

ORIGEN DE LOS MATERIALES PARENTALES Y GÉNESIS DE SUELOS EN EL EXTREMO NOROCCIDENTAL DE LA CUENCA DE LOS BAJOS SUBMERIDIONALES, SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

Lucas M. Moretti¹, Lidia A. Vizgarra², Héctor J.M. Morrás³, Darío M. Rodríguez³, Guillermo A. Schulz³, Ileana R. Paladino³, Emiliano M. Bressan³, Joana D. Laghi³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Cerro Azul. Ruta Nacional 14 Km. 836 (3313) Cerro Azul, Misiones. moretti.lucas@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Quimilí. Ruta Provincial 6 Km. 9 (3740), Quimilí, Santiago del Estero. Argentina.

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de Suelos. De Los Reseros y Nicolás Repetto s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires.

ARTICLE INFO

Article history

Received September 25, 2019

Accepted February 25, 2020

Available online February 25, 2020

Handling Editor

Sebastian Richiano

Keywords

Suelos

Mineralogía

Micromorfología

Pedosedimento

Santiago del Estero

RESUMEN

La cuenca de los Bajos Submeridionales consiste en un extenso sistema hidrológico para el cual han sido propuestas distintas áreas de aporte sedimentario, así como también, procesos geomorfológicos controlados por la dinámica climática y tectónica regional. Con la finalidad de profundizar en el origen y distribución de los materiales parentales y la génesis de los suelos en el sector noroccidental de la cuenca, se estudia la micromorfología, la composición mineralógica, se determina la susceptibilidad magnética y se discuten datos analíticos físicos y químicos de cuatro perfiles de suelo desarrollados en diferentes posiciones del paisaje. Las observaciones microscópicas revelaron la presencia de vidrio volcánico ácido fresco, a diferencia de lo señalado para el loess de la región chaqueña. Por su parte, los resultados analíticos muestran que en general los horizontes superficiales A son los de textura más fina. No obstante, los elevados valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de la fracción arcilla y la humedad equivalente sugieren una subestimación del porcentaje de las fracciones finas en el análisis granulométrico de los horizontes subsuperficiales (B y C). Los estudios micromorfológicos constataron la presencia de pseudo-arenas y pseudo-limos en estos últimos, además de pedorrasgos relictos tales como fragmentos de revestimientos dispersos y abundantes microagregados de suelo retrabajados, revelando la presencia de una paleosuperficie pedosedimentaria en la base de los perfiles. Los horizontes B y C del suelo actual, desarrollados en el pedosedimento, presentan una mayor proporción de minerales interstratificados con dominancia de esmectita y un incremento de la susceptibilidad magnética respecto a los horizontes sobreyacentes. Su origen podría vincularse a la erosión de suelos preexistentes, proceso controlado por la dinámica tectónica y los cambios climáticos ocurridos en el Pleistoceno. Por otro lado, la similitud composicional determinada para los horizontes superficiales, sugiere que éstos podrían derivar de la acumulación de sedimentos provenientes de la erosión eólica de los cauces fluviales durante un ciclo árido del Holoceno. Luego, en un período reciente más húmedo habría tenido lugar la pedogénesis de estos depósitos. Estas interpretaciones permitirían vincular los ciclos climáticos, con los procesos tectónicos, sedimentarios y pedológicos ocurridos en el sector noroccidental de la cuenca.

EXTENDEND ABSTRACT

Origin of parent materials and genesis of soils in the northwestern edge of the Bajos Submeridionales Basin, Santiago Del Estero, Argentina

The Bajos Submeridionales basin comprises an extensive hydrological system in the eastern Chaco region of Argentina, which occupies the northern part of Santa Fe, the southern part of Chaco and eastern part of Santiago del Estero (Fig. 1). It is a large plain characterized by its low slope and the presence of fluvial, lacustrine and eolian sediments. Different source areas for the sediments have been proposed, as well as geomorphological processes controlled by regional climatic and tectonic dynamics. The aim of this study was to evaluate the influence of these processes in the genesis and distribution of parent materials and soils in the northwestern edge of the Bajos Submeridionales basin. For this purpose micromorphological studies in soil thin-sections, mineralogical analyzes by X-ray diffractometry (XRD) in bulk samples and in the clay-fraction samples, magnetic susceptibility (MS) measurements and soil physical and chemical analyzes (texture, organic matter, cation exchange capacity (CEC) and soil moisture equivalent) were performed. Four soil profiles developed in different landscape positions were studied: 1) Entic Haplustoll (C-50) in the gently undulating plain unit; 2) Typic Argiustoll (C-16) in the slope unit; 3) Typic Haplustert (C-53) in the low plane unit; and 4) Typic Endoacuert (C-27) in the drainage network (Fig. 2 and Table 1).

Unlike the loess of Chaco region (Urundel Formation), microscopic studies show a high proportion of fresh acid volcanic glass in the coarser fractions. This composition relates it to the loess of Tezanos Pinto Formation, which covers the central and southern sector of the Bajos Submeridionales basin.

Granulometric analyses show that the A horizon of the Haplustoll, Argiustoll and Haplustert soils have a finer texture than the subsurface B and C horizons. This could be related to the presence of lithological discontinuities in the parent materials. Effectively, both the high values of the estimated CEC for the clay-fraction and the soil moisture equivalent suggest an underestimation of the clay percentage in the granulometric analysis of the subsurface horizons (Table 2). In turn, micromorphological studies

showed the presence of pseudo-sands and pseudo-silts and a high proportion of larger microaggregates of reworked soil material (i.e. Fig. 3b, Fig. 4c-d, Fig. 5b-c and Fig. 6b) in the subsurface horizons, in addition to inherited pedofeatures such as fragmented and deformed clay coatings (Fig. 3c-d). These features suggest that the soils parent material is constituted by sediments that has been eroded from pre-existing soils and transported to its current position. In turn, the angular- and subangular-blocky structure observed at the base of the Haplustoll (Fig. 4a) and the Haplustert (Fig. 6c) profiles, seems to constitute *in situ* soil relicts. The set of these characteristics of inherited microstructure and pedofeatures indicate the presence of a pedosedimentary paleosurface at the base of these profiles.

For all profiles, the magnetic susceptibility values show two main sections separated by the paleosurface (Fig. 10). These first magnitude differences in the MS values are related to the characteristics and composition of the parent material. In Section I, the highest values are related to the volcanoclastic minerals of the regional loessic sediments and to the pedosedimentary components. This Section I is subdivided into three parts (Sub-section Ia, Ib and Ic) according to smaller magnitude variations, which can be related to pedogenetic processes. In turn, the magnetic signal in Section II shows sharp and progressive decreases towards the base of the profiles. This variation in depth could be explained both by the increase in calcium carbonate and by the presence of sediments from local supply areas, such as the sandstones and the alluvial deposits of the Salado River.

The XRD diagrams show the presence of illite, kaolinite and irregular interstratified of illite-smectite minerals (I-S) (Fig. 9). These minerals are found in different proportions along the profiles. The superficial A-horizons of the Haplustoll, Haplustert and Endoacuert show a dominance of illite, which can be related to the regional loessic sediments. Meanwhile, the pedosedimentary materials show a higher proportion of I-S minerals with smectite dominance. This could be related to both previous pedogenetic processes as well as the process of enrichment in smectites by transformation in the present soil, favored by the slightly alkaline chemical environment in the middle and basal sections of the profiles. The origin of the pedosediment could be linked to the erosion of a paleosurface, given

by the tectonic dynamics and the climatic changes occurred during the Pleistocene. On the other hand, the mineralogical composition of the superficial A-horizons suggests that they could derive from the aeolian accumulation of sediments eroded by wind from the river channels, during an arid Holocene event. Then, the pedogenesis of these deposits would have occurred in a more humid recent event. These interpretations allow linking the pedological processes with the tectonic, sedimentary and climatic recent Quaternary cycles that occurred in this sector of the Bajos Submeridionales basin.

Keywords: soils, mineralogy, micromorphology, pedosediment, Santiago del Estero.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de los Bajos Submeridionales es un extenso sistema hidrológico que abarca el norte la provincia de Santa Fe, sur de Chaco y este de Santiago del Estero, cubriendo en esta última, una superficie aproximada de 13500 km² (Fig. 1) (Giraut *et al.*, 2001). Desde el punto de vista geomorfológico se encuentra en el denominado “Chaco Oriental” (Iriondo, 1993; 1997), en el sector distal del mega-abanico aluvial del Río Salado. Esta unidad consiste en una extensa planicie caracterizada por su escasa pendiente y la presencia de sedimentos de origen fluvial, lacustre y eólico, cuya génesis está relacionada a la alternancia de períodos secos y fríos, con períodos húmedos y cálidos del Cuaternario (Iriondo, 1993; Sayago, 1995). Además de la influencia climática, la región estuvo afectada por procesos neotectónicos que provocaron cambios hidrológicos y geomorfológicos (Castellanos, 1968; Peri y Rossello, 2010).

No obstante, si bien estos procesos morfogenéticos han sido debidamente documentados, no se cuenta con información detallada acerca de la composición y origen de los materiales sedimentarios y de su relación con el tipo, distribución y mineralogía de los suelos para el sector santiagueño de la cuenca. En este marco, el objetivo del presente trabajo consiste en profundizar en el conocimiento de los materiales parentales y la génesis de los suelos de este sector. Para tal fin se estudia la micromorfología, la composición mineralógica y se discuten datos analíticos físicos y químicos de cuatro perfiles de suelo, desarrollados en diferentes posiciones del paisaje en una pequeña cuenca fluvial, en el extremo

noroccidental de los Bajos Submeridionales. Entre los análisis mineralógicos se incluye por primera vez para suelos del sector oriental chaqueño la determinación de la susceptibilidad magnética, por lo que los valores obtenidos se discuten en el marco de los modelos magnetoclimáticos propuestos para la región pampeana.

EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL ÁREA EN ESTUDIO

Durante el Pleistoceno, los procesos de aridización que afectaron a la región Chaco-pampeana se acentuaron especialmente durante el Último Máximo Glacial (Estadio Isotópico 2), condiciones bajo las cuales se habrían depositado sedimentos loésicos, cubriendo los suelos y los sedimentos fluviales y lacustres existentes. El loess chaqueño, de amplia extensión en el sector central de la región, comprende a los sedimentos provenientes de las cuencas de los ríos Parapetí, Pilcomayo y Bermejo, los cuales habrían sido depositados por los vientos del norte (Iriondo, 1997). Estos materiales son agrupados bajo el nombre de Formación Urundel y están compuestos principalmente por cuarzo e illita, sin vidrio volcánico (Iriondo, 1990). En el noroeste de Santa Fe y suroeste del Chaco, se correlacionan con el loess de la Formación Tezanos Pinto (Iriondo, 2012), cuya asociación mineralógica –como se discutirá más adelante– sugiere una procedencia de las Sierras Pampeanas y los Andes.

Por otro lado, la dinámica hídrica y fluvial estuvo controlada por los procesos neotectónicos que afectaron a la región. En este contexto, el sistema del Río Salado ha sufrido cambios graduales en su dirección de escurrimiento en sentido sur durante el Pleistoceno, desplazamiento vinculado con la avulsión de canales y la aparición de fallamientos longitudinales, denominados chaco-pampeano-bonaerenses (Castellanos, 1968). En el límite de las provincias de Santiago del Estero y Chaco, el curso de este sistema fluvial es interrumpido por los bloques tectónicos elevados de las Lomadas de Otumpa (Rossello y Bordarampé, 2005), lo que también ha provocado cambios geomorfológicos e hidrológicos (Peri y Rossello, 2010).

Desde el punto de vista geológico el área estudiada pertenece a la cuenca sedimentaria Chacoparanaense (Ramos, 1999), la cual tiene una historia compleja relacionada con distintos procesos

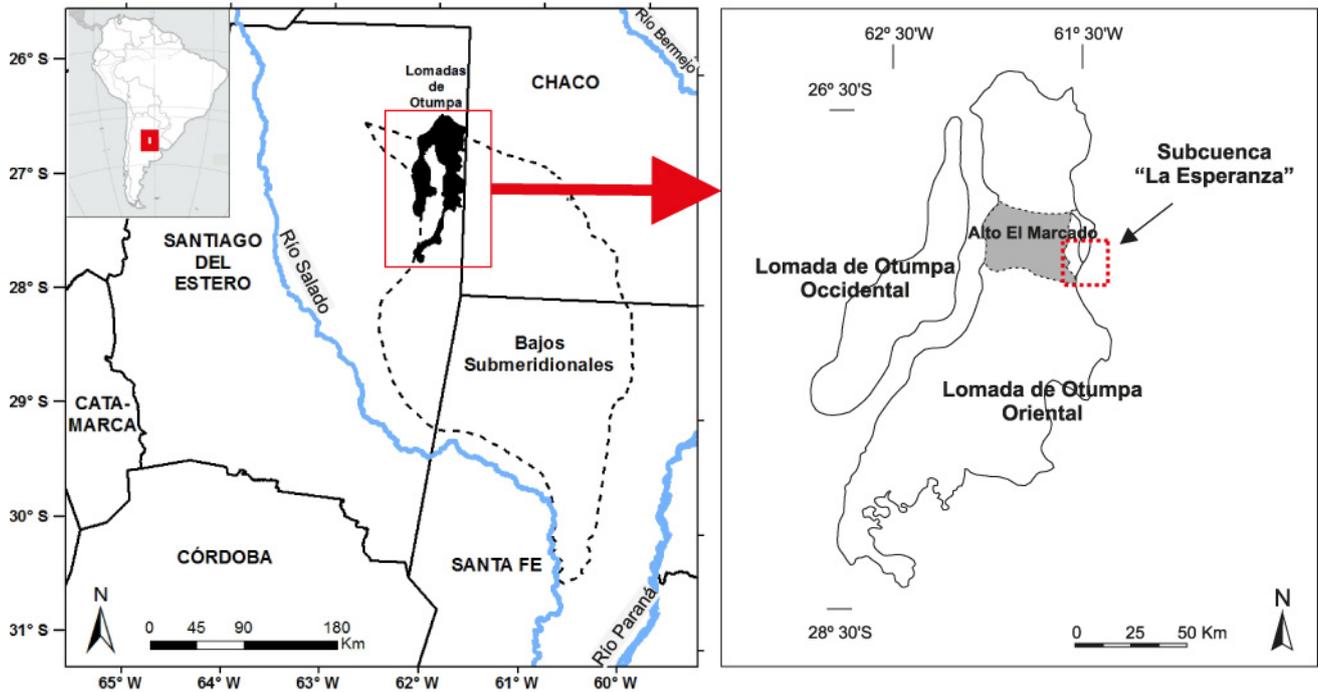


Figura 1. Ubicación del área en estudio.
 Figure 1. Location of the studied area.

de subsidencia extensional. Si bien los diferentes depocentros de la cuenca tienen un rico registro sedimentario, para el sector de interés en este trabajo la única unidad rocosa atribuible al sustrato prealuvial es la Formación Las Piedritas, la cual aflora en diversos puntos de las Lomas de Otumpa (Miró y Martos, 2002; Peri y Rossello, 2010). Consiste en capas de clastos de areniscas cuarcíticas silicificadas, que Miró y Martos (2002) correlacionan con las areniscas fluviales pliocenas de la Formación Ituzaingó, mientras que Coriale (2006) lo hace con las areniscas de edad jurásica-cretácica de la Formación Tacuarembó. Más allá de estas interpretaciones, la edad y significado geológico de estos registros sedimentarios son aún inciertos (Peri y Rossello, 2010). Durante el Cenozoico la sedimentación en la cuenca estuvo controlada por sistemas fluviales y aluviales efímeros, que luego fueron modificados por la acción eólica. Los materiales superficiales cuaternarios comprenden sedimentos loésicos, que se corresponderían con la Formación Urundel (Iriondo, 1990) del Pleistoceno-Holoceno inferior. Estos se interestratifican con los depósitos aluviales y fluvioeólicos del abanico del Río Salado (Peri, 2012). Para este sector del abanico, los movimientos neotectónicos poseen una significativa mayor

influencia relativa debido a una menor velocidad de sedimentación (Iriondo, 1984). Se considera que el Río Salado fue antecedente a la morfoestructura de las Lomas de Otumpa en algún momento del cuaternario, hecho evidenciado por la presencia de paleocauces transversales en ambos flancos de la estructura principal (Burbank *et al.*, 1996; Burbank y Anderson, 2001).

