

El material parental de los suelos de la Región Pampeana en base a la mineralogía de arenas. Aplicaciones a la interpretación de procesos pedológicos

Héctor J. M. Morrás

INTA-CIRN, Instituto de Suelos (Hurlingham, provincia de Buenos Aires).

Autor de contacto: hmorras@gmail.com; morras.hector@inta.gob.ar

Resumen

La influencia de la mineralogía y la granulometría del material parental en las características edáficas son particularmente importantes en suelos jóvenes desarrollados en superficies del Pleistoceno o más recientes. Así, el conocimiento adecuado de la fracción arena de suelos y sedimentos por su mayor inmovilidad y resistencia a la meteorización es crucial para interpretar adecuadamente los procesos pedogénicos, y provee de información sobre la estabilidad de las superficies, la evolución del paisaje y las condiciones paleoclimáticas. En los estudios sobre la composición mineralógica de los suelos pampeanos se han planteado diferentes perspectivas y discrepancias respecto a la homogeneidad u heterogeneidad de los materiales parentales y de la intensidad de los procesos de meteorización. Los resultados expuestos en esta obra a través del análisis de datos mineralógicos de suelos de la Pampa Ondulada y sectores próximos (Capítulo 5) han puesto de relieve la heterogeneidad composicional de los materiales parentales no solo entre sectores distantes, sino entre perfiles de suelo muy cercanos entre sí y entre los diversos horizontes de un mismo perfil. Como corolario de la heterogeneidad mineralógica inter- e intra- perfil en la fracción arena de los suelos pampeanos, se discuten dos temas de interés sedimentológico y pedológico. Por un lado, los datos revelan claramente que las variaciones verticales del vidrio volcánico no resultan de procesos de meteorización, sino que son de origen sedimentario. Por este motivo, las relaciones en las que interviene el vidrio en comparación con otro mineral considerado estable, como por ejemplo la relación cuarzo/ vidrio, no podrían utilizarse en estos suelos como índice de “madurez”, sino como índices de homogeneidad del sedimento. Estos resultados también cuestionan los estudios de magnetismo ambiental basados en el supuesto de la homogeneidad composicional de los suelos y sedimentos pampeanos que postulan que las variaciones de señal magnética de los materiales son el resultado de procesos pedogénicos condicionados por variaciones climáticas y paleoclimáticas. Por el contrario, en coincidencia con otros trabajos, diversos resultados sugieren una influencia determinante de los componentes litogénicos del material parental en los valores de los parámetros magnéticos, por lo que aparece necesario considerar la existencia de un modelo magnetoclimático específico de la Región Pampeana. En base a todas las evidencias mineralógicas existentes, la conformación de los sedimentos loésicos de la Región Pampeana es el resultado de aportes de fuentes muy diversas, a través de procesos de transporte variados, bajo condiciones ambientales cambiantes y contrastadas en tiempo y espacio. En consecuencia, los estudios mineralógicos y pedogénicos de suelos y paleosuelos pampeanos, incluyendo aquellos referidos a la mineralogía magnética, deberían tomar en cuenta este marco conceptual más complejo y que requiere todavía de numerosas precisiones. Un abordaje geopedológico se impone en el análisis e interpretación de los materiales superficiales pampeanos.

Palabras clave

Región Pampeana; suelos; material parental; mineralogía; heterogeneidad; modelos magnetoclimáticos.

The soils parent material in the Pampean Region based on sand mineralogy. Applications to the interpretation of pedological processes

Extended abstract

The influence of mineralogy and granulometry of parent materials on the edaphic properties is particularly important in young soils developed on Pleistocene or more recent surfaces. In this sense, the adequate knowledge of the sand fraction of soils due to its greater immobility with respect to the illuviation process and greater resistance to weathering is not only crucial to properly interpret pedogenic processes, but also provides information on the evolution of the landscape and about of the paleoclimatic conditions.

