los horizontes que apoyan en el horizonte petrocálcico cuando está presente (algunos BC) habría un grado de evolución fuerte (III y IV) por alteración y recristalización de la roca de base y posiblemente algo por iluviación. Este hecho se verifica por la presencia de fábrica crística con abundante calcita micrítica diseminada o en nódulos difusos y poros rellenos con calcita casi pura, y calcita esparítica. La evolución calcárea más intensa se registra en el techo de la coquina propiamente dicha, donde se forman horizontes petrocálcicos descritos por Imbellone *et al.* (2012) asignables al grado evolutivo IV y V de Gile *et al.* (1966) que poseen estructura laminar, incipiente brechación, calcita casi pura birrefringente en varias capas de carbonato alrededor de las partículas y cementación casi continua tal como las describe

Birkeland (1984).

Estas diferencias evolutivas entre las acumulaciones calcáreas de las llanuras costeras y alta se deberían al tiempo de evolución que han tenido los sedimentos calcáreos holocenos y pleistocenos y no calcáreos pleistocenos, y a condiciones locales de los suelos, propias de la heterogeneidad espacial de los mismos, como microclima o variación de las facies sedimentarias; también el tipo de vegetación que soportan, gramínea o de talares a veces con mantillo ya que este promueve la humificación de la materia orgánica y el desarrollo de microorganismos y consecuentemente la evolución calcárea (Sánchez, 1976).

Aspectos aplicados

Los suelos calcáreos presentan algunas limitaciones para distintos usos del suelo cuya gravedad depende de la abundancia y forma de manifestarse del carbonato. Las limitaciones pueden ser de tipo físico o químico. Las primeras se derivan de impedancias mecánicas por la presencia de capas parcialmente cementadas en Calciudoles de los cordones conchiles holocenos, encontradas en los suelos estudiados entre los 60 y 130 cm profundidad, que podrían restringir parcialmente el crecimiento de las raíces. Mucho más consolidados y presentando mayor resistencia a las raíces son los horizontes petrocálcicos y la coquina, aunque se encuentran casi siempre por debajo de 1 m profundidad, o sea por debajo de la zona de mayor densidad de enraizamiento, salvo en algunos sectores cercanos a la ciudad de Magdalena y en el paraje Punta Piedras donde a veces afloran, presentando sobre todo en este caso problemas para usos ingenieriles.

Las implicancias respecto al movimiento del agua son diversas. Por un lado, los horizontes con alto contenido de conchilla suelta tienen alta permeabilidad y muy baja retención (aproximadamente 6 a 8 % en capacidad de campo), lo que explica la presencia de especies de climas más secos, como se indicó en sección Vegetación. En los horizontes petrocálcicos y la coquina el movimiento vertical del agua queda restringido, salvo por fracturas y su magnitud depende del grado de brechamiento de la roca. Así, por encima de esas capas suele generarse saturación temporaria, lo cual

puede resultar desfavorable por originar un ambiente anaeróbico para las raíces o favorable cuando constituye una reserva de agua en épocas secas. De todas maneras, la relación entre los horizontes petrocálcicos y los cultivos es compleja y no estudiada en la zona. Al respecto Sadras & Calviño (2001) encontraron en la provincia de Buenos Aires, que el horizonte petrocálcico no afectó los rendimientos de trigo, soja, girasol y maíz cuando se encontraba por debajo de 1,20 m de profundidad, variando el rendimiento en profundidades menores en función de la plasticidad de cada cultivo y las lluvias durante los períodos críticos de crecimiento.

Las limitaciones de tipo químico derivan principalmente de la inmovilización de algunos elementos que produce la presencia de carbonatos. El fósforo es uno de los nutrientes más importantes que experimenta esta dificultad. Este elemento tiene un intervalo óptimo de pH de 6 - 7 en el cual se encuentra más cantidad en estado soluble. En los suelos calcáreos estudiados se supera, con frecuencia ampliamente, el valor máximo de ese intervalo por lo cual el fósforo se encontraría en formas poco solubles, por ejemplo como fosfato tricálcico.