En lo que respecta al origen y composición de materiales parentales y suelos, la información disponible hasta ahora se ha generado sobre todo a partir de análisis difractométricos de las fracciones finas y análisis microscópicos de la fracción arena. En este sentido el estudio de la susceptibilidad magnética (SM) puede reflejar cambios en la fuente de origen y en la composición del mineral detrítico, en el balance entre componentes sedimentarios alóctonos y autóctonos, así como cambios producidos por diagenésis y pedogenésis (Mullins, 1977; Nabel *et al.*, 1999; Bartel, 2009; Liu *et al.*, 2010; Gómez Samus *et al.*, 2016). Existen dos modelos magnetoclimáticos generales que explican la variabilidad de la señal magnética en secuencias de loess-paleosuelos. El denominado de los “fuertes vientos” asume que durante períodos glaciales fueron transportadas y quedaron atrapadas

mayor cantidad de densas partículas magnéticas que en períodos interglaciales, por lo que la SM es mayor en el loess que en los niveles de paleosuelo. Por el contrario, el “modelo pedogénico” postula que la acción de procesos biológicos y/o químicos condujeron a la neoformación de minerales magnéticos, y consecuentemente, los paleosuelos son más magnéticos que el loess prístino (Bidegain *et al.*, 2005).

En el Chaco oriental no se dispone de antecedentes respecto a valores de susceptibilidad magnética de suelos y paleosuelos, aunque existe un número considerable de trabajos realizados en sedimentos loésicos y materiales edafizados de la llanura pampeana. Para suelos-paleosuelos pampeanos algunos autores han propuesto la influencia determinante del clima en los valores de la SM, a través de procesos de formación y/o destrucción de partículas superparamagnéticas en relación con las condiciones hídricas de los suelos (p.e., Orgeira y Compagnucci, 2006; Orgeira *et al.*, 2008; Gómez Samus *et al.*, 2016). Por su parte, otros autores han señalado la influencia determinante de los componentes litogénicos del material parental de los suelos en los valores de la SM (Nabel *et al.*, 1999; Morrás *et al.*, 2004a, b; Liu *et al.*, 2010). En lo referido al comportamiento de la señal magnética a lo largo de perfiles, se han encontrado diferentes tendencias. Por un lado, se reportaron aumentos de la SM en los horizontes B de suelos actuales -que sería debido a la neoformación de partículas finas magnéticas en esos horizontes- y/o disminuciones en paleosuelos (Orgeira *et al.*, 1998; Nabel *et al.*, 1999; Bartel *et al.*, 2005; 2011; Bressan, 2006; Bidegain *et al.*, 2009). Por otra parte, en otros casos se ha señalado también la disminución de la SM en los horizontes B respecto a los horizontes superficiales (Morrás *et al.*, 2004b; Orgeira y Compagnucci, 2006; Bartel, 2009). En consecuencia no existe un modelo validado para los sedimentos y suelos pampeanos.

Por otra parte, si bien han sido documentados los cambios climáticos, geomorfológicos y neotectónicos en la cuenca de los Bajos Submeridionales, la información detallada acerca de su influencia en el tipo, distribución y mineralogía de los suelos, está mayormente acotada al norte de la provincia de Santa Fe. Para este sector, se han diferenciado tres ambientes sedimentarios en base a su composición mineralógica y geoquímica (Morrás y Delaune, 1981, 1985; Morrás *et al.*, 1982; Morrás, 1999b, 2017a;

Moretti *et al.*, 2019). Estos coinciden con tres unidades geomorfológicas generadas por actividad tectónica, que consisten en dos bloques elevados o dorsales entre los cuales existe un área topográficamente deprimida, específicamente denominada Bajos Submeridionales (Gollán y Lachaga, 1939) o Chaco Deprimido (Morello, 1968). Para la Dorsal occidental -bloque más elevado cubierto por el loess de la Formación Tezanos Pinto- los resultados muestran dominancia de illita en la fracción fina, y vidrio volcánico, feldespatos y micas en las fracciones gruesas, en tanto los contenidos de fósforo total son más altos (Morrás y Delaune, 1981, 1985; Morrás *et al.*, 1980; Morrás, 1999a, b, 2017a). Esto sugiere que los materiales provienen de las Sierras Pampeanas y de los Andes, al igual que buena parte de los loess de la región Pampeana. En tanto, la Dorsal oriental se halla cubierta por las fajas fluviales de la Formación Ituzaingó, que de acuerdo con Iriondo (2012) está compuesta por una facies inferior de arena cuarzosa y escasa arcilla caolinítica, y una facies superior de textura más fina, dominada por illita en su base, por montmorillonita en su parte intermedia y nuevamente por illita en el sector superior. Para los materiales superficiales de esta Dorsal diversos trabajos revelaron la dominancia de esmectita en la fracción arcilla y de cuarzo en las fracciones más gruesas, con contenidos menores de fósforo total (Morrás *et al.*, 1982; Morrás y Delaune, 1985; Morrás, 1999a, b). Un modelo geopedológico propuesto para este bloque (Morrás, 2017b), sugiere que su levantamiento -ocurrido durante el Pleistoceno Medio- habría iniciado un proceso de erosión de la facies superior de la Formación Ituzaingó. Posteriormente, bajo las condiciones áridas del Pleistoceno Superior se habría depositado el loess de la Formación Tezanos Pinto, luego erosionado por la reactivación de cauces fluviales durante el período húmedo del Holoceno Medio, con la concurrencia de procesos neotectónicos. Procesos de deflación en períodos áridos del Holoceno Superior podrían haber contribuido luego también a la erosión de la Formación Tezanos Pinto. En consecuencia, fueron exhumados los sedimentos de la facies intermedia de la Formación Ituzaingó, constituyendo el material parental de los suelos actuales. En tanto que para el sector bajo intermedio o Chaco Deprimido, los datos composicionales muestran características de transición entre ambas dorsales.

Para el extremo noreste de Santiago del Estero,

a partir de la cartografía semidetallada (Vizgarra *et al.*, 2018b), como así también de estudios mineralógicos y micromorfológicos en diferentes perfiles (Moretti *et al.*, 2017, 2018), se han podido realizar interpretaciones preliminares acerca del origen y distribución de los suelos. En este caso, los procesos neotectónicos habrían provocado la erosión de superficies preexistentes y el retrabajo de esos materiales, generando perfiles caracterizados por la presencia de numerosas discontinuidades litológicas.

En resumen, para el ámbito de la cuenca de los Bajos Submeridionales han sido propuestas distintas áreas de aporte sedimentario, así como también, procesos geomorfológicos controlados por la dinámica climática y tectónica regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área en estudio

El área en estudio comprende el sector santiagueño de la subcuenca La Esperanza, delimitada por Vizgarra *et al.* (2018a), en el extremo noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales (Fig. 1). Este sector de la provincia de Santiago del Estero se ubica en la región del Chaco sub-húmedo central, con una precipitación media anual entre 650-900 mm y temperatura media anual de 19,6°C (Boletta, 2001). La vegetación natural predominante de tipo arbóreo está compuesta por los “tres quebrachos”: *Schinopsis balansae*, *Schinopsis lorentzii* y *Aspidosperma quebracho-blanco* (Morello *et al.*, 2012). El área ha sufrido en la última década un importante proceso desmonte para habilitar nuevas tierras para la producción agrícola (Volante *et al.*, 2014; Camba Sans, 2015). Además del tradicional cultivo de algodón, los cultivos de verano son actualmente maíz y soja, y trigo en invierno.

Geomorfológicamente, esta región ha sido denominada informalmente como Planicie Santafesina Remanente por Angueira *et al.* (2007) o Dorsal Charata por Miró y Martos (2002), mientras que Rossello y Bordarampé (2005) la formalizan como Región Geomorfológica Lomadas de Otumpa. Consiste en dos lomadas principales conformadas por altos topográficos tipo domos asimétricos, denominadas Lomada de Otumpa Oriental y Occidental (Peri, 2012). La subcuenca La Esperanza se extiende en la primera, específicamente en la ladera

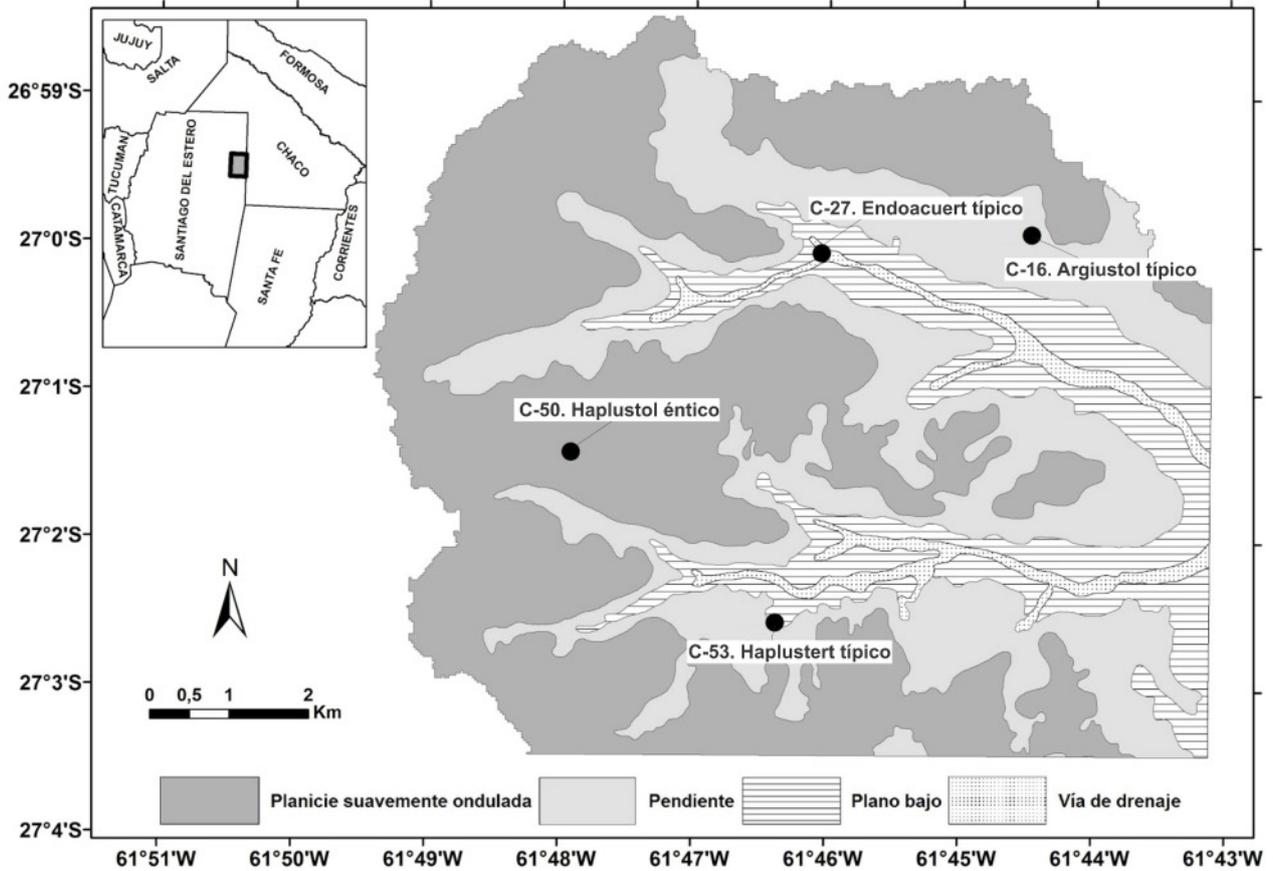
oriental del alto topográfico El Mercado (Fig. 1). La pendiente regional es en dirección SE, mientras que en el ámbito de la subcuenca predominan pendientes hacia el NNE y ENE, con direcciones subordinadas hacia el ESE y SSE. El valor de pendiente promedio es de 0,54%, alcanzando valores máximos de 1,46%.

Según el Mapa de Suelos de la provincia de Santiago del Estero escala 1:500.000 (Vargas Gil, 1990), los suelos dominantes corresponden a Molisoles (Argiudoles ácuicos y Argiustoles údicos), con drenaje deficiente y erosión hídrica como principales limitantes. Por otra parte, trabajos recientes realizados en el ámbito de la subcuenca La Esperanza, revelaron la presencia de Vertisoles y Alfisoles, entre otros suelos de diferente grado de desarrollo (Moretti *et al.*, 2017; Vizgarra *et al.*, 2018a, b). De acuerdo con estas últimas publicaciones, el área cartografiada comprende a una planicie fluvioeólica disectada en donde Haplustoles énticos y típicos ocupan los sectores más elevados del paisaje (planicies suavemente onduladas), mientras que Argiustoles típicos y Haplustales incépticos se desarrollan mayormente en las pendientes de ladera. En los sectores planos y bajos del paisaje (planicies de inundación) dominan Haplustertes típicos y údicos, y Endoacuertes típicos acotados a las vías de drenaje.

Selección, descripción morfológica y muestreo de los perfiles

Sobre la base del análisis de la relación paisaje-suelo, reflejada en la cartografía semidetallada del sector santiagueño de la subcuenca La Esperanza (Vizgarra *et al.*, 2018b), se seleccionaron cuatro perfiles de suelo representativos, uno por cada unidad geomorfológica. El perfil C-50 corresponde a un Haplustol éntico (Serie Santa Rita) ubicado en la unidad de la planicie suavemente ondulada, el perfil C-16 a un Argiustol típico (Serie La Naranjita) de la pendiente, el C-53 a un Haplustert típico (Serie Pardos) desarrollado en el plano bajo y el perfil C-27 a un Endoacuert típico (Serie Doña Rosa), que ocupa la vía de drenaje de la subcuenca (Fig. 2).