In the studies on the mineralogical composition of Pampas soils, different perspectives and discrepancies regarding the homogeneity or heterogeneity of parent materials and about the intensity of weathering and mineral neoformation processes have been raised. Based on the traditional concept of compositional homogeneity and taking as a reference the mineralogical composition of C soil horizons, several authors have interpreted that the decrease of vitroclasts content in A or B horizons is a consequence of their weathering and solubilization. Also based on the presumption of a certain spatial homogeneity of the sediments, other authors have argued that the increase of smectitic clays in some soils of the region is due to processes of mineral neoformation from the weathering of minerals in the coarse fractions. Also starting from the same criterion, it has been postulated that differences in the magnetic susceptibility of pampean soils and paleosols with respect to the loessic sediments is due to pedogenetic processes conditioned by climatic factors.

However, the results presented in this book on the analysis of mineralogical data of the sand fraction of soils in the Rolling Pampa and nearby sectors (Chapter 5), have highlighted the compositional heterogeneity of soils parent materials not only between distant sectors, but between soil profiles very close to each other as well as between different horizons of the same profile. Consequently, and as a corollary of the mineralogical heterogeneity evidenced in the sand fraction of pampean soils, two topics of sedimentological and pedological interest are discussed in this Chapter. On the one hand, mineralogical data clearly reveals that vertical variations of volcanic glass do not result from weathering processes but are of sedimentary origin. For this reason, any relationship in which glass takes part compared to another mineral considered stable, such as the quartz / volcanic glass ratio, should not be used in these soils as an index of “maturity”, but as an index of sediment homogeneity. On the other hand, these results also call into question environmental magnetism studies which, based on the assumption of the mineralogical homogeneity of pampean soils and sediments, postulate that the variations of the magnetic signal of soil materials are mainly the result of pedogenetic processes controlled by climatic conditions. On the contrary, in coincidence with other works on the subject, the mineralogical heterogeneity of the sand fraction of pampean sediments suggests a determining influence of lithogenic components on soil magnetic susceptibility, thus requiring to consider the existence of a specific magnetoclimatic model for the Pampa Region.

According to the mineralogical information, it is evident that the pampean loessic sediments are the result of contributions from very diverse sources, through varied transport processes, under changing and contrasted environmental conditions in time and space. As a consequence of this, pedogenetic studies of pampean soils and paleosols, in particular those referring to weathering and mineral neoformation processes, including also those referred to magnetic mineralogy, should take into account the compositional heterogeneity of pampean surface sediments, not only at regional, but also sub-regional and still local level. This more complex conceptual framework that imposes a more detailed study of parent materials, would allow more adequate interpretations about the pedogenic processes and the evolution of environmental conditions in the Pampa Region.

Key words

Pampean region; soils; parent material; mineralogy; heterogeneity; magnetoclimatic models.

INTRODUCCIÓN

Los procesos pedogénicos resultantes de la interacción de los factores de formación transforman materiales geológicos en suelos, los que adquieren características específicas y condicionadas en grado diverso por esos materiales. La influencia del material parental en las características edáficas es particularmente importante en suelos desarrollados en superficies del Pleistoceno o más recientes. La mineralogía y la granulometría son dos propiedades que pueden ejercer un impacto en la pedogénesis y el funcionamiento del suelo por largos períodos de tiempo, lo que es más manifiesto en suelos jóvenes (Schaeztl & Thompson, 2015; Morrás 2016a). Así, el conocimiento adecuado del material parental es crucial para interpretar adecuadamente los procesos pedogénicos y provee información sobre la estabilidad de las superficies, la evolución del paisaje y las condiciones paleoclimáticas.

La identificación del material parental de un suelo no suele resultar sencilla, particularmente cuando éste se ha desarrollado a partir de depósitos sedimentarios (Schaeztl & Thompson, 2015). En primer lugar, en un perfil puede haber más de un material, los que pueden presentarse como capas discretas o mezcladas. Algunas de estas capas pueden ser tan delgadas que la pedogénesis puede haberlas desvanecido. También un sedimento o algunos de sus componentes pueden haber sido altamente meteorizados previamente al período de pedogénesis actual. En algunos de esos casos el material parental está constituido por un suelo preexistente por lo cual el suelo actual sería poligenético. Por otro lado, un suelo puede recibir de manera continua o intermitente pequeñas adiciones superficiales de nuevo material. Este proceso es particularmente característico de los ambientes con depósitos de loess, generando un crecimiento progresivo o “cumulización” de la superficie del suelo. También los suelos pueden ser erosionados o recibir aportes superficiales importantes de material, en relación con cambios marcados de las condiciones ambientales.