El hierro es un micronutriente, que es absorbido principalmente en su forma reducida (como Fe^{2+}) o como quelatos; en pH alcalino se promueve su oxidación y disminuye la absorción de las plantas sobre todo en aquellas más sensibles. Este desorden nutricional es denominado “clorosis férrica” o “clorosis inducida por el calcáreo”. Se conoce como clorosis al amarilleamiento de órganos vegetales, especialmente hojas, por disminución de la producción de clorofila debido a diversas causas (deficiencias de elementos, anegamiento, plagas, etc.). El Fe no forma parte de la molécula de clorofila, pero se encuentra en algunos sistemas enzimáticos que intervienen en su síntesis. En Francia, Drouineau (1942) reconoció como principal responsable de la clorosis férrica a la fracción muy fina (tamaño limo o menor), más soluble del carbonato, a la que denominó “calcáreo activo”, ideando un método de extracción mediante oxalato de amonio. Entre los mecanismos responsables de la inmovilización del Fe se mencionan: 1) fijación del Fe sobre carbonato activo, quedando así inaccesible a las plantas; 2) aumento de la concentración de bicarbonato en la solución del suelo, que al ser absorbido por la planta produce la precipitación del Fe en el jugo celular y

3) la competencia entre el Ca^{2+} y el Fe^{2+} por los mismos sitios en los quelatos. La sensibilidad a la clorosis férrica es variable entre especies e incluso entre variedades de una misma especie.

Los suelos de la zona que podrían experimentar de manera más aguda los problemas nutricionales antedichos (Haprendoles, Calciudoles, calificados con la subclase de capacidad de uso IVs) prácticamente no se dedican a la agricultura y en algunos casos se utilizan en la ganadería extensiva, ya que están ocupados por la comunidad del talar que incluye especies adaptadas a altos contenidos de calcáreo.

Las actividades agrícolas se concentran principalmente en interfluvios de la Llanura Alta donde predominan Argiudoles vérticos y Hapludertes típicos, cuya subclase de capacidad de uso es I o IIs. En el partido de La Plata es importante la agricultura intensiva (horticultura y floricultura), practicada en parte bajo invernáculo. En este partido y en Magdalena y Punta Indio también se desarrolla agricultura extensiva, principalmente en el interfluvio principal entre las cuencas del río de la Plata y el río Samborombón, siendo los principales cultivos soja, trigo y maíz. En todas estas áreas los altos contenidos de carbonato se hallan por debajo de la zona de con mayor densidad de raíces, casi siempre a más de 1 metro de profundidad.

El material calcáreo que subyace a distintas profundidades ha determinado la instalación en muchos sectores de actividades extractivas. Se explotan dos tipos de materiales: la conchilla más o menos suelta que se encuentra en los cordones holocenos y la coquina pleistocena. La conchilla se extrae principalmente en las Llanuras Costeras del río de la Plata y Ajó. En la primera (partidos de Berisso, Magdalena y Punta Indio) se encuentra casi siempre por debajo del horizonte A, el cual en algunos casos se extrae y se comercializa como “tierra negra para jardinería”. En la LCA –al sur de Punta Piedras– la conchilla se halla cubierta por mayores espesores de arena lo que implica mayores espesores de destape, o bien arena intercalada entre capas de conchilla, lo cual desvaloriza la explotación. El material bruto extraído pasa a plantas que separan la arena por lavado, procediendo luego al secado, molido y clasificación granulométrica de la conchilla según los usos: senderos de parque y plazas, bloques para la construcción, alimentos para

aves, enmiendas para suelos ácidos, fabricación de vidrio, etc. (Arrospide & Coriale, 2005). Para el uso como enmienda se aplica el concepto de “eficiencia química”, definida como el porcentaje del producto que reacciona en forma inmediata en el suelo. Se calcula sobre la base de su pureza y el tamaño de partículas, considerando para éste la “eficiencia relativa” que aumenta a medida que las partículas son más finas (Vázquez, 2005).