La descripción morfológica de los suelos se realizó en base a las normas propuestas por Schoeneberger *et al.* (2012) y se sintetiza en la Tabla 1. De cada perfil se extrajeron muestras de cada horizonte para los análisis físicos, químicos y mineralógicos. Complementariamente, y para el



C-50. Haplustol éntico
Serie Santa Rita

C-16. Argiustol típico
Serie La Naranjita

C-53. Haplustert típico
Serie Pardos

C-27. Endoacuert típico
Serie Dofía Rosa

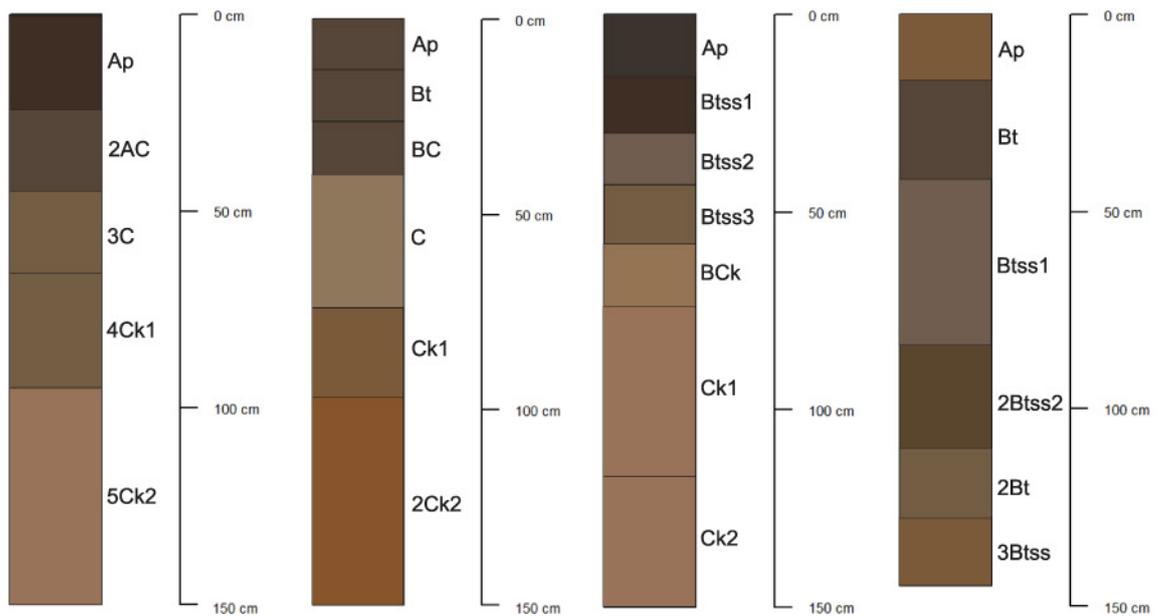


Figura 2. Mapa geomorfológico de la subcuenca La Esperanza (Santiago del Estero) y perfiles estudiados (colores en húmedo según el sistema Munsell).

Figure 2. Geomorphological map of the La Esperanza sub-basin (Santiago del Estero) and profiles studied (wet colors according to the Munsell system).

Hz	Prof. cm	Color (húmedo)	Estructura tipo; clase; grado	Rasgos pedológicos	Arena %	Limo %	Arcilla %	M.O. %	CIC total cmol(+).kg ⁻¹	CIC arc. cmol(+).kg ⁻¹	H eq %
Perfil C-50, Haplustol éntico. Planicie suavemente ondulada. (Lat. 27° 1' 28,25"S; Long. 61°47' 39,25"O)											
Ap	0-24	10YR 2/2	bloq. ang.; med.; ftes.	-	5,5	56,2	38,3	3,7	27,7	48,2	41,9
2AC	24-45	10YR 3/2	bloq. ang.; med.; déb.	-	12	75,8	12,2	1,1	26,9	197,5	30,4
3C	45-66	10YR 4/3	masiva	-	21,8	69,1	9	0,6	24,6	255,6	32,8
4Ck1	66-95	10YR 4/3	masiva	-	41,6	51,7	6,7	0,4	24,4	348,1	27,7
5Ck2	95-150	7,5YR 5/4	masiva	-	22,2	66,4	11,3	0,2	21,6	186,6	32,0
Perfil C-16, Argiustol típico. Pendiente. (Lat. 26° 59' 56,75"S; Long. 61°44' 8,88"O)											
Ap	0-13	10YR 3/2	bloq. ang.; g.; ftes.	-	4,8	54,3	40,9	2,8	28,9	53,7	32,3
Bt	13-26	10YR 3/2	bloq. ang.; med.; ftes.	rev. cl-húm. esc.	3,8	57	39,3	2,3	30,5	62,9	46,7
BC	26-40	10YR 3/2	bloq. ang.; med.; mod.	-	4,9	71	24,1	1,6	30,2	108,3	28,7
C	40-74	10YR 5/3	masiva	-	4,8	82	13,2	1,3	28,2	189,5	26,8
Ck1	74-97	10YR 4/4	masiva	-	15,3	75,6	9,1	0,9	26,2	263,8	24,4
2Ck2	97-150	7,5YR 4/6	masiva	-	5,6	70	24,4	0,6	25,4	98,1	25,0
Perfil C-53, Haplustert típico. Plano bajo. (Lat. 27° 2' 41,32"S; Long. 61°46' 4,71"O)											
Ap	0-16	10YR 2/1	bloq. ang.; med.; ftes.	-	3,2	51,4	45,4	2,7	27,3	45,1	32,2
Btss1	16-30	10YR 2/2	pr.; g.; mod.	rev. cl-húm. abund.; slick. esc.	3,2	53,7	43	1,4	29,6	60,5	34,6
Btss2	34-43	10YR 4/2	pr.; g.; mod.	rev. cl-húm. abund.; slick. esc.	3,2	56,4	40,3	1,0	30,1	68,6	33,3
Btss3	43-58	10YR 4/3	pr.; med.; mod.	rev. cl-húm. esc.; slick. esc.	3,5	64,9	31,6	0,7	32,1	95,7	33,3
Bck	58-74	10YR 5/4	bloq. ang.; g.; déb.	nód. de CaCO3 esc.	15,3	61,2	23,5	0,4	29,4	120,3	28,8
Ck1	74-117	7,5YR 5/4	masiva	nód. de CaCO3 esc.	25,1	55,8	19,1	0,3	26,4	133,7	27,8
Ck2	117-150	7,5YR 5/4	masiva	nód. de CaCO3 abund.	22,5	64,4	13,1	0,2	25,9	193,1	28,6
Perfil C-27, Endoaquert típico. Via de drenaje. (Lat. 27° 0' 5,50"S; Long. 61°45' 45,19"O)											
Ap	0-17	10YR 4/4	bloq. ang.; med.; ftes.	-	8,2	60,3	31,5	2,7	22,8	51,2	37,8
Bt	17-42	10YR 3/2	bloq. ang.; g.; ftes.	rev. cl-húm. abund.	7,9	51,3	40,8	1,5	26,1	55,0	36,8
Btss1	42-84	10YR 4/2	pr.; g.; ftes. / bloq. cun.	rev. cl-húm. abund.; slick. abund.; mot. com.; nód. de Fe-Mn esc.	6,5	43	50,5	0,7	29,9	55,5	49,1
2Btss2	84-110	10YR 3/3	pr.; med.; ftes. / bloq. cun.	rev. cl-húm. muy abund.; slick. esc.; mot. com.; nód. de Fe-Mn esc.	27,1	45,7	27,2	0,4	28,0	99,1	35,6
2Bt	110-128	10YR 4/3	pr.; med.; ftes.	rev. cl-húm. abund.; mot. com.; nód. de Fe-Mn esc.	24,8	50,4	24,8	0,3	26,4	102,3	33,1
3Btss	128-145	10YR 4/4	pr.; g.; ftes. / bloq. cun.	rev. cl-húm. muy abund.; slick. esc.; mot. esc.; nód. de Fe-Mn com.	4,8	42,8	52,3	0,1	30,1	56,9	50,9

Tabla 1. Descripción sintética y datos analíticos de los suelos estudiados. Referencias: Estructura: pr.: prismas; bloq.: bloques; sub.: subangulares; ang: angulares; cun.: cuneiformes; f.: finos; m.: medios; g.: gruesos; déb.: débiles; mod.: moderado; fte.: fuerte. Rasgos pedológicos: rev.: revestimientos; cl-húm.: clay-húmicos; slick: slickensides; nód.: nódulos (CaCO3: carbonato de calcio; Fe-Mn: hierro-manganeso); mot.: moteados; f.: finos; abund.: abundantes; com.: comunes; esc.: escasos.

Table 1. Brief description and analytical data of the studied soil profiles. References: Structure: pr.: prisms; bloq.: blocky; sub.: subangular; ang: angular; cun.: wedge-shaped; f.: fine; m.: medium; g.: coarse; déb.: weak; mod.: moderate; fte.: strong. Pedological features: rev.: coatings; cl-hum.: clay-húmic; slick.: slickensides; nód.: nodules (CaCO3: calcium carbonate; Fe-Mn: iron-manganeso); mot.: mottles; f.: fine; abund.: abundant; com.: common; esc.: scarce.

estudio de la mineralogía magnética, se colectaron muestras a intervalos de 10 cm de profundidad. También, de horizontes seleccionados de cada perfil se obtuvieron muestras orientadas no disturbadas en cajas de Kubiena para estudios micromorfológicos.

Análisis físicos y químicos

Las muestras colectadas fueron secadas en estufa a 40 °C, molidas y tamizadas a fin de obtener la tierra fina (fracción <2mm). Se efectuaron análisis físicos y químicos, de los cuales se seleccionaron: granulometría por el método de la pipeta de Robinson, materia orgánica por la técnica Walkley-Black, humedad equivalente por centrifugación (40 minutos a 2400 rpm) de muestras saturadas con agua y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación con ACNH₄ pH 7 (metodologías estandarizadas por el Laboratorio del Instituto de Suelos del INTA y por la Red interlaboratorios PROINSA). Además se calculó la CIC de la fracción arcilla a partir de la CIC total del suelo, descontando la CIC atribuible a la materia orgánica, estimada aquí en 250 cmol(+).kg⁻¹.

Estudios micromorfológicos

Se llevaron a cabo en tres horizontes para el caso de los perfiles C-50, C-16, C-53 y en dos horizontes para el C-27, los cuales fueron seleccionados a partir de sus características morfológicas y/o rasgos pedológicos más relevantes. Las muestras fueron impregnadas con resina sintética y se prepararon cortes delgados en láminas de aproximadamente 40 cm² de superficie. Estos cortes fueron analizados por microscopía óptica de polarización con instrumental Wild equipado para microfotografía, efectuándose la descripción cualitativa de acuerdo a los criterios y terminología expuestos en Loaiza *et al.* (2015).

Análisis mineralógicos

Los estudios mineralógicos, llevados a cabo en el Laboratorio de Mineralogía y Micromorfología del Instituto de Suelos del INTA Castelar, se efectuaron por difracción de rayos X (DRX) del suelo total en polvo natural y en la fracción arcilla, mediante un difractómetro PANanalytical X'Pert PRO con anticátodo de Cu. Para la separación de la fracción <2 μm, las muestras de suelo fueron tratadas

con peróxido de hidrógeno para la eliminación de la materia orgánica, con ácido acético para la eliminación de los carbonatos y con hexametáfosfato de sodio para obtener la dispersión del material. La fracción arcilla se obtuvo por sedimentación de acuerdo a la ley de Stokes, siendo finalmente saturada con magnesio. Los análisis difractométricos de la arcilla se realizaron a partir de muestras orientadas naturales, saturadas con etilenglicol y calcinadas en estufa a 520°C durante 2 horas. La susceptibilidad magnética en masa (χ), se determinó utilizando un equipo Bartington MS2 con un sensor MS2B. Las muestras se midieron en masa específica (m³.kg⁻¹) a baja frecuencia (0,465 kHz).

RESULTADOS

Propiedades morfológicas

En la Tabla 1 y Fig. 2. se sintetizan las principales características morfológicas de los cuatro perfiles estudiados.

El Haplustol éntico domina en la planicie suavemente ondulada, unidad geomorfológica de mayor extensión en la subcuenca. Se caracteriza por la presencia de un potente horizonte Ap de 24 cm de espesor, estructurado en bloques, de color pardo muy oscuro. Subyace en discontinuidad litológica un horizonte transicional 2AC, de similar estructura y de color pardo grisáceo muy oscuro. En profundidad se describen una serie de capas C en discontinuidad litológica, de estructura masiva y de colores pardo a pardo oscuro.

El Argiustol típico es representativo de las unidades de pendiente (muy suaves a suavemente onduladas) en la subcuenca. Posee un horizonte Ap de 13 cm, estructurado en bloques, de color pardo grisáceo muy oscuro, que sobreyace a un horizonte Bt de similar estructura y mismo color. Por debajo se reconoce un horizonte transicional BC de características morfológicas similares y, a los 40 cm de profundidad, el material parental compuesto por una serie de capas C de estructura masiva. La primera capa (C) es de color pardo, la siguiente (Ck1) pardo amarillento oscuro, mientras que la capa 2Ck2 –que subyace en discontinuidad litológica– es de color pardo fuerte. El carbonato de calcio se presenta diseminado a partir de los 74 cm de profundidad.

El Haplustert típico se desarrolla en los sectores planos y bajos del paisaje, circundantes a las vías de

drenaje en la subcuenca. Presenta un horizonte Ap de 16 cm de color negro, seguido entre los 16 y 58 cm por una serie de horizontes Bt de estructura prismática, con caras de fricción y colores que varían de pardo a pardo muy oscuro. Por debajo, en el horizonte BC de color pardo amarillento y en el material parental (Ck1 y Ck2) de color pardo, se describen concreciones de carbonato de calcio, más abundantes hacia la base del perfil.

El Endoacuert típico se encuentra acotado a las vías de drenaje de la subcuenca. Todo el perfil estudiado se halla edafizado y fueron identificadas dos discontinuidades litológicas (84 cm y 128 cm). Se reconoce un horizonte Ap de 17 cm de espesor, con estructura en bloques y de color pardo amarillento oscuro. Por debajo se describe un horizonte Bt de similar estructura y de color pardo grisáceo, mientras que a partir de los 42 cm se presentan una serie de horizontes Bt con estructura primaria en prismas con diferentes grados de desarrollo y, en la mayoría de los casos, una estructura secundaria en agregados cuneiformes. El horizonte Btss1 es de color pardo grisáceo oscuro, los horizontes 2Btss2 y 2Bt varían entre pardo y pardo oscuro, y el 3Btss es pardo amarillento oscuro. Se describen además rasgos redoximórficos como moteados y concreciones de hierro-manganeso, los cuales son más abundantes en la base del perfil.

Análisis físicos y químicos

El horizonte Ap del Haplustol es de textura franco arcillo limosa, variando mayormente a franco limosa en los horizontes subsuperficiales (Tabla 1). De manera similar, el Argiustol es de textura arcillo limosa a franco arcillo limosa en superficie (horizontes Ap y Bt respectivamente) y franco limosa en profundidad. Por su parte, el Haplustert es de textura arcillo limosa en sus horizontes Ap, Btss1 y Btss2, franco arcillo limosa en el Btss3, variando a franco limosa en la base del perfil (horizontes BCk, Ck1 y Ck2). Finalmente, el Endoacuert tiene texturas que varían de franco arcillo limosa a arcillo limosa desde la superficie hasta los 84 cm –donde se registra una discontinuidad litológica–, a franco arcillosa en profundidad.