En la Región Pampeana a lo largo del Cuaternario se han sucedido períodos alternantes de deposición de loess y de pedogénesis, determinando también la presencia de suelos enterrados. Esto se observa tanto a una cierta profundidad en excava-

ciones profundas en diversos sectores del cinturón loésico como por ejemplo en la Pampa Ondulada (Nabel *et al.*, 1999; Zárate *et al.*, 2002; Imbellone & Cumba, 2003), como de manera extendida en niveles más superficiales en el sector occidental con arenas eólicas donde se presentan suelos poligénicos con horizontes enterrados denominados *thapto-árgicos* (Imbellone & Giménez, 1998; Rubio *et al.*, 2019). Estas secuencias son evidencia clara del aporte continuo de sedimentos en la cuenca pampeana. Sin embargo, otras discontinuidades suelen ser más sutiles y pueden pasar fácilmente desapercibidas en las observaciones de campo o con los datos analíticos corrientes de caracterización de suelos. En estos casos, son particularmente los estudios mineralógicos de la fracción gruesa por su mayor inmovilidad y resistencia a la meteorización los que pueden proveer la información necesaria para diferenciar los procesos sedimentológicos de los pedogénicos, y la utilización apropiada de sedimentos y suelos como “proxys” climáticos.

METEORIZACIÓN, NEOFORMACIÓN Y ALTERABILIDAD DE LOS MINERALES DE LOS SUELOS PAMPEANOS

La meteorización en los suelos se refiere a la transformación parcial o completa de los minerales primarios heredados del material parental como consecuencia de procesos geoquímicos o bioquímicos que generan la extracción de los iones de las estructuras cristalinas, los que pueden recombinarse para producir nuevos minerales. Así, el silicio, el aluminio y las bases solubilizadas pueden lixiviarse o pueden recombinarse en mayor o menor medida según las condiciones del medio, dando como resultado la neoformación de minerales secundarios, en particular arcillas. Los factores que controlan la intensidad y la dirección de los procesos de alteración y neoformación son diversos, siendo los principales las condiciones climáticas, el tiempo de evolución y la composición mineralógica del material parental. El rol de este último factor es función de la estabilidad o resistencia específica de cada mineral a la meteorización, existiendo secuencias de alterabilidad que

dependen de la estructura y composición cristalo-química de aquellos (Morrás, 2016 a; b).

En este aspecto, además de los estudios relacionados con la distribución espacial de los componentes minerales en los depósitos superficiales de la región Chaco-Pampeana y de sus fuentes de origen (Capítulo 5 de esta obra), otro tema de estudio respecto a los sedimentos y suelos pampeanos ha sido la influencia relativa de procesos sedimentarios y de meteorización en la variación vertical del contenido de sus componentes, y en particular en lo referente al vidrio volcánico. Un trabajo de gran relevancia sedimentológica fue realizado por González Bonorino (1965) sobre material obtenido en perforaciones realizadas en el área metropolitana de Buenos Aires. El autor establece una división estratigráfica del Pampeano basada en la composición mineralógica, en la que juegan principalmente la variación del tipo de arcilla y el contenido de vidrio volcánico. También señala que los vitroclastos son casi siempre límpidos e incoloros y se encuentran esencialmente inalterados. Además, establece que la subdivisión de estos sedimentos en zonas mineralógicas permite dividir estratigráficamente el Pampeano mejor que los criterios litológicos o paleontológicos. Riggi *et al.* (1986) utilizan estos mismos criterios mineralógicos para analizar la estratigrafía en excavaciones del área de La Plata.