En las acumulaciones pleistocenas se extrae la coquina, llamada comúnmente “conglomerado calcáreo”, que después de ser triturado es destinado a la fabricación de cemento o a formar la sub-base de caminos. En la región existen dos núcleos principales, uno cercano a la localidad de Pipinas (pedón 15) y otro sobre la Ruta Provincial 11, en las cercanías de la localidad de Magdalena (pedones 12, 13 y 14). Las explotaciones han producido una drástica alteración en las geoformas, los suelos y la biota, especialmente la vegetación. Esta degradación es más perceptible en las canteras de conchilla ya que en muchos casos afecta a la comunidad del talar, una de las pocas formaciones boscosas de la Región Pampeana. En los últimos 25 años se ha acentuado la tasa de deforestación debido a la baja rentabilidad de la actividad ganadera, lo que indujo a los pequeños establecimientos a volcarse parcialmente a la actividad minera (García Cortez *et al.*, 2009). Esta degradación ocurre a pesar de que un sector importante de la zona de estudio ha sido declarado Reserva Mundial de la Biosfera en 1984, a fin de preservar la costa del río de la Plata, los bosque xerófilos, el pastizal pampeano, la incipiente formación de selva marginal y la fauna asociada, manteniendo el desarrollo sustentable en la región. Esta reserva, conocida como “Parque Costero del Sur”, constituye una franja de alrededor de 5 km de ancho que tiene como eje a la Ruta Provincial 11 desde la localidad de Magdalena hasta la intersección con la Ruta Provincial 36. Abarca una superficie de 26.000 hectáreas, 70 % de la cual se encuentra en el partido de Punta Indio y 30 % en el de Magdalena.

CONSIDERACIONES FINALES

Los procesos pedológicos principales que tienen lugar en los suelos del área estudiada en orden de importancia son: calcificación melanización,

biopedoturbación y en menor escala la argilipedoturbación. El primero se manifiesta extensivamente en todos los horizontes de los suelos estudiados con distinto grado de expresión, por lo cual se califican a los suelos como calcáreos. En cambio los otros procesos están localizados en determinados sectores del perfil; la melanización se desarrolla a los horizontes superiores del solum al igual que la biopedoturbación isotrópica y anisotrópica y la argilipedoturbación en los horizontes subsuperficiales. El proceso pedogenético dominante es la calcificación, regido por la naturaleza mineralógica y textural de los materiales originarios.

Los materiales clásticos de la zona son de dos tipos. En las llanuras litorales hay depósitos bioclásticos como gravas conchiles y arenas no consolidadas o ligeramente cementadas y materiales terrígenos como clastos de calcáreo y una asociación volcániclastica proveniente de depósitos loésicos pampeanos. En la Llanura Alta los depósitos son típicamente loésicos.

La génesis de los horizontes ricos en carbonato de calcio pedogenético se produciría: a) en los depósitos litorales holocenos, por alteración pedogenética del carbonato parental con mínima translocación en los depósitos bioclásticos propiamente dichos y ocasionalmente formación incipiente de calcretas discontinuas en horizontes parcialmente cementados; b) en los depósitos continentales loésicos pleistocenos -superficiales o enterrados por depósitos holocenos- por translocación y precipitación de carbonato de calcio ya sea por aporte externo o local, y en los depósitos bioclásticos pleistocenos por alteración *in situ* de la roca.

Es conspicua la presencia de calcita pedogenética en casi todos los suelos, sea o no visible a simple vista y generada por la recristalización de soluciones carbonatadas bajo la influencia de variaciones estacionales del macro- y microclima de la zona.

Se describe por primera vez para la zona la presencia de horizontes petrocálcicos o calcretas pedogenéticas generadas por procesos de epigénesis. El hecho que el horizonte petrocálcico sea discontinuo es propio de la heterogeneidad microtopográfica y microclimática de los suelos. Con respecto al origen del carbonato pedogénico, posiblemente exista tanto participación inorgánica como orgánica en la generación de los rasgos calcíticos