Todos los suelos están bien provistos en materia orgánica en superficie (entre 2,7 y 3,7%). La CIC total determinada para los cuatro perfiles varía entre 21,6 y 30,5 cmol(+).kg⁻¹, mientras que la CIC

estimada para la fracción arcilla muestra valores muy disímiles en cada caso. En el Haplustol, salvo en el horizonte Ap, los valores aparecen exageradamente elevados (>180 cmol(+).kg⁻¹), en el Argiustol los valores anómalos se registran a partir del horizonte BC (>108 cmol(+).kg⁻¹), en el Haplustert el aumento más notorio ocurre al nivel del horizonte BCk (>120 cmol(+).kg⁻¹), mientras que en el Endoacuert los valores son normales, oscilando aproximadamente entre 50 y 100 cmol(+).kg⁻¹, y observándose el mayor cambio a partir de la primer discontinuidad litológica (horizonte 2Btss2). Por su parte, los valores de humedad equivalente se encuentran en un rango aproximado de entre 24 y 50 %, presentando una amplia variabilidad en cada perfil estudiado.

Micromorfología

En la Tabla 2 se consignan las descripciones micromorfológicas sintéticas de los cuatro perfiles estudiados.

Como características comunes a todos los cortes analizados, los componentes minerales gruesos que conforman el esqueleto están constituidos mayoritariamente por cuarzo, feldespatos (plagioclasas y microclinos), algo menos de vidrio volcánico ácido con canalículos y vesículas, que se presenta fresco, y en menor medida, mica (muscovita y biotita), hornblenda verde y minerales opacos. Los granos presentan distribución al azar, sin orientación preferencial y son de forma angular y subangular. Para la masa basal se determinó un límite grueso/fino (g/f) de 20 μm y una distribución relacionada g/f variable según el perfil. En el caso de los horizontes Ap, los componentes orgánicos comprenden restos vegetales carbonizados producto de la quema –práctica de manejo generalizada para la habilitación de las tierras en la región– y ocasionales restos de organismos no determinados de la meso fauna del suelo (Figs. 3a, 5a). En todos los horizontes se evidencia una intensa actividad de la meso fauna del suelo, observable a través de abundantes canales y cavidades, en gran parte rellenos con deyecciones (p.e., Figs. 5a, 6a, 7c).

El Haplustol se caracteriza por una estructura granular en el horizonte Ap, constituida mayoritariamente por microagregados coalescentes de origen fecal, con un tamaño medio de 200 μm (Fig. 3a). Por el contrario el horizonte 3C se caracteriza por numerosos agregados densos, subredondeados,

Perfil-Hz	Microestructura	Masa basal	Pedorrasgos
C50-Ap	Estructura granular. Poros de empaquetamiento compuesto. Cavidades y canales (frec.).	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica abierta. Fábrica-b indiferenciada	Canales rellenos con agregados esféricos (frec.)
C50-3C	Estructura granular que incluye agregados subredondeados de hasta 4mm de diámetro (abund.). Poros de empaquetamiento compuesto. Cavidades y canales (com.).	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica abierta. Fábrica-b indiferenciada	Canales rellenos con agregados esféricos de origen biológico (dyecciones) (com.). Fragmentos de revestimientos de arcilla, redondeados (ocas.). Gránulos humíferos (ocas.).
C50-5Ck2	1- Estructura en bloques déb. sep.; Porosidad representada por fisuras. Canales y cavidades (ocas.) 2- Agregados subredondeados (diámetro entre 0,5 y 4 mm) incluidos en una matriz más fina en parte granular, dominada por poros de empaquetamiento compuesto.	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica abierta. Fábrica-b indiferenciada y cristalítica	Hiporrevestimientos y nódulos de carbonato de calcio micrítico, (com.). Revestimientos de arcilla microlaminados fragmentados, en la superficie de bloques (ocas.). Fragmentos de revestimientos de arcilla subredondeados laminados, de tamaño variado, sueltos en el sector de agregados subredondeados (com.). Microagregados humíferos redondeados (ocas.). Nódulo anórtico de matriz, con distribución porfírica simple, con abundantes granos angulares y subangulares de cuarzo (raros). Nódulo anórtico transparente, isotrópico, con finas láminas de arcilla birrefringente (raros).
C16-Ap	Estructura primaria en bloq. sub, mod. sep. y secundaria granular. Poros de empaquetamiento compuesto. Canales y cavidades (frec.).	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica simple a doble. Fábrica-b moteada	Canales rellenos con agregados esféricos (frec.)
C16-BC	Estructura en bloq. sub. déb. sep. Se observan agregados subredondeados (diámetro entre 0,5 y 3 mm) (frec.). Poros de empaquetamiento compuesto y fisuras. Canales y cavidades (com.)	$g/f_{20\mu m}$ 30:70. Distribución relacionada g/f: porfírica abierta en agregados pequeños y porfírica simple a doble en los de mayor tamaño. Fábrica-b indiferenciada	Canales rellenos con agregados esféricos (frec.). Nódulos de carbonato de calcio micrítico (ocas.)
C16-C	Estructura en bloq. sub. déb. sep. Se observan agregados subredondeados (diámetro entre 0,5 y 6 mm) (abund.). Poros de empaquetamiento compuesto y fisuras. Canales y cavidades (com.)	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica simple a doble. Fábrica-b moteada	
C53-Btss2	Estructura en bloq. sub. mod. sep. y parcialmente acomodados. Porosidad dominada por fisuras. Canales y cavidades (frec.)	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica abierta y grano simple. Fábrica-b poroestrada, granoestrada y moteada	Revestimientos de arcilla orientada en fisuras y poros internos, finos (frec.). Cavidades rellenas con dyecciones (com.). Nódulos de hierro-manganeso de hasta 0,3 mm de diámetro medio (frec.)
C53-Ck1	Estructura granular que incluye agregados subredondeados (diámetro entre 0,5 y 2 mm) (frec.). Poros de empaquetamiento compuesto. Canales y cavidades (com.)	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfírica abierta. Fábrica-b moteada	Micronódulos anórticos de matriz con arcilla límpida orientada en bordes e interior (ocas.). Túbulo con capas concéntricas de textura contrastante (de arcilla orientada y de material similar a la matriz) (raros). Nódulos e hiporrevestimientos de carbonato de calcio micrítico (ocas.). Nódulos de hierro-manganeso, de hasta 0,3 mm de diámetro medio (ocas.).

Tabla 2 continúa en página siguiente...

C53-Ck2	1- Estructura en bloques. Porosidad representada mayormente por fisuras. Canales y cavidades (ocas.). 2- Agregados subredondeados (diámetro entre 0,5 y 6 mm) incluidos en una matriz más fina en parte granular. Poros de empaquetamiento compuesto. Canales y cavidades (com.)	1- $g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfirica simple a doble. 2- $g/f_{20\mu m}$ 30:70. Distribución relacionada g/f: porfirica abierta. Fábrica-b indiferenciada	Nódulos de hierro-manganeso de hasta 0,3 mm de diámetro medio (com.). Carbonato de calcio micrítico en nódulos (frec.) y como hiporevestimientos.
C27-Btss1	Estructura en bloq. ang. y agregados cuneiformes, fuert. sep. y acomodados. Porosidad dominada por fisuras. Cavidades y canales (frec.).	$g/f_{20\mu m}$ 30:70. Distribución relacionada g/f: porfirica abierta. Fábrica-b poroestriada a moteada	Revestimientos de arcilla orientada en fisuras y poros internos, finos y medios (abund.). Canales y cavidades rellenos con deyecciones (frec.).
C27-2Btss2	Estructura en bloq. ang. y sub. mod. sep. y parcialmente acomodados. Porosidad representada por fisuras. Canales y cavidades (frec.)	$g/f_{20\mu m}$ 40:60. Distribución relacionada g/f: porfirica simple a doble. Fábrica-b moteada	Revestimientos de arcilla orientada en fisuras y poros internos, finos y medios (abund.). Cavidades rellenas con deyecciones (com.). Nódulos de hierro-manganeso de 0,3 mm de diámetro medio (ocas.).

Tabla 2. Descripción micromorfológica sintética de los suelos estudiados. Referencias: Microestructura: bloq.: bloques; sub.: subangulares; ang: angulares. Grado de separación de agregados: déb. sep.: débilmente separados; mod. sep.: moderadamente separados; fte. sep.: fuertemente separados. Abundancia: abund.: abundantes; frec.: frecuentes; com.: comunes; ocas.: ocasionales; raros. Masa basal: $g/f_{20\mu m}$: relación grueso/fino.

Table 2. Brief micromorphological description of the studied soil profiles. References: Microstructure: bloq.: blocky; sub.: subangular; ang.: angular. Degree of ped separation: déb. sep.: weakly separated; mod. sep.: moderately separated; fte. sep.: highly separated. Abundance: abund.: abundant; frec.: frequent; com.: common; ocas.: occasional; rare. Groundmass: $g/f_{20\mu m}$: coarse/fine relationship.

con límites lisos y netos, incluidos en una matriz más fina. Estos son de tamaño variado, en general entre 1-2 mm de diámetro y tamaños máximos de 4 mm de diámetro (Fig. 3b). Se destaca la presencia de pequeños fragmentos de revestimientos de arcilla, de bordes redondeados, así como microagregados humíferos, redondeados, que contrastan con la matriz del resto de los agregados (Fig. 3c-d). En la base del perfil (5Ck2) se presentan dos sectores con características morfológicas bien definidas, donde una estructura relicta en bloques pasa lateralmente a una estructura similar a la del horizonte 3C, con abundantes agregados subredondeados (Fig. 4a). En el borde de bloques se observan revestimientos microlaminados fragmentados, en tanto en el sector de agregados redondeados se presentan también fragmentos sueltos de revestimientos de arcilla laminada, con bordes redondeados (Fig. 4b). También resalta un agregado subredondeado, de tamaño considerable, cuya matriz presenta abundantes granos de cuarzo angulares y subangulares (Fig. 4c-d). Son frecuentes pequeños nódulos de calcita de tamaño micrítico.

Por su parte, el Argiustol presenta estructura

en bloques subangulares en el horizonte Ap y en el BC (Fig. 5a-b). También se identifican agregados subredondeados en la base del solum (BC) (Fig. 5b), y principalmente en el material parental (Fig. 5c).

El Haplustert presenta estructura en bloques subangulares en el horizonte Btss2, con revestimientos orientados de arcilla como pedorrasgo principal (Fig. 6a), en tanto que en los horizontes Ck1 (Fig. 6b) y Ck2 (Fig. 6c) se observa una morfología similar a la descrita en el Haplustol, para los horizontes 3C y 5Ck2 respectivamente. En el horizonte Ck1 se presentan pequeños nódulos redondeados con una matriz similar a la del entorno, pero con arcilla límpida orientada en su interior y en caras externas (Fig. 6e-f). También se presenta un túbulo con capas concéntricas de textura contrastante, con apariencia coherente en comparación con el entorno de microagregados sueltos (Fig. 6d-e).

Por último, el Endoacuert se caracteriza por su microestructura en bloques angulares, algunos con morfología cuneiforme (Fig. 7a). Presenta abundantes revestimientos orientados de arcilla sobre las paredes de canales y fisuras (Figs. 7b, 7d). La fábrica-b es de tipo poroestriada a moteada en el

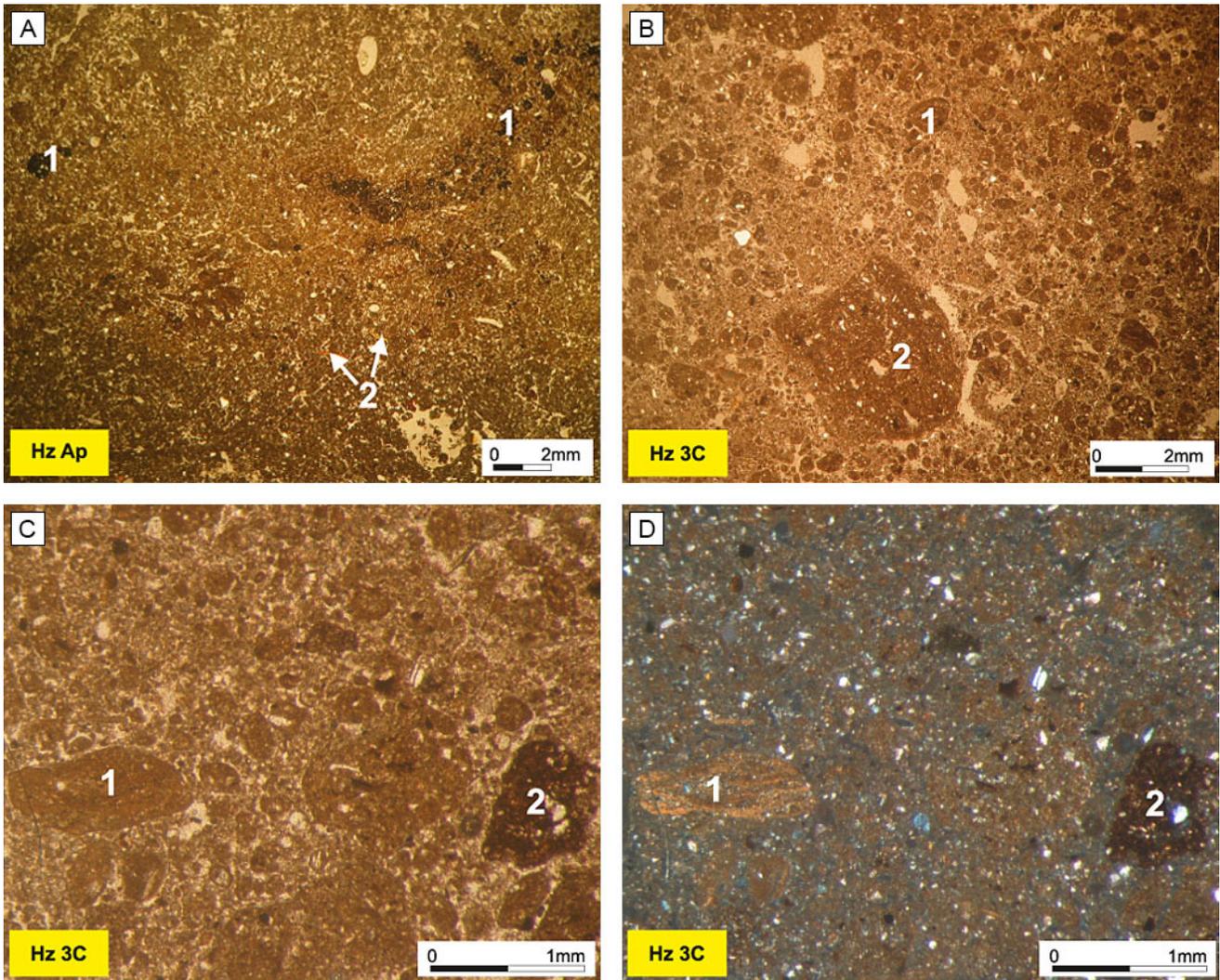


Figura 3. Perfil C-50 (Haplustol éntico), horizontes Ap y 3C. Fotografías de cortes delgados bajo microscopía óptica de transmisión. **a)** luz polarizada plana: (1) restos vegetales carbonizados, (2) restos de fauna; **b)** luz polarizada plana: (1) ejemplo de agregado subredondeado, (2) bloque subangular fragmentado, incluido en una matriz con abundantes agregados de menor tamaño; **c)** luz polarizada plana: (1) fragmento de revestimiento de arcilla microlaminada, (2) gránulo humífero; **d)** el mismo campo que c), luz polarizada cruzada.