Probablemente el primer estudio mineralógico de la fracción arena con criterio edafológico fue realizado en nuestro país por Pocovi (1947) en siete perfiles de suelos de la provincia de Santa Fe, constatando variaciones con la profundidad y entre los perfiles de distintas zonas de la provincia. El autor señala que los vidrios son ácidos, y se presentan frescos sin indicios de alteración. Bertoldi de Pomar (1969) primero y posteriormente Morrás (1978) y Morrás & Delaune (1981; 1985) estudiaron la mineralogía de arenas de suelos de diversos sectores del norte de la Provincia de Santa Fe, encontrando variaciones tanto horizontales como verticales de los componentes de las fracciones liviana y pesada, que atribuyeron a la existencia de materiales sedimentarios de diversa composición y origen. En particular constataron claras

diferencias en el contenido de vidrio volcánico de la fracción liviana de la arena entre distintos ambientes de la región, y basados en el estado notoriamente fresco de las trizas volcánicas Morrás & Delaune (1981) propusieron las relaciones cuarzo/vidrio (C/V) y cuarzo/feldespato+vidrio (C/F+V) como índices de homogeneidad (o heterogeneidad) litológica.

No obstante, las diversas referencias sobre el estado mayoritariamente fresco de las trizas volcánicas y en general de la mayor parte de los minerales de la fracción arena (Teruggi, 1957; Teruggi & Andreis, 1971; Lutgers, 1984), el eventual efecto de la meteorización química sobre los fragmentos de vidrios de los suelos pampeanos y su efecto en la conservación y distribución vertical de los mismos ha sido planteado por diversos autores. Así, en un sentido contrario a los trabajos anteriores, Arens (1969) adjudica la disminución del contenido de vidrio en la arena de los horizontes A y Bt de un perfil de la Serie Rojas, a su meteorización. También en las cartas de suelos de las hojas Melincué (INTA, 1974) y Casilda (INTA, 1979) en el sur de Santa Fe, al referirse a los datos mineralógicos del suelo de la Serie Chabás se señala que el material originario es rico en vidrio volcánico que meteoriza fácilmente. En suelos del noreste de Córdoba, Sacchi (2001) considera que la menor proporción de vidrios y litoclastos en los horizontes superficiales respecto al material parental es debida a su meteorización por procesos pedogenéticos. Del mismo modo en suelos del sur de Santa Fe, Etchichury *et al.* (1997b) atribuyen la disminución que observan de la frecuencia de vidrio en dirección al río Paraná a fenómenos de fragmentación mecánica y alteración química. Marengo *et al.*, (2002) en suelos del sur de Santa Fe proponen una remoción mecánica diferencial del vidrio. Por su parte Teruggi & Imbellone (1983) también consideran que la disminución del vidrio en ciertos horizontes de suelos del norte de la Región Pampeana, son debidas a su desaparición por meteorización. Así, los autores evaluaron diversos parámetros, proponiendo en particular las relaciones C/V y C/F+V por considerarlas con mayor sensibilidad como

índices de madurez mineralógica. Morrás (1984) analizó críticamente los fundamentos y conclusiones de ese trabajo, con la correspondiente respuesta de Teruggi & Imbellone (1984). Por su parte De Petre & Perman (1985) también utilizan la relación C/V en dos suelos del norte de la Región Pampeana e infieren que su aumento en el horizonte Bt es debido a la alteración del vidrio.

En estos trabajos, y para concluir que las variaciones verticales en el contenido de vidrio son el resultado de procesos de meteorización pedogénicos, de manera explícita o implícita los autores han asumido como punto de partida la preexistencia de un material parental homogéneo, tomando como referencia la composición de los horizontes C. También otros autores han asumido la homogeneidad del material parental de suelos pampeanos al interpretar diferencias composicionales de la fracción arcilla como resultado de procesos de alteración y neogénesis. Así, Scoppa (1974; 1976) señala que el mineral de arcilla ampliamente dominante en los sedimentos de la llanura pampeana y del sur de la región chaqueña es la illita; partiendo de