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Miguel Del Blanco (Instituto de Recursos Minerales, INREMI-FCNyM-UNLP) por su colaboración en la obtención de microfotografías ópticas y a la Lic. Cecilia Genazzini (Centro de Investigaciones Geológicas, CIG-FCNyM-UNLP) por la confección de difractogramas de rayos X.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, ML.** 1992. Caracterización faunística del Cuaternario marino del noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47(1): 31-54.
- Allison, LE & CD Moodie.** 1965. Carbonate. En: CA Black *et al.* *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. (Part 2), 1379-1396.
- Amiotti, N; MC del Blanco & LF Sánchez.** 2001. Complex pedogenesis related to differential aeolian sedimentation in microenvironments of the southern part of the semiarid region of Argentina. *Catena* 43: 137-156.
- Arrospe, M & N Coriale.** 2005. Yacimientos calcáreos organógenos de la zona costera de la provincia de Buenos Aires. En: RE de Barrio, RO Etcheverry, MF Caballé & E Llambías (eds.). *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Cap. XXIX: 441-446. La Plata.
- Arturi, MF & JF Goya.** 2004. Estructura, dinámica y manejo de los talares del NE de Buenos Aires. En: MF Arturo, JL Frangi & JF Goya (eds.). *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Birkeland, PW.** 1984. *Soils and geomorphology*. Oxford University Press. 372 pp.
- Biscaye, PE.** 1965. Mineralogy and sea sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic ocean and adjacent seas and oceans. *Geological Society of America Bulletin* 76: 803-832.
- Blanco, M del C & LF Sánchez.** 1992. Parámetros sedimentarios de algunos suelos del suroeste pampeano, Argentina. *Turrialba* 42: 430-437.
- Bonfils, CG.** 1966. Rasgos principales de los suelos pampeanos. INTA. 66 pp.
- Bouza, PJ; M Simón; J Aguilar; H del Valle & M Rostagno.** 2007. Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of Northeastern Patagonia, Argentina., *Geoderma* 139 (1-2): 38-50.
- Brackensiek, DL; WJ Rawls & GR Stephenson.** 1986. Determining the saturated hydraulic conductivity of a soil containing rock fragments. *Soil Science Society America Journal* 50: 834-835.
- Bullock, P; H Federoff; A Jongerijs; G Stoops & T Tursina.** 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research. 152 pp.
- Buol, SW; FD Hole & RJ McCracken.** 1989. *Soil genesis and classification*. Iowa State University Press, Ames. 3ª edición. 446 pp.
- Buschiazzo, DE.** 1988. Estudio sobre la tosca. Parte II: evidencias de un movimiento descendente del carbonato, características micromorfológicas. *Ciencia del Suelo* 6: 44-49.
- Buschiazzo, DE.** 1990. Calcrete formations in soils of the Argentinean Pampas. *Ernst-Schlichting Gedächtnis-Kolloquium*. Tagungsband; 92-106. Hohenheim.
- Cabrera, AL.** 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial Acmé, Buenos Aires. 85 pp.