Figure 3. Profile C-50 (Entic Haplustoll), horizons Ap and 3C. Photographs of thin sections under transmission optical microscopy. **a)** plane polarized light: (1) carbonized vegetable remains, (2) faunal remains; **b)** plane polarized light: (1) example of sub-rounded aggregate, (2) fragmented subangular block within a matrix with abundant aggregates of smaller size; **c)** plane polarized light: (1) microlaminated clay coating fragment, (2) humus granule; **d)** the same field as in c), crossed polarized light.

horizonte Btss1 y moteada en el horizonte 2Btss2. En este último se reconocen ocasionales nódulos de hierro-manganeso (Fig. 7c).

Análisis mineralógicos

Suelo total. La composición mineralógica detectada por DRX sobre muestras de polvo en todos los perfiles se caracteriza por la abundancia de cuarzo y feldespatos, estos últimos compuestos por

plagioclasas y feldespatos potásicos en diferentes proporciones. De menor intensidad son las reflexiones correspondientes a micas y arcillas micáceas (10 Å), calcita y otros minerales accesorios. Para el caso presentado aquí (Haplustol éntico), además se observan reflexiones cercanas a los 2.70 Å, atribuibles a hematita, a partir del horizonte 2AC (Fig. 8).

Fracción arcilla. Los diagramas de DRX (Fig. 9)

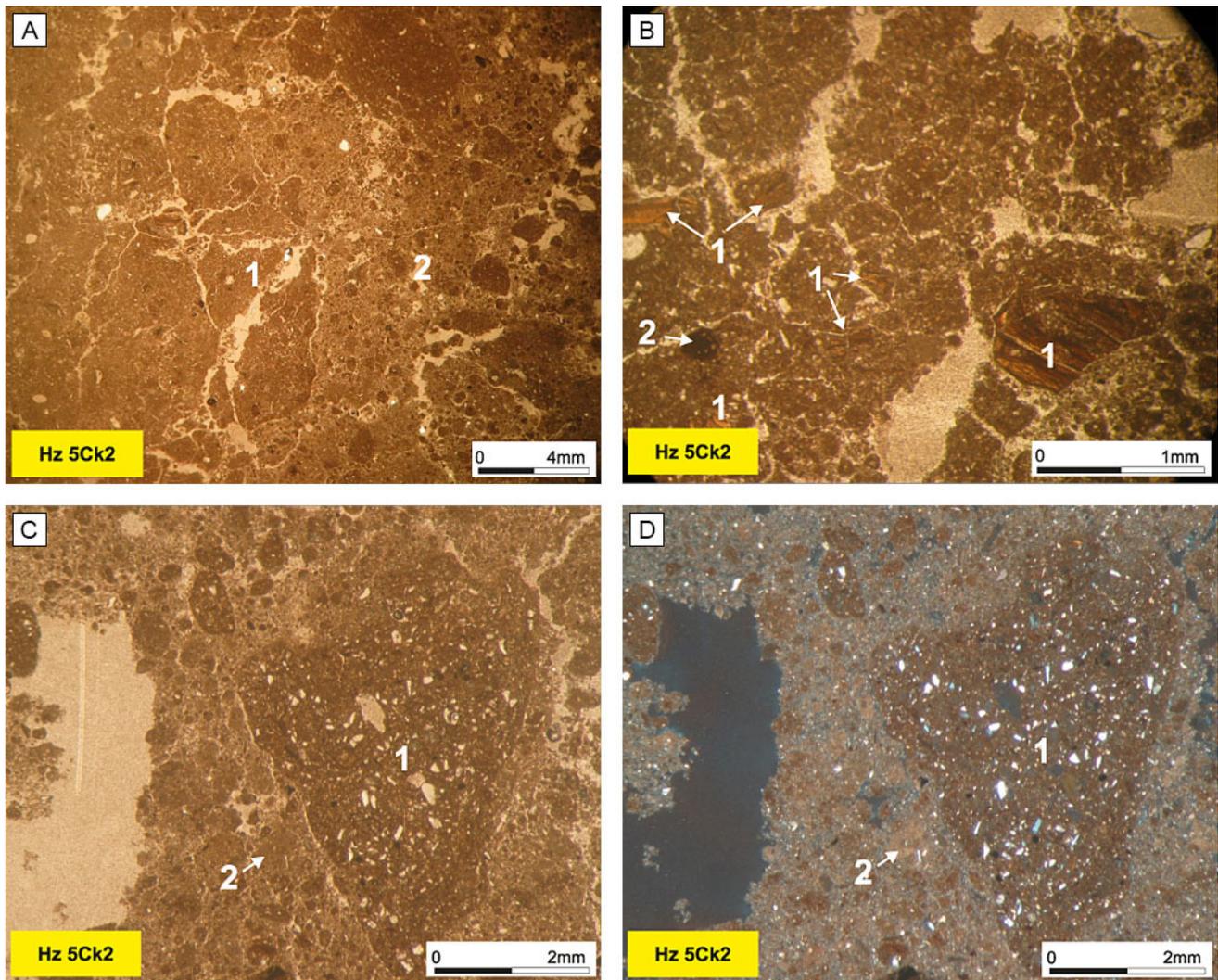


Figura 4. Perfil C-50 (Haplustol éntico), horizonte 5Ck2. Fotografías de cortes delgados bajo microscopía óptica de transmisión. **a)** luz polarizada plana: (1) estructura en bloques, (2) sector dominado por agregados subredondeados; **b)** luz polarizada plana: (1) fragmentos de revestimientos de arcilla subredondeados laminados, (2) microagregado humífero redondeado; **c)** luz polarizada plana: (1) agregado subredondeado heredado, cuya matriz se compone de abundantes granos angulares y subangulares de cuarzo, (2) nódulo de carbonato de calcio micrítico; **d)** el mismo campo que c), luz polarizada cruzada.

Figure 4. Profile C-50 (Entic Haplustoll), horizon 5Ck2. Photographs of thin sections under transmission optical microscopy. **a)** plane polarized light: (1) blocky structures, (2) sector where sub-rounded aggregates dominate; **b)** plane polarized light: (1) fragments of laminated sub-rounded clay coatings, (2) humic rounded microaggregate; **c)** plane polarized light: (1) sub-rounded inherited aggregate where the matrix is composed of abundant angular and subangular quartz grains, (2) nodule of micritic calcium carbonate; **d)** the same field as in c), crossed polarized light.

indican para todos los perfiles la dominancia de illita (I; pico a 10 Å), seguido en menor medida por caolinita (K; pico a 7.1 Å) y la presencia de una serie de reflexiones continuas hacia los pequeños ángulos. Los tratamientos complementarios muestran el desplazamiento de estas reflexiones hacia aproximadamente los 18 Å en las muestras gicoladas, mientras que calentamiento provoca la disminución de estos picos y el refuerzo del

correspondiente a 10 Å, además de la destrucción del pico de 7.1 Å. Si bien se deberá profundizar en su estudio, este comportamiento sugiere en principio la presencia de interestratificados irregulares de illita-esmectita (I-S).

Para el caso del horizonte Ap del Haplustol, se observa una mayor intensidad de los picos de illita y caolinita, mientras que la proporción de componentes expandibles en los minerales

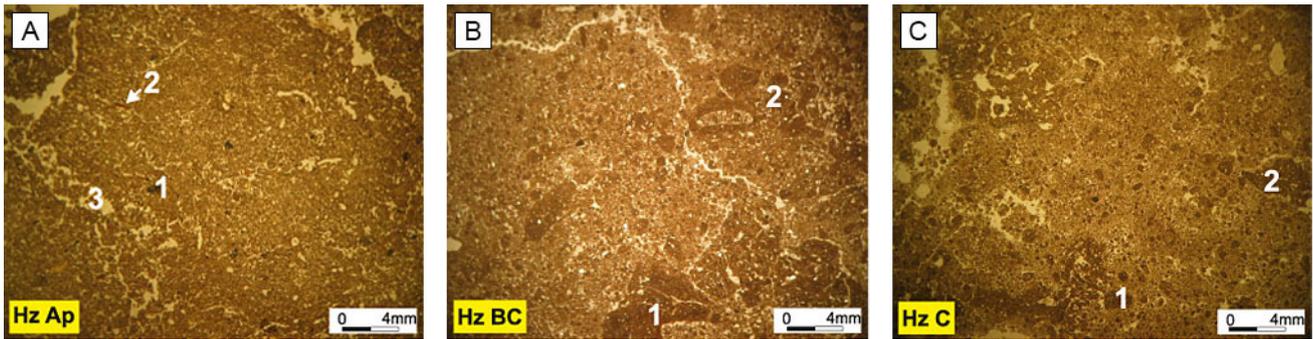


Figura 5. Perfil C-16 (Argiustol típico), horizontes Ap, BC y C. Fotografías de cortes delgados bajo microscopía óptica de transmisión, luz polarizada plana. **a)** (1) restos vegetales carbonizados, (2) restos de fauna, (3) canal relleno con deyecciones; **b)** (1) bloque subangular fragmentado, (2) sector dominado por agregados subredondeados; **c)** (1) agregado subredondeado, (2) bloque subangular fragmentado.

Figure 5. Profile C-16 (Typic Argiustoll), horizons Ap, BC and C. Photographs of thin sections under transmission optical microscopy, plane polarized light. **a)** (1) carbonized plant remains, (2) faunal remains, (3) channel filled with excrements; **b)** (1) fragmented subangular block, (2) sector where sub-rounded aggregates dominate; **c)** (1) sub-rounded aggregate, (2) fragmented subangular block.

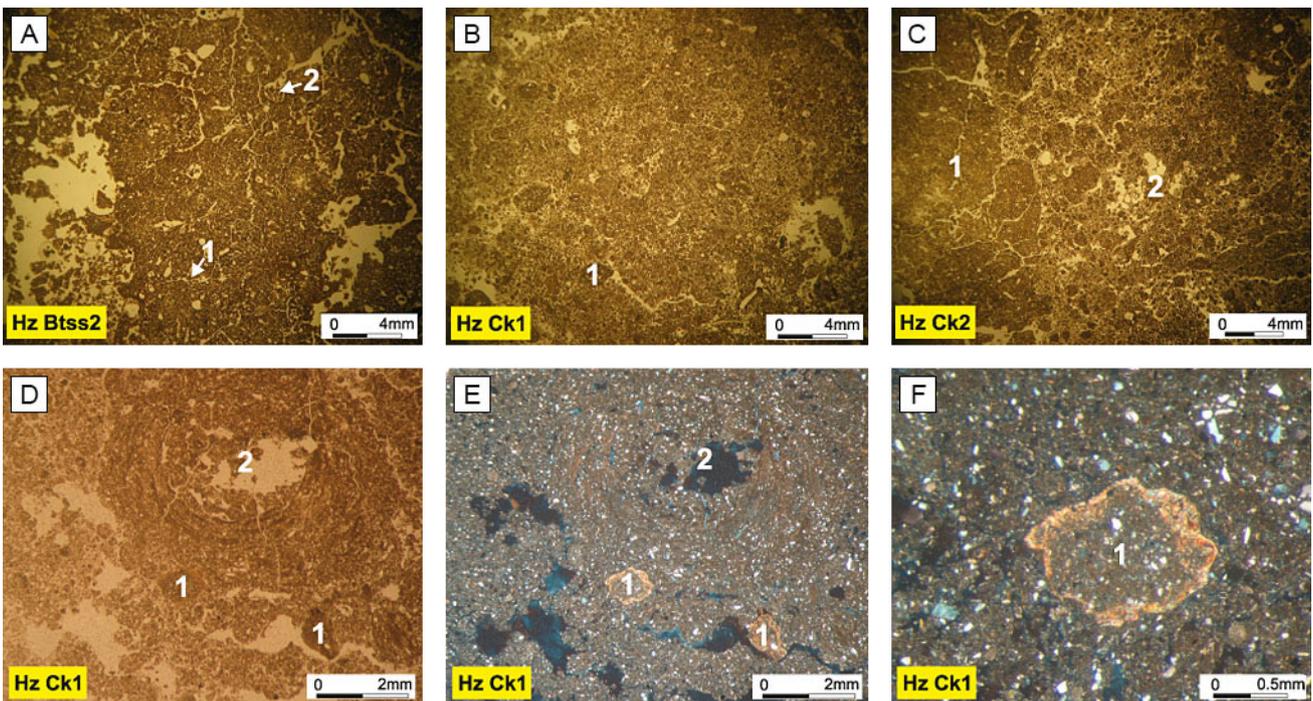


Figura 6. Perfil C-53 (Haplustert típico), horizontes Btss2, Ck1 y Ck2. Fotografías de cortes delgados bajo microscopía óptica de transmisión. **a)** luz polarizada plana: (1) fisura con revestimiento de arcilla, (2) cavidad rellena con deyecciones; **b)** luz polarizada plana: (1) ejemplo de agregados subredondeados; **c)** luz polarizada plana: (1) estructura en bloques, (2) sector dominado por agregados subredondeados; **d)** luz polarizada plana: (1) micronódulos de matriz con arcilla límpida orientada en bordes e interior, (2) túbulo con capas concéntricas de textura contrastante (de arcilla orientada y de material similar a la matriz); **e)** el mismo campo que en d, luz polarizada cruzada; **f)** sector de la fotografía e, donde se observa en detalle un micronódulo (1).

Figure 6. Profile C-53 (Typic Haplustert), horizons Btss2, Ck1 and Ck2. Photographs of thin sections under transmission optical microscopy. **a)** plane polarized light: (1) clay coating along a fissure (2) vugh filled with excrements; **b)** plane polarized light: (1) example of sub-rounded aggregate; **c)** plane polarized light: (1) blocky structure, (2) sector where sub-rounded aggregates dominate; **d)** plane polarized light: (1) matrix micromnodules with clear clay oriented at its edges and inside, (2) tubule with concentric layers of contrasting texture (oriented clay and matrix-like material); **e)** the same field as in d), crossed polarized light; **f)** section of the photography e, where a micromnodule is observed in detail (1).