- Cabrera, AL & EM Zardini.** 1993. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. Ed. Acmé. Buenos Aires. 755 pp.
- Cagnoni, M & A Faggi.** 1993. La vegetación de la Reserva de Vida Silvestre Campos del Tuyú. *Parodiana* 8(1): 101-112.
- Cailleau, G; EP Verrecchia ; O Braissant & E Laurent.** 2009. The biogenic origin of needle fibre calcite. *Sedimentology* 56: 1858-1875.
- Cappannini, DA.** 1949. *Estudio geodafológico del curso inferior del río Salado (provincia de Buenos Aires) y zonas adyacentes*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. La Plata (inédito). 89 pp.
- Cappannini, DA.** 1952. Geodafología del curso inferior del río Salado de la provincia de Buenos Aires. *IDIA* 50-51: 1-54.
- Carver, RE (ed.).** 1971. *Procedures in sedimentary petrology*. Wiley Interscience. John Wiley and Sons. New York. 653 pp.
- Cavallotto, JL.** 1995. Evolución geológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, 237 pp. (inédito).
- Chadwick AO & RC Graham.** 2010. Pedogenic processes. En: ME Sumner (ed.). *Handbook of soil science*. Pp. E41-75. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Colado, UR; AJ Figini; F Hidalgo & E Fucks.** 1995. Los depósitos marinos del Cenozoico Superior aflorantes en la zona comprendida entre Punta Indio y el río Samborombón, provincia de Buenos Aires. *IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Actas, Junín. 1: 151-158.
- Corteleszi, C.** 1993. Sobre la edad de los depósitos de conchilla que afloran en las proximidades de Puento de Pascua, partido de Castelli, provincia de Buenos Aires. *12 Congreso Geológico Argentino*. Actas, 249-251.
- Del Valle, HF & CA Beltramone.** 1987. Morfología de acumulaciones calcáreas en algunos paleosuelos de Patagonia oriental (Chubut). *Ciencia del Suelo* 5: 77-87.
- De Santis, LJM & GJ Moreira.** 2000. El aparato masticador del género extinto *Actenomys* Burmeister, 1888 (Rodentia, Ctenomyidae): inferencias sobre el modo de vida. *Estudios Geológicos* 56: 63-72.
- Drouineau, G.** 1942. Dosage rapide du calcaire actif de sols: nouvelles données sur la separation et la nature des fractions calcaires. *Ann. Agron.* 12 : 441-450.
- Durand, N; H Curtis Monger & MG Canti.** 2010. Calcium carbonate features. En : G Stoops, V Marcelino & F Mees. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, 149-194.
- FAO.** 1973. Calcareous soils. *FAO Soils Bulletin* 21. U.N. Food and Agriculture Organization. Roma. 270 pp.
- FAO.** 2009. *Guía para la descripción de suelos*. 4ª edición. U.N. Food and Agriculture Organization. Roma. 111 pp.
- Fidalgo, F.** 1983. Algunas características de los sedimentos superficiales de la Cuenca del Río Salado y en la Pampa Ondulada. *Coloquio Internacional de Hidrología de Grandes Llanuras*. UNESCO. Olavarría. Actas, II: 1043-1068.
- Fidalgo, F & OR Martínez.** 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata. *Asociación Geológica Argentina, Revista* 38 (2): 263-279.

- Fidalgo, F; U Colado & F De Francesco.** 1973. Sobre ingresiones marinas en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena, Provincia de Buenos Aires. *Actas V Congreso Geológico Argentino*. Buenos Aires. III: 227-240.
- Folk, RL & WC Ward.** 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-27.
- Frenguelli, J.** 1950. Rasgos generales de la morfología y de la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT Publ., Bs.As.. Ser. II N° 30: 72 pp.
- Frenguelli, J.** 1957. Neozoico. En: *Geografía de la República Argentina*. Sociedad de Estudios Geográficos GAEA. T. 2, 3a. Parte. Buenos Aires. 1-218.
- Fucks, EE; EJ Schnack & ML Aguirre.** 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía Samborombón, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (1): 27-39.
- García Cortéz, M; CA Pérez; M Pressuti & M Arturi.** 2009. Cambios en la superficie boscosa y biomasa forrajera en los talares de Magdalena y Punta Indio. En: J Athor (ed.). Parque Costero del Sur. Naturaleza, Conservación y Patrimonio Natural. Fundación de Historia Natural "Félix de Azara". Buenos Aires. 92-103.
- Gile, L; FF Peterson & RB Grossman.** 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science* 101: 347-360.
- Gile, L; JW Hawley & RB Grossman.** 1981. Soils and geomorphology in the Basin and Range area of Southern New Mexico. Guidebook to the Desert Project (Memoir 39). New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources. 222 pp.
- Giménez, JE & PA Imbellone.** 2008. Propiedades de suelos que afectan la distribución de talares en llanuras costeras de la Provincia de Buenos Aires. *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Potrero de los Funes, San Luis. En CD.
- Goudie, AS.** 1983. Calcrete. En: AS Goudie & K Pye (eds.). Chemical sediments and geomorphology: precipitates and residua in the near surface environment. Academia Press. 83-131.
- Imbellone, PA.** 1996. Redistribución de carbonato de calcio en sucesiones cuaternarias de la llanura costera bonaerense. *Asociación Argentina de Sedimentología Revista* 3: 63-76.
- Imbellone, PA & ME Teruggi.** 1993. Paleosols in loess deposits of the Argentine Pampas. *Quaternary International* 17:49-55.
- Imbellone, PA & JE Giménez.** 1997. Micromorphology of soils in quaternary littoral sequences. Northeastern Buenos Aires Province, Argentina. En: S. Shoba, M. Gerasimova & R Miedema (eds.). *Soil Micromorphology: studies on soil diversity, diagnostic and dynamics*. Moscú-Wageningen. 93-105.
- Imbellone, PA & JE Giménez.** 1998. Suelos calcáreos litogénicos del NE de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 16: 20-29.
- Imbellone, PA; JE Giménez & JL Panigatti.** 2010. *Suelos de Región Pampeana. Procesos de formación*. Ediciones INTA, 320 pp.
- Imbellone PA; JE Giménez; ML Mormeneo & MG Cuberes.** 2012. Suelos loésicos influenciados por depósitos de conchilla pleistocenos de la Formación Pascua, Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*. 19 (2): 67-88.
- Instituto de Geomorfología y Suelos.** 1988. Guía de Campo. Segundas Jornadas de Suelos de la Región Pampeana. Facultad de Ciencias Naturales y Museo-Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. La Plata. 89 pp.
- INTA.** 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. Instituto de Evaluación de Tierras, CIRN. Buenos Aires. 544 pp. y mapas.
- Isla, FI; N Rutter; EJ Schnack & MA Zárate.** 2000. La transgresión Belgranense en Buenos Aires. Una revisión a 100 años de su definición. *Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales*. Publicación Especial N° 4, 3-14.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB.** 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. (Traducción al español de MS Pazos). FAO, Roma.
- James, NP.** 1972. Holocene and Pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: criteria for subaerial exposure. *Journal Sedimentary Petrology* 42: 817-836.
- Jenny, H.** 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Dover Publications, New York. 281 pp (reimpresión 1994).
- Klappa, CF.** 1980. Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology* 27: 613-629.
- Kröhlhing, D & O Orfeo.** 2002. Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío-Holoceno) del centro-sur de Santa Fe. *AAS Revista*, 9: 135-154.
- León, RJC; GM Rusch & M Oesterheld.** 1984. Pastizales pampeanos. Impacto agropecuario. *Phytocoenologia* 12: 201-218.
- Machette, MN.** 1985. Calcic soils of the southwestern United States. En: DL Weide (ed.), Soils and Quaternary Geology of the Southwest United States. Geological Society of America, Special Paper 203, 1-21.
- Mari, F; E Fucks; F Pisano; R Huarte & J Carbonari.** Cronología radiocarbónica en paleoambientes del Pleistoceno tardío y Holoceno de la Pampa Deprimida, provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de La Plata. Sección Antropología*. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. En prensa.
- McBride, EF.** 1971. Mathematical treatment of size distribution data. En: RE Carver (ed.). Procedures in sedimentary petrology. 109-127. Wiley Interscience. John Wiley and Sons. New York.
- Miaczynski CRO & M Tschapek.** 1965. Los suelos de estepa de la Región Pampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Serie 3, Clima y Suelo 2, 35-79.
- Monger, HC.** 2002. Pedogenic carbonate. Link between biotic and abiotic CaCO₃. *International Working Meeting on Soil Micromorphology*. Simp. 20. Paper 937. Tailandia.
- Monger, HC; L Daugherty; W Lindemann & C Liddell.** 1991. Microbial precipitation of pedogenic calcite. *Geology* 19: 997-1000.
- National Soil Survey Center.** 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 3.0. U.S. Department of Agriculture. 693 pp.
- Papadakis, J.** 1960. Informe preliminar sobre los suelos de la provincia de Buenos Aires. Primera Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. *IDIA*, Suplemento No. 1. 162-163.
- Parodi, LR.** 1940. La distribución geográfica de los talares en la provincia de Buenos Aires. *Darwiniana*. 4:33-56.