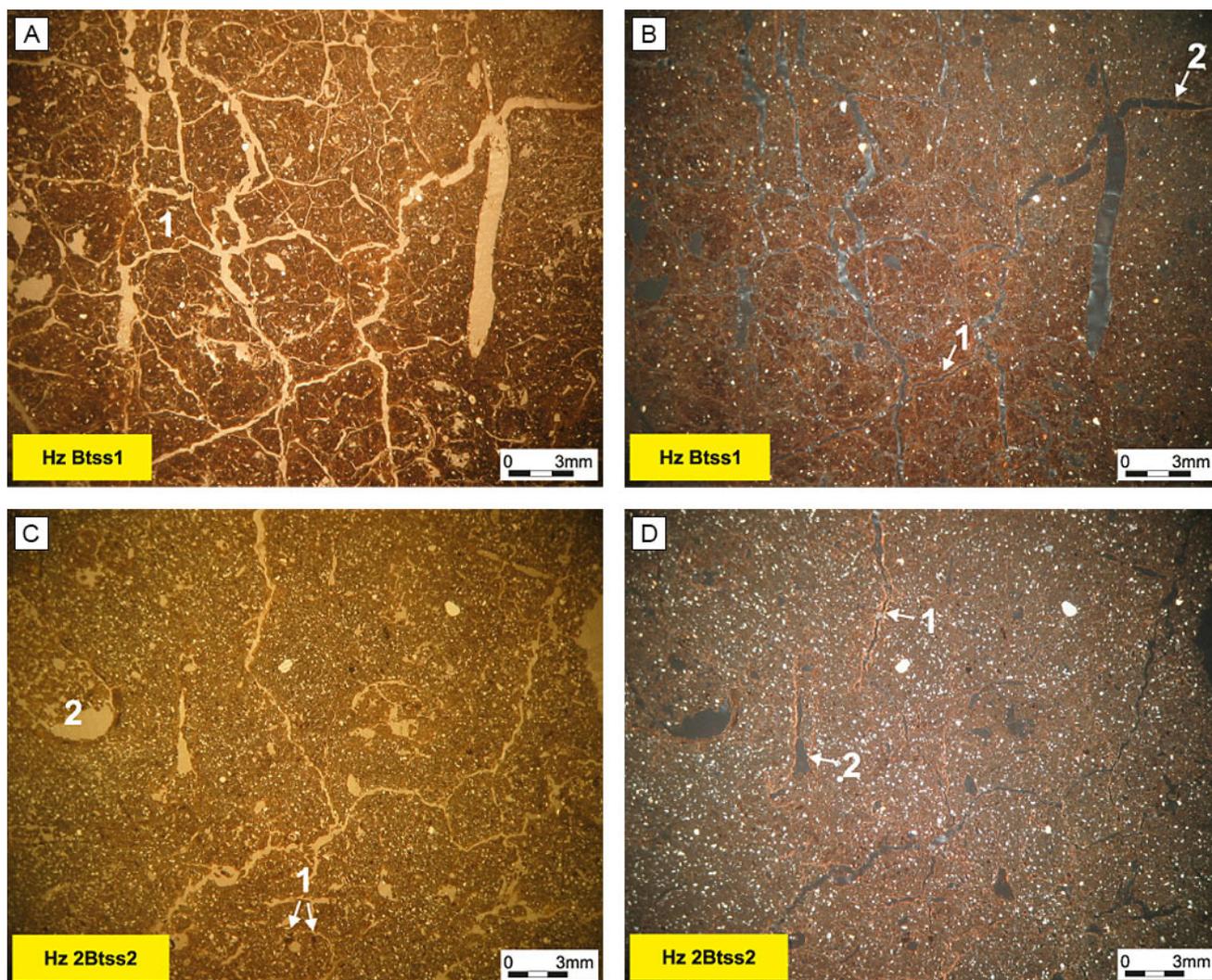


Figura 7. Perfil C-27 (Endoacuert típico), horizontes Btss1 y 2Btss2. Fotografías de cortes delgados bajo microscopía óptica de transmisión. **a)** luz polarizada plana: (1) ejemplo de agregado cuneiforme; **b)** el mismo campo que a), luz polarizada cruzada: (1) revestimiento de arcilla en fisura, (2) revestimiento de arcilla en canal; **c)** luz polarizada plana: (1) nódulos de hierro-manganeso, (2) cavidad rellena con deyecciones; **d)** el mismo campo que c), luz polarizada cruzada: (1) revestimiento de arcilla en fisura, (2) revestimiento de arcilla en canal.

Figure 7. Profile C-27 (Typic Endoacuert), horizons Btss1 and 2Btss2. Photographs of thin sections under transmission optical microscopy. **a)** plane polarized light: (1) example of wedge-shaped aggregate; **b)** the same field as in a), crossed polarized light: (1) clay coating along a fissure, (2) clay coating along a channel; **c)** plane polarized light: (1) iron-manganese nodules, (2) vugh filled with excrements; **d)** the same field as in c), crossed polarized light: (1) clay coating along a fissure, (2) clay coating along a channel.

interestratificados es menor en comparación con los horizontes subsuperficiales. En estos últimos y particularmente en el horizonte 5Ck2, es evidente la presencia de un “hombro” de reflexiones en el rango entre 14 y 17 Å. A diferencia del perfil anterior, el Argiustol presenta una mayor proporción de esmectita en los minerales interestratificados desde la superficie hasta el horizonte BC (donde es más notoria), mientras que disminuye en el material parental. Por su parte, el Haplustert muestra un

enriquecimiento en el componente esmectítico en los horizontes Btss1 y Btss2, disminuyendo a partir del horizonte Btss3 hacia la base del perfil. Finalmente, en el Endoacuert los minerales interestratificados presentan menor proporción de esmectita en los tres horizontes superiores (Ap-Bt-Btss1), aumentando desde la discontinuidad litológica hacia la base del perfil (2Btss2-2Bt).

Susceptibilidad magnética (SM). Las curvas

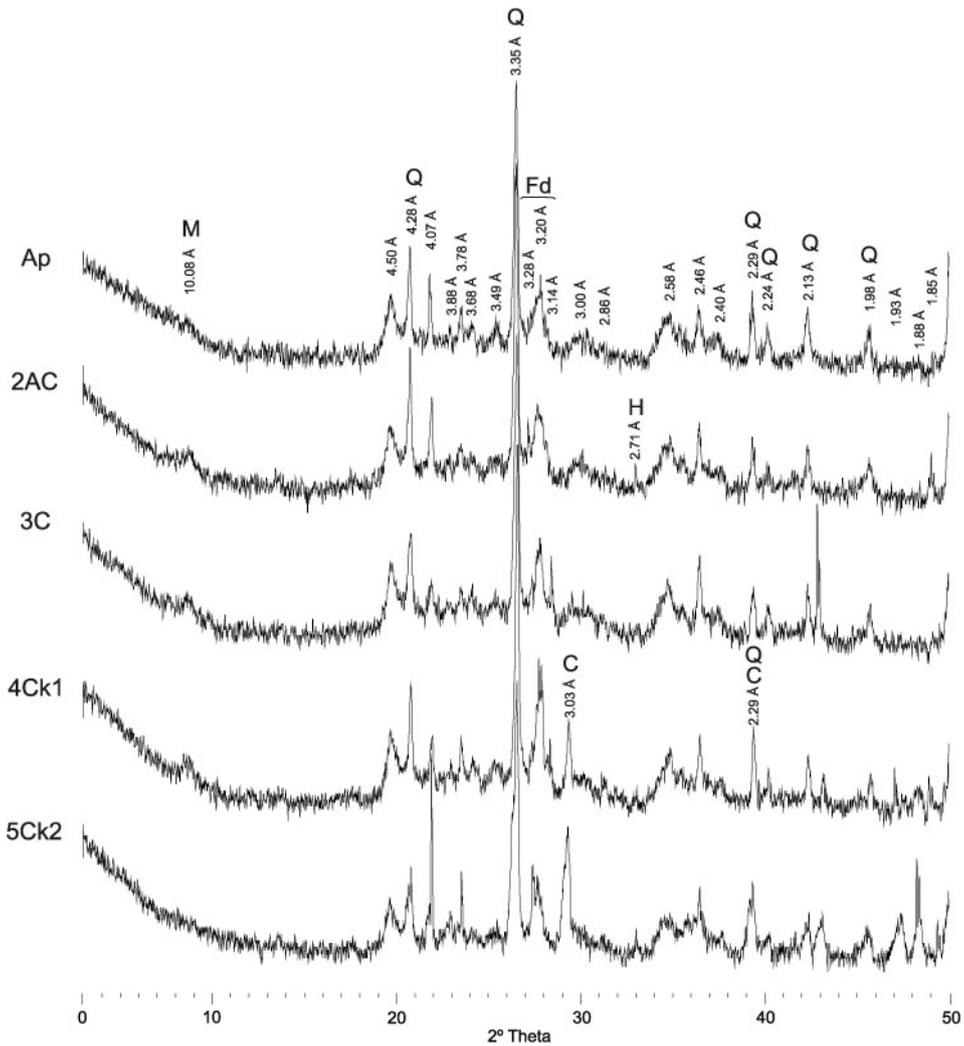


Figura 8. Diagramas de difracción de rayos X en suelo total. Perfil C-50 (Haplustol éntico). Ref.: Q: cuarzo; M: micas y minerales de arcilla; Fd: feldespatos; C: calcita; H: hematita.

Figure 8. Diagrams of X ray diffraction on bulk soil sample. Profile C-50 (Entic Haplustoll). Ref.: Q: quartz; M: micas and clay minerals; Fd: feldspars; C: calcite; H: hematite.

obtenidas muestran una tendencia similar, con pequeños detalles diferenciales entre los perfiles, en donde pueden identificarse dos tramos principales (Fig. 10). El tramo superior (Tramo I) presenta una disminución de la SM hacia la parte media del perfil -entre 40 y 60 cm- y luego un incremento en profundidad, mientras que en el tramo inferior (Tramo II) se produce una disminución de los valores. Estos cambios son graduales, a excepción del Endoacuert, donde las variaciones son abruptas. Por otra parte, el comportamiento de las curvas en los primeros 20 cm muestra una tendencia inversa en los suelos de la planicie y la pendiente, respecto a los del plano bajo y la vía de drenaje. Tanto en el Haplustol como en el Argiustol, el horizonte Ap presenta valores más

altos que el horizonte subyacente, mientras que en los Vertisoles ocurre lo contrario.

DISCUSIÓN

Los datos analíticos revelan que, a excepción del perfil de la vía de drenaje (Endoacuert), los horizontes superficiales son de textura más fina que los subyacentes. Esta característica -infrecuente en la región- es común para el área de estudio y puede constatarse en la cartografía semidetallada de la subcuenca (Vizgarra *et al.*, 2018b). Si bien esto aparece relacionado con la presencia de discontinuidades litológicas en el material parental, los elevados valores de la CIC calculada para la fracción arcilla

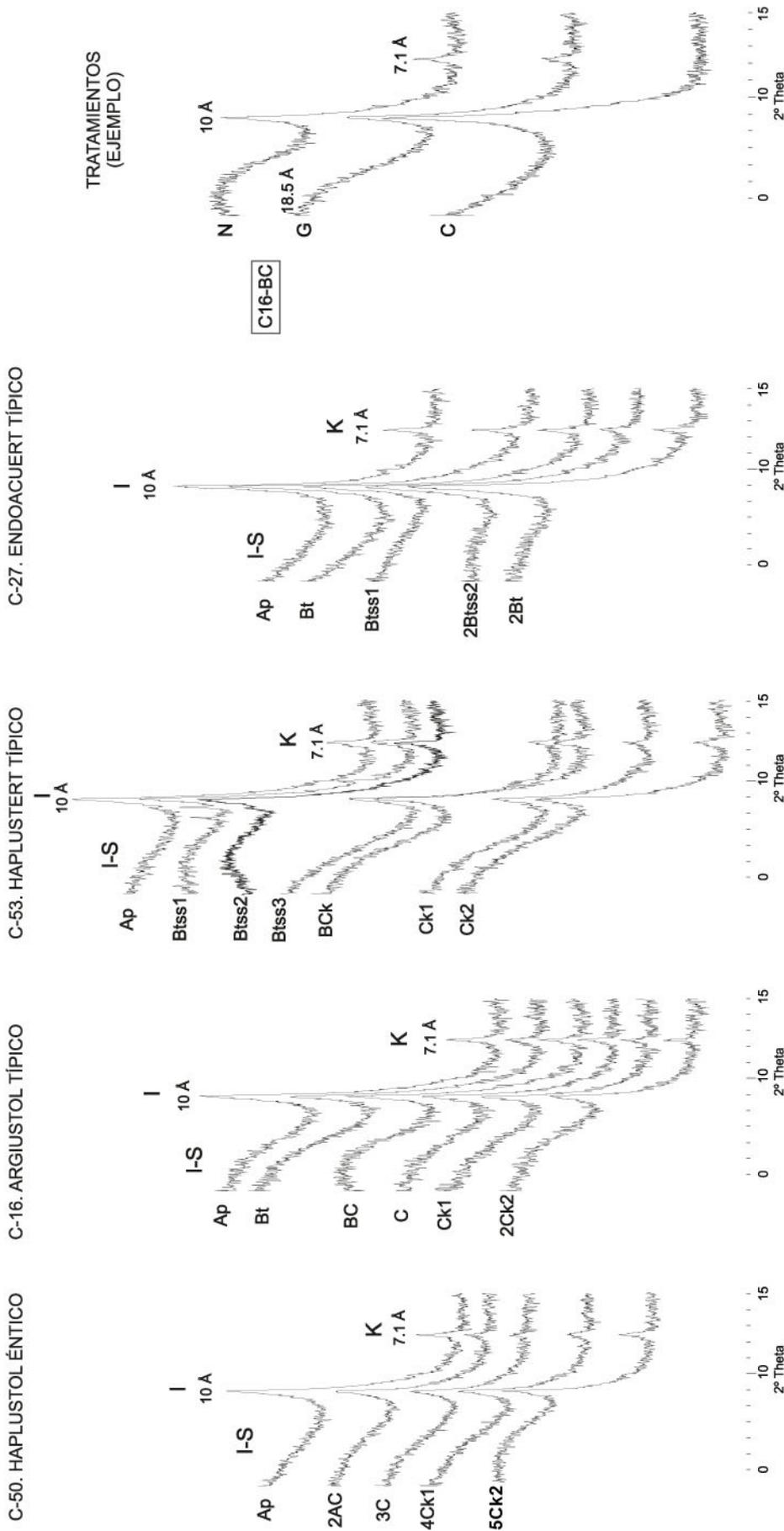


Figura 9. Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los cuatro perfiles estudiados. A modo de ejemplo, los tratamientos complementarios corresponden al horizonte BC del perfil C-16. Ref.: muestra natural; G: glicolada; C: calcinada. I: illita; K: kaolinita; I-S: interstratificados illita-esmectita.
Figure 9. X ray diffraction diagrams of the clay fraction from the studied soil profiles. As an example, complementary treatments correspond to a BC horizon of the C-16 profile. Ref.: natural sample; G: glicolate; I: illite; K: kaolinite; I-S: interstratified illite-smectite.

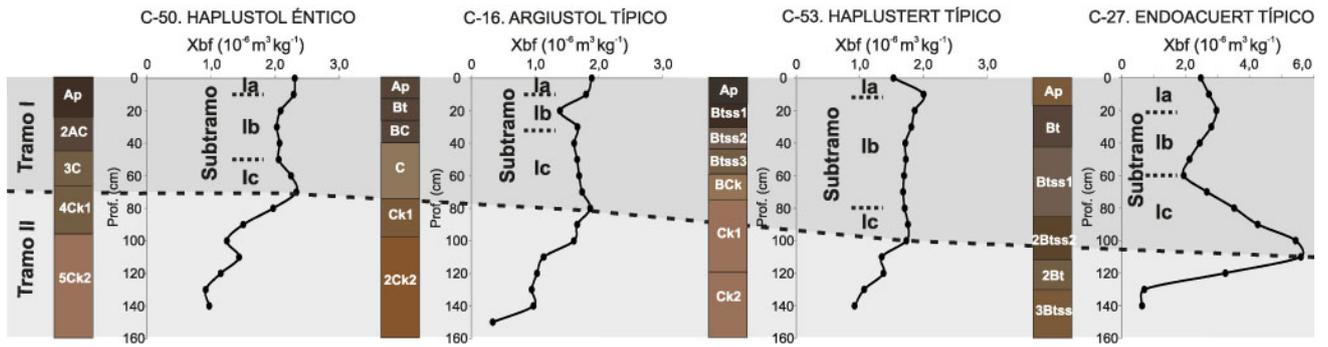


Figura 10. Curvas de variación de la Susceptibilidad Magnética a baja frecuencia con la profundidad.
 Figure 10. Depth functions of low-frequency Magnetic Susceptibility values.

sugieren además, una subestimación del porcentaje de las fracciones finas en el análisis granulométrico de los horizontes subsuperficiales. En este sentido, los valores comprendidos entre 45 y 70 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ en los horizontes superficiales son normales y pueden atribuirse a los minerales interestratificados I-S, mientras que los valores superiores a 100 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ que aparecen en los horizontes y/o capas subyacentes, son considerados anómalos en relación con la mineralogía de arcillas determinada. Otro elemento que refuerza esta interpretación son los resultados de la humedad equivalente (Tabla 1), dado que este es un parámetro que se relaciona con los componentes coloidales del suelo, y en primer lugar con la proporción de arcilla. En el Haplustol, Argiustol y Haplustert este parámetro muestra valores superiores a 30% en los horizontes más superficiales, en relación con su textura fina y mayor contenido de materia orgánica. En los horizontes subsuperficiales, valores ligeramente inferiores a 30% sugieren por el contrario la existencia de un mayor contenido de arcilla que el determinado mediante el análisis granulométrico. En el caso del Endoacuert, los datos de humedad equivalente son compatibles con el tipo y porcentaje de arcilla identificados.

Los estudios microscópicos confirmaron la asociación mineral de las fracciones gruesas determinada por DRX (Fig. 8), revelando además la presencia de una proporción considerable de vidrio volcánico ácido, así como granos de hornblenda, sin indicios de alteración. La presencia de vidrio volcánico en estos perfiles se correlaciona con la proporción elevada de vitroclastos señalada por Bertoldi de Pomar (1969) y Morrás y Delaune (1981; 1985) en los suelos del noroeste de la Provincia de Santa Fe, incluidos en los sectores central y

sur de la cuenca de los Bajos Submeridionales. En consecuencia estos datos composicionales indicarían que los sedimentos superficiales de la subcuenca La Esperanza en el ámbito septentrional de los Bajos Submeridionales, se corresponderían con los loess de la Formación Tezanos Pinto y no con los loess chaqueños de la Formación Urundel.

Por otro lado los análisis microscópicos mostraron también detalles morfológicos no evidenciados en las descripciones de campo y de gran interés diagnóstico. Los horizontes Ap presentan una microestructura granular, mientras que a escala macroscópica desarrollan bloques angulares en relación con su elevado contenido de arcilla. Para el caso de los horizontes Btss de los Vertisoles, las propiedades vérticas se expresan tanto a nivel macro como microscópico. Se caracterizan por su estructura en bloques cuneiformes, fábricas de birrefringencia proestriadas y/o granoestriadas, con revestimientos orientados de arcilla y slickensides.

Por su parte, los horizontes C -de estructura masiva a campo- y el horizonte BC del Argiustol tienen una microestructura particular, la cual se reconoce mediante el análisis microscópico en tres de los suelos aquí estudiados. En los horizontes 3C y 5Ck2 del Haplustol (Figs. 3b, 4a), BC y C del Argiustol (Fig. 5b-c) y en Ck1 y Ck2 del Haplustert (Fig. 6b-c), se identifican bloques angulares y subangulares fragmentados junto a abundantes agregados subredondeados dispersos en la matriz del suelo, cuyo diámetro medio varía entre 0,4 y 2,5 mm. Este hecho confirma las interpretaciones que surgen de los datos analíticos (textura, CIC de la arcilla y humedad equivalente), dado que estos agregados limo-arcillosos constituyen pseudo-arenas y pseudo-limos, subestimando así el porcentaje

real de las fracciones finas en esos horizontes. En este caso los agentes cementantes serían óxidos de hierro, habiéndose detectado hematita por DRX en los horizontes C del Haplustol (Fig. 8), así como un ligero enrojecimiento hacia la base de los perfiles, pasando de un tono o hue de 10YR a 7.5YR (Tabla 1).

Por otro lado, en horizontes C del Haplustol y del Haplustert se observaron diversos rasgos que sugieren también el transporte de materiales. En particular en el Haplustol, en los sectores con microagregados redondeados y porosidad de empaquetamiento, se presentan fragmentos de revestimientos de arcilla iluvial transportados y redondeados, así como nódulos anórticos redondeados con matriz diferenciada de la masa basal. También en este suelo, en el borde de bloques angulares –que se interpretan *in situ* pero desplazados- se presentan fragmentos de revestimientos laminados. En el Haplustert se observaron también fragmentos de túbulos con capas concéntricas de textura contrastante. Estas características morfológicas y analíticas, en particular los microagregados redondeados, y los pedorrasgos relictos tales como los fragmentos redondeados de revestimientos y los nódulos anórticos de matriz, sugieren que el material parental en la base de estos perfiles está constituido por material que ha sido erosionado de suelos preexistentes y transportado a su localización actual. Los agregados en bloques angulares y subangulares posiblemente constituyan relictos *in situ* o en todo caso con menor grado de transporte. El conjunto de estas características de microestructura y pedorrasgos heredados indican la presencia de una paleosuperficie pedosedimentaria en la base de estos perfiles. Por su parte, en el Endoacuert no se observaron las estructuras y pedorrasgos antes mencionados. En este caso la ausencia de fragmentos retrabajados, y consecuentemente de pseudo-arenas y pseudo-limos, puede deberse al grado de desarrollo del suelo y al efecto de la expansión-contracción de las arcillas, hecho que condicionaría su preservación. Cabe destacar que los valores de la CIC de la arcilla y de humedad equivalente determinados para este perfil, fueron los únicos que se mantuvieron en rangos normales.

Por su parte y en el marco de los modelos magnetoclimáticos propuestos por diferentes autores, los estudios de la susceptibilidad magnética permitieron establecer diferencias composicionales en los materiales parentales (relacionado con

distintas áreas de aporte), así como también, diferentes procesos pedogenéticos que ocurren en estos suelos de la región chaqueña. En este sentido, los valores de SM muestran una clara distinción entre los dos tramos en todos los perfiles estudiados (Fig. 10), esto es valores que fluctúan alrededor de $2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ en los horizontes superiores (Tramo I), y que a partir de una cierta profundidad –que coincide con la paleosuperficie identificada en los estudios micromorfológicos y analíticos- descienden rápidamente hacia valores de $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ en la base de los perfiles (Tramo II). El conjunto de evidencias indicaría que estas diferencias de primera magnitud en la señal magnética de los perfiles sería adjudicable a las características y composición del material parental en cada tramo. En la parte superior (Tramo I), los valores mayores se relacionan con los componentes volcánoclasticos que caracterizan los sedimentos loésicos de la región y con los componentes pedosedimentarios identificados a través de la micromorfología.

Por otro lado, y además de la influencia primaria de la composición heredada en la señal magnética, diversos procesos pedogenéticos habrían determinado otras variaciones de menor magnitud. A nivel superficial (Subtramo Ia), las curvas de SM muestran tendencias similares para los perfiles ubicados en las posiciones más elevadas del paisaje (Haplustol y Argiustol), diferenciándolos de aquellos que ocupan las posiciones más bajas (Haplustert y Endoacuert). En el primer caso, los suelos son bien drenados prevaleciendo condiciones oxidantes en los horizontes Ap. Por el contrario, en el segundo caso los suelos están sujetos a inundaciones en períodos húmedos, hecho que favorecería la destrucción reductiva progresiva de minerales magnéticos en superficie. Resultados similares fueron reportados para Molisoles y Vertisoles en el extremo occidental de la llanura chaqueña (Moretti *et al.*, 2012).

En la parte media de los perfiles (Subtramo Ib), en coincidencia con horizontes AC, Bt y BC, se presentan disminuciones de distinta magnitud según el suelo. Este comportamiento es opuesto a lo observado en gran parte de los horizontes B de suelos de la región pampeana (Orgeira *et al.*, 1998; Nabel *et al.*, 1999; Bartel *et al.*, 2005; 2011; Bressan, 2006; Bidegain *et al.*, 2009) aunque coincide con la disminución observada en algunos otros suelos de la misma región (Morrás *et al.*, 2004b; Orgeira y Compagnucci, 2006; Bartel, 2009).

En el Subtramo Ic se verifica un aumento de la SM, lo que se correlaciona con las capas pedosedimentarias. Este comportamiento podría deberse a que este material habría estado expuesto en superficie y por lo tanto sujeto a procesos de oxidación y formación de partículas superparamagéticas, o bien debido a un pequeño cambio en la composición de la fracción de minerales pesados de la arena de esta capa sedimentaria.

Por el contrario, en la parte inferior de los suelos por debajo de la paleosuperficie (Tramo II), la señal magnética muestra disminuciones notorias y progresivas hacia la base de los perfiles. Este hecho sería explicable tanto por el incremento de carbonato de calcio como por la presencia creciente con la profundidad de sedimentos derivados de las áreas de aporte locales, como las areniscas de las Lomadas de Otumpa (Formación Las Piedritas) y los depósitos aluviales del río Salado. En este sentido se han identificado distintas litofacies de areniscas en una cantera ubicada dentro el área de estudio (Peri, 2012), como así también, han sido descriptos contactos paralíticos con dichas areniscas en diferentes perfiles de suelo de la subcuenca aquí estudiada (Vizgarra, com. pers.). Para el caso del Endoacuert, la disminución de la SM estaría influenciada además por los procesos de óxido-reducción ocasionados por la fluctuación del nivel freático en la base del perfil. En este sentido, se describen moteados y concreciones de hierro-manganeso tanto a escala macro como microscópica.

En síntesis, la evaluación conjunta de los datos analíticos, la micromorfología y la susceptibilidad magnética reveló la existencia de un pedosedimento caracterizado por la presencia de pseudo-arenas y pseudo-limos, así como la de una paleosuperficie en la base de los perfiles. Por tal motivo, no resultaría aquí apropiada la definición de discontinuidades solamente a partir de datos granulométricos. Cabe destacar además, que si bien estas características morfológicas tampoco han sido identificadas a campo en los suelos aquí estudiados (y por eso no figuran en la Tabla 1), en la misma subcuenca se ha reconocido un paleosuelo en la base de un Haplustol típico (Serie Los Socios), desarrollado en la unidad geomorfológica de la planicie (Vizgarra *et al.*, 2018b).

Con respecto a la fracción arcilla, las principales diferencias radican en el tipo y proporción de los minerales interestratificados (Fig. 9). En el suelo de la planicie (Haplustol), el horizonte Ap de textura

fina muestra similitudes composicionales con los horizontes superficiales de los suelos ubicados en los sectores bajos del paisaje (Haplustert y Endoacuert), sugiriendo un origen común para estos materiales. En este caso, la dominancia de illita en la fracción fina relaciona a estos materiales con los sedimentos loésicos de la región. Por el contrario, la mayor proporción de componentes expandibles observada a partir del horizonte 2AC y hacia la base del perfil, puede atribuirse tanto a que estos sedimentos han sufrido uno o más ciclos de pedogénesis previa, así como a una mayor apertura de los espacios interfoliares de las arcillas interestratificadas condicionada por el ambiente químico de la parte media y la base del perfil, con pH más elevado y abundancia de iones calcio como demuestra la presencia de nódulos y otros rasgos de carbonato de calcio. Este proceso de transformación de illitas en arcillas interestratificadas I-S con incremento progresivo del componente esmectítico en profundidad, ha sido puesto en evidencia en diversos suelos del sector santafesino de los Bajos Submeridionales con condiciones pedoquímicas equivalentes a las de estos suelos de Santiago del Estero (Morrás *et al.*, 1980; 1982).

En el caso del Argiustol, la menor proporción del componente illítico en los interestratificados del epipedón, como ocurre en los demás perfiles, podría deberse al truncamiento del horizonte superficial por erosión hídrica favorecida por la pendiente. Por su parte, la mayor proporción de esmectita detectada en el horizonte Bt, podría relacionarse con un enriquecimiento en esta última por iluviación selectiva, debido a que las arcillas de menor tamaño se ponen en suspensión más fácilmente (Smith y Wilding, 1972; Birkeland, 1999). Este proceso ha sido señalado tanto para horizontes Bt de suelos pampeanos (Scoppa, 1978) como para el área en estudio (Morrás *et al.*, 1982). En la base del solum (horizonte BC), como se confirma mediante la observación microscópica, el marcado aumento en la proporción de esmectitas se relacionaría además con la presencia de agregados pedosedimentarios y eventualmente también por evolución *in situ* de los interestratificados. En el Haplustert desarrollado en posición de plano bajo, la composición más illítica de los minerales I-S identificada en el horizonte Ap, podría deberse a dos procesos concurrentes: 1-acumulación superficial de materiales illíticos, ya sea proveniente de la erosión de las planicies altas

y pendientes, o de las vías de drenaje en períodos de desborde; 2- empobrecimiento en esmectitas por iluviación selectiva. En los sectores bajos del paisaje, la mayor proporción de esmectita en los horizontes Btss1 y Btss2 es compatible con procesos de iluviación más intensos, sumado a la posible acumulación progresiva de minerales expandibles a partir de la transformación de la illita. Hacia la base del perfil la influencia de estos procesos es menor y se manifiesta en un nuevo cambio en el tipo y proporción de los minerales I-S, reflejando la composición del pedosedimento.

En el suelo de la vía de drenaje (Endoacuert), la discontinuidad litológica señalada a partir de los 84 cm de profundidad se correlaciona también con cambios composicionales en la fracción arcilla. La mayor proporción del componente illítico en los minerales interstratificados del material superficial (horizontes Ap-Bt-Btss1), es comparable a la de los horizontes Ap del Haplustert y del Haplustol. En este caso, el aumento en profundidad de la esmectita a partir del horizonte 2Btss2, podría atribuirse a la propia naturaleza de las capas sedimentarias a partir de las cuales se desarrolla el perfil, así como a procesos de transformación de los interstratificados I-S con apertura de los espacios interfoliares e incremento del componente esmectítico. Por otra parte, la eventual neformación de arcillas esmectíticas en ambos Vertisoles no puede descartarse dadas las condiciones pedoquímicas favorables, aunque no se dispone de evidencia al respecto. Cabe destacar que si bien en la parte superior del solum la proporción de componentes expandibles es menor, esta mineralogía aparece como suficiente para conferirle las propiedades vérticas observadas, dado el elevado porcentaje de arcilla en todo el perfil.

CONCLUSIONES

En el marco de los modelos paleoambientales planteados para la región, los resultados aquí obtenidos permitieron caracterizar composicionalmente y establecer una secuencia evolutiva para los materiales parentales y suelos del extremo noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales.

A diferencia del loess chaqueño (Formación Urundel), los materiales eólicos estudiados presentan vidrio volcánico ácido fresco, hecho que lo vincula con el loess de la Formación Tezanos Pinto, descripta en el sector centro y sur de la cuenca.

Durante el Pleistoceno, la dinámica tectónica y climática habría conducido al cambio en el nivel de base y al reajuste de la red hidrográfica, favoreciendo procesos de morfogénesis. En este contexto, se habría producido la erosión de suelos preexistentes, el transporte y la depositación de estos materiales en el ámbito de la subcuenca La Esperanza. Este hecho se refleja en la presencia de una marcada discontinuidad pedológica en el material parental de los suelos estudiados, en donde una o más capas de naturaleza pedosedimentaria sobreyacen a un nivel de paleosuelo. El pedosedimento está compuesto por agregados subredondeados y/o fragmentos de bloques retrabajados, los cuales se comportan como pseudo-arenas y pseudo-limos en las determinaciones granulométricas. Desde el punto de vista mineralógico, presentan una mayor proporción de minerales interstratificados con dominancia de esmectita y un incremento de la susceptibilidad magnética. Estas características composicionales podrían deberse a que estos materiales han sufrido una evolución pedogenética previa, como así también al proceso de enriquecimiento en esmectitas por transformación, favorecido por el ambiente químico en la parte media y basal de los perfiles. En tanto, la paleosuperficie es interpretada como un nivel de paleosuelo erosionado, ya que a nivel microscópico es posible identificar parte de la estructura en bloques original.

Por otro lado, el horizonte Ap del suelo de la planicie (Haplustol) -y dada la similitud composicional con los materiales superficiales de los suelos de sectores bajos- podría derivar de la acumulación de sedimentos provenientes de la erosión eólica de los cauces fluviales, ocurrido probablemente durante alguno de los ciclos áridos del Holoceno. Luego, en un período reciente más húmedo, habría tenido lugar la pedogénesis de estos depósitos, dando lugar a la formación de suelos de escaso desarrollo. Una situación similar ocurriría en las pendientes, con la diferencia que este material superficial podría haber sido erosionado y redepositado en los bajos. Por el contrario, en estos últimos los procesos pedogenéticos podrían haber actuado durante más tiempo o haber sido de mayor intensidad, dando lugar a la formación de Vertisoles con mayor grado de desarrollo y con condiciones hidromórficas.

Si bien es necesario acotar estos eventos en un contexto espacio-temporal más preciso, estas

interpretaciones preliminares permitirían vincular los ciclos climáticos, con los procesos tectónicos, sedimentarios y pedológicos ocurridos en el Cuaternario reciente en este sector de la cuenca de los Bajos Submeridionales.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos de investigación del INTA (PNSUELO-1134032, PNSUELO-1134033, PNSUELO-1134022 y TUSGO 1231408) y gracias al apoyo local de la Ing. Andrea Avalos (AER Sachayoj) y la Ing. Laura Mas (EEA Quimilí). Los autores expresan su agradecimiento a los revisores Pablo Bouza y Augusto Varela por las apropiadas sugerencias y comentarios que han permitido mejorar este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angueira, C., D. Prieto, J. López y G. Barraza, 2007. *Sistema de Información Geográfica de Santiago del Estero (SigSE 2.0)*. CD-ROM. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
- Bartel, A.A., 2009. *Caracterización magnética de una climosecuencia de suelos entre el sureste de la Provincia de La Pampa y el Litoral Atlántico*. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Bartel, A.A., J.C. Bidegain y A.M. Sinito, 2005. Propiedades magnéticas de diferentes suelos del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(3):591-598.
- Bartel, A.A., J.C. Bidegain y A.M. Sinito, 2011. Magnetic parameter analysis of a climosequence of soils in the Southern Pampean Region, Argentina. *Geofísica internacional* 50(1):9-22.
- Bertoldi de Pomar, H., 1969. Notas preliminares sobre la distribución de minerales edafógenos en la Provincia de Santa Fe. *V Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo* Actas: 716-726. Santa Fe.
- Bidegain, J.C., M.E. Evans y A.J. van Velzen, 2005. A magnetoclimatological investigation of Pampean loess, Argentina. *Geophysical Journal International* 160(1):55-62.
- Bidegain, J.C., Y. Rico, A. Bartel, M. Chaparro y S. Jurado, 2009. Magnetic parameters reflecting pedogenesis in Pleistocene loess deposits of Argentina. *Quaternary International* 209: 175-186.
- Birkeland, P.W., 1999. *Soils and Geomorphology*. 3rd edn. Oxford University Press, 430 pp.
- Boletta, R.E., 2001. *Utilización de información agrometeorológica y satelital para la evaluación de la desertificación en el Chaco Seco-Departamento Moreno, Santiago del Estero*. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Bressan, E.M., 2006. *Interacciones entre propiedades físicas y composición mineralógica y granulométrica de suelos Argiudoles de la Pampa Ondulada*. Tesis Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina, 117 pp.
- Burbank, D.W. y R.S. Anderson, 2001. *Tectonic geomorphology*. Blackwell Science, Oxford, 247 pp.
- Burbank, D.W., A. Meigs y N. Brozović, 1996. Interactions of growing folds and coeval depositional systems. *Basin Research* 8(3):199-223.
- Camba Sans, G.H., 2015. *¿En qué medida fue efectiva la Ley de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos?. El caso de Santiago del Estero*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina, 38 pp.
- Castellanos, A., 1968. *Desplazamientos naturales, en abanico, del río Salado del Norte en la llanura Chaco-Santiagueño-Santafesina*. Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional de Rosario, Publicaciones 52, 19 pp.
- Coriale, O., 2006. *Estudio de fuentes de agua subterránea con fines de provisión de agua potable y exploración hidrotermal*. Informe técnico del Instituto Nacional del Agua (INA), 104 pp.
- Giraut, M., E. Laboranti, C. Rey, M. Fioriti y S. Ludueña, 2001. Cuenca Propia de los Bajos Submeridionales. Creación de una unidad hídrica independiente. En: *Seminario Internacional sobre manejo integral de cuencas hidrográficas*. Rosario, Argentina. https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/22_nueva.pdf.
- Gollán, J. y D.A. Lachaga, 1939. *Aguas de la provincia de Santa Fe. Primera contribución a su estudio*. Instituto Experimental de Investigación y Fomento Agrícola Ganadero, Santa Fe. Publicación técnica n° 12, 384 pp.
- Gómez Samus, M.L., Y. Rico y J.C. Bidegain, 2016. Señal magnética en suelos del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 23(2):93-110.
- Iriondo, M.H., 1984. The quaternary of northeastern Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 2(4):51-78.
- Iriondo, M.H., 1990. La Formación Urundel, un loess chaqueño. *International Symposium on loess*, Expanded abstracts 1:89-90.
- Iriondo, M.H., 1993. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology* 7:289-303.
- Iriondo, M.H., 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. *Journal of South American Earth Sciences* 10(1):71-79.
- Iriondo, M.H., 2012. *Aguas superficiales y subterráneas de la Provincia de Santa Fe*. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, Santa Fe, 148 pp.
- Liu, Q., J. Torrent, H.J.M. Morrás, A. Hong, Z. Jiang y Y. Su, 2010. Superparamagnetism of two modern soils from the northeastern Pampean region, Argentina and its paleoclimatic indications. *Geophysical Journal International* 183(2):695-705.
- Loaiza, J.C., G. Stoops, R.M. Poch y M. Casamitjana, 2015. *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias*. Editorial Pascual Bravo, Medellín, Colombia, 384 pp.
- Miró, R.C. y D.E. Martos, 2002. *Memoria de Hoja geológica de la provincia del Chaco. Escala 1:500.000*. SEGEMAR (inédito), Buenos Aires, 8 pp.
- Morello, J., 1968. *Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Primera parte*. INTA, Serie Fitogeográfica n° 10, 125 pp.
- Morello, J., S.D. Mateucci, A.F. Rodriguez y M.E. Silva, 2012.

- Ecorregión del Chaco Seco. En: *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina: 151-204.
- Moretti, L.M., D.M. Rodríguez, M.E. Angelini y H.J.M. Morrás**, 2012. Génesis de suelos en un sector del piedemonte aluvial del Chaco salteño. *Ciencia del suelo* 30(2):161-172.
- Moretti, L.M., L.A. Vizgarra, D.M. Rodríguez, G.A. Schulz, I.R. Paladino y H.J.M. Morrás**, 2017. Nuevos aportes sobre la génesis y taxonomía de los suelos en el noreste de Santiago del Estero. *XX Congreso Geológico Argentino Actas Simposio* 14:73-77. Tucumán.
- Moretti, L.M., L.A. Vizgarra, H.J.M. Morrás, G.A. Schulz, D.M. Rodríguez, I.R. Paladino, E.M. Bressan y J.D. Laghi**, 2018. Consideraciones acerca del origen y evolución de los suelos en el noreste de Santiago del Estero. *XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Actas*: 1512-1517. Tucumán.
- Moretti, L.M., H.J.M. Morrás, F.X. Pereyra y G.A. Schulz**, 2019. Soils of Chaco Region. En: G. Rubio, R.S. Lavado y F.X. Pereyra (Eds.). *The Soils of Argentina*. Ed. Springer. Cham, Switzerland: 149-160.
- Morrás, H.J.M.**, 1999a. Geochemical differentiation of Quaternary sediments from the Pampean region based on phosphorous contents as detected in the early 20th century. *Quaternary International* 62:57-68.
- Morrás, H.J.M.**, 1999b. Composición geoquímica de suelos y sedimentos cuaternarios de un sector del Chaco Meridional. *I Congreso Argentino del Cuaternario y Geomorfología Actas*: 13. Santa Rosa, La Pampa.
- Morrás, H.J.M.**, 2017a. Propiedades químicas y físicas de los suelos halomórficos de la fracción norte de los Bajos Submeridionales. En: E. Taleisnik y R.S. Lavado (Eds.). *Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina*. Orientación Gráfica Editora-UNC, Buenos Aires, Argentina: 29-54.
- Morrás, H.J.M.**, 2017b. Una interpretación geopedológica sobre los sedimentos superficiales y suelos actuales de la Cuña Boscosa, Chaco Austral, Provincia de Santa Fe. *XX Congreso Geológico Argentino Actas Sesión Técnica* 3:38-43. Tucumán.
- Morrás, H.J.M. y M. Delaune**, 1981. Composición mineralógica de la fracción arena de algunos suelos de los Bajos Submeridionales, Santa Fe. *VIII Congreso Geológico Argentino Actas IV*:343-352. San Luis.
- Morrás, H.J.M. y M. Delaune**, 1985. Caracterización de áreas sedimentarias del norte de la provincia de Santa Fe en base a la composición mineralógica de la fracción arena. *Ciencia del Suelo* 3(1-2):140-151.
- Morrás, H.J.M., M. Fernández de Rapp, C. Scoppa y J. Postma**, 1980. Mineralogía de arcillas de algunos suelos del norte de la provincia de Santa Fe. *IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo Actas* 1185-1191. Paraná, Entre Ríos.
- Morrás, H.J.M., M. Robert y G. Bocquier**, 1982. Caracterisation minéralogique de quelques solonetz et planosols du Chaco Déprimido (Argentine). *Cahiers ORSTOM, ser. Pédologie* 19(2):151-169.
- Morrás, H.J.M., M.V. Altinier, M.G. Castiglioni y D. Tessier**, 2004a. Relación entre la mineralogía de arcillas y la susceptibilidad magnética en tres suelos del sur de la Pampa Ondulada. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos Actas*: 352. Paraná.
- Morrás, H.J.M., G. Ciari, C. Grasticini, G.A. Cruzate, M.V. Altinier y M.G. Castiglioni**, 2004b. Variación espacial y relación entre la retención de humedad y la mineralogía magnética en suelos de la Pampa Ondulada. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos En CD-Rom*. Paraná.
- Mullins, C.E.**, 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil Science- A review. *Journal of Soil Science* 28(2):223-246.
- Nabel, P.E., H.J.M. Morrás, G. Petersen y W. Zech**, 1999. Correlation of magnetic and lithologic features of soils and Quaternary sediments from the Undulating Pampa. *Journal of South American Earth Science* 12(3):311-323.
- Orgeira, M.J. y R. Compagnucci**, 2006. Correlation between paleosol-soil magnetic signal and climate. *Earth, Planets and Space* 58:1373-1380.
- Orgeira, M.J., A.M. Walther, C.A. Vásquez, I. Di Tommaso, S. Alonso, G. Sherwood y J.F.A. Vilas**, 1998. Mineral magnetic record of paleoclimate variation in loess and paleosol from the Buenos Aires formation (Buenos Aires, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 11(6):561-570.
- Orgeira, M.J., F.X. Pereyra, C.A. Vásquez, E. Castañeda y R. Compagnucci**, 2008. Rock magnetism in modern soils, Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 26:217-224.
- Peri, V.G.**, 2012. *Caracterización morfotectónica de las Lomadas de Otumpa (Gran Chaco, Santiago del Estero y Chaco): influencias en el control del drenaje*. Ph.D. thesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires, 321 pp.
- Peri, V.G. y E.A. Rossello**, 2010. Anomalías morfoestructurales del drenaje del río Salado sobre las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco) detectadas por procesamiento digital. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(4):636-648.
- Ramos, V.A.**, 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*, Buenos Aires, Anales 29(3):41-96.
- Rossello, E.A. y C.P. Bordarampé**, 2005. Las Lomadas de Otumpa: nuevas evidencias cartográficas de deformación neotectónica en el Gran Chaco (Santiago del Estero, Argentina). *XVI Congreso Geológico Argentino Actas en CD*. La Plata.
- Sayago, J.**, 1995. The Argentine neotropical loess: an overview. *Quaternary Science Reviews* 14(7-8):755-766.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham y Soil Survey Staff**, 2012. *Field book for describing and sampling soils, Version 3.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Scoppa, C.**, 1978. El horizonte argílico en los Udoles de la región pampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 3(12):97-113.
- Smith, H. y L.P. Wilding**, 1972. Genesis of argillic horizons in Ochraqualls derived from fine textured till deposits of northwestern Ohio and southeastern Michigan. *Soil Science Society of America Journal* 36(5):808-815.
- Vargas Gil, J.R.**, 1990. Provincia de Santiago del Estero. Escala 1:500.000. En: *Atlas de la República Argentina*. SAGyP-INTA. II:499-558.
- Vizgarra, L.A., L.M. Moretti, D.M. Rodríguez y G.A. Schulz**, 2018a. Aplicación del enfoque geopedológico para el relevamiento semidetallado de suelos en el noreste de Santiago del Estero. *XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Actas*: 1532-1537. Tucumán.
- Vizgarra, L.A., L.M. Moretti, D.M. Rodríguez y G.A. Schulz (Eds.)**, 2018b. *Carta de suelos de la República Argentina, subcuenca La Esperanza, departamento Moreno, provincia de Santiago del Estero*. Ediciones INTA, Hurlingham, Argentina.

96 pp. <https://inta.gob.ar/documentos/carta-de-suelos-de-la-republica-argentina-subcuenca-la-esperanza-departamento-moreno-provincia-de-santiago-del-estero>.

Volante, J.N., M.J. Mosciaro, D. Alcaraz-Segura, L.M. Vale, E.F. Viglizzo y J.M. Paruelo, 2014. Dinámica del avance de la

frontera agropecuaria y cambios funcionales en ecosistemas del Noroeste de Argentina. Capítulo 27. En: C. Pascale Medina, M. Zubillaga y M.A. Taboada (Eds.). *Los suelos, la producción agropecuaria y el cambio climático: avances en la Argentina*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca; AACS y AAPA.