- Pazos, MS.** 1990. El horizonte Alfa: una capa desarrollada en la interfase suelo-tosca. *Ciencia del Suelo* 8: 75-78.
- Phillips, SE & PG Self.** 1987. Morphology, crystallography and origin of needle fiber calcite in Quaternary pedogenic calcretes of South Australia. *Australian Journal of Soil Research* 25 (4): 429-444.
- Rabenhorst, MC & LP Wilding.** 1986. Pedogenesis on the Edwards Plateau, Texas: III. New model of the formation of petrocalcic horizons. *Soil Science Society America Journal* 50: 693-699.
- Reeves, CC Jr.** 1970. Origin, classification and geologic history of caliche on the southern high plains, Texas, and eastern New Mexico. *Journal of Geology* 78, 352-362.
- Retallack, GJ.** 2000. Depth to pedogenic carbonate horizon as a paleoprecipitation indicator? Forum, Comment. *Geology* 28, 572-573.
- Richards, LA.** 1965. Physical conditions of water in soil. En: CA Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical properties.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Series No. 9. 128-152.
- Sadras, V & A Calviño.** 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower, and wheat. *Agronomy Journal* 93: 577-583.
- Sánchez, RO.** 1976. Estudio bioquímico mineralógico y micromorfológico de suelos "Rendzina". *IDIA* (Supl. 33): 414-424.
- Sánchez RO; JA Ferrer; OA Duymovich & MA Hurtado.** 1976. Estudio pedológico integral de los partidos de Magdalena y Brandsen. *Anales del LEMIT.* Serie II: 1-127.
- Schiavo, HFG; AR Becker; M Grumelli & MP Cantú.** 2010. Análisis micromorfológico del calcreto de la zona de Tosquita, departamento de Río Cuarto, provincia de Córdoba. *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Rosario. Resúmenes (pág. 268) y trabajo completo en CD-ROM (5-294-1).
- Schoeneberger, PJ; DA Wysocki; EC Benham & WD Broderson.** 2000. *Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos.* National Soil Survey Center, U.S. Department of Agriculture (Traducción por investigadores del Instituto de Suelos, INTA, Argentina).
- Shannon CE & W Weaver.** 1963. *The mathematical theory of communication.* Univ. Illinois Press. Urbana. 117 pp.
- Soil Science Society of America.** 2001. *Glossary of soil science terms.* Madison, Wisconsin, USA, 135 pp.
- Soil Survey Staff.** 1999. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* Agricultural Handbook 436. 2nd edition. USDA. Washington DC. 869 pp.
- Soil Survey Staff.** 2010. *Keys to Soil Taxonomy.* 11th Edition. USDA. Washington DC. 338 pp.
- Soil Survey Division Staff.** 1993. *Soil Survey Manual.* Handbook N° 18. USDA, Washington D.C., U.S.A. 437 pp.
- Spalletti, LA & MM Mazzoni.** 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. *Asociación Geológica Argentina Revista.* 34 (1): 12-30.
- Spalletti, LA; S Matheos & D Poiré.** 1987. Sedimentology of Holocene littoral ridges of Bahía Samborombón (Buenos Aires Province, Argentina). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 5: 111-132.
- Stoops, GJ; V Marcelino & F Mees.** 2010. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier Science. 752 pp.
- Tanner, LH.** 2010. Continental carbonates as indicators of paleoclimate. En: AM Alonso-Zarza & LH Tanner (eds.). *Carbonates in continental settings. Developments in Sedimentology* 62. 179-214. Elsevier.
- Thorntwaite, CW.** 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38 (1): 55-94.
- Thorntwaite, CW & JM Mather.** 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. *Climatology* 10: 185-311.
- Tonello, MS & AR Prieto.** 2010. Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno: estimaciones cuantitativas basadas en secuencias polínicas fósiles. *Ameghiniana* 47(4): 501-514.
- Tonni, EP; RA Huarte; JE Carbonari & AJ Figini.** 2003. New radiocarbon chronology for the Guerrero Member of the Luján Formation (Buenos Aires, Argentina): paleoclimatic significance. *Quaternary International* 109-110: 257-281.
- Tricart, JLF.** 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos. Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana. Colección Científica N° XII. INTA, Buenos Aires. 202 pp.
- Vargas Gil, JR; CO Scoppa & AM Iñiguez.** 1972. Génesis de los suelos de la región norte de la Bahía de Samborombón. *RIA*, INTA. Buenos Aires. Serie 3, Clima y Suelo. IX (1): 29-52.
- Vázquez, M.** 2005. Calcio y magnesio, acidez y alcalinidad de suelo. En: HE Echeverría & FO García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.* Ediciones INTA. Buenos Aires. 161-188.
- Verrecchia, EP & KE Verrecchia.** 1994. Needle-fiber calcite; a critical review and a proposed classification. *Journal of Sedimentary Research* 63(3a): 650-664.
- Vervoost, FB.** 1967. La vegetación de la República Argentina. VII. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). Serie Fitogeográfica N°. 7. INTA. 262 pp.
- Violante, RA; G Parker & JL Cavalotto.** 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía de Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 51-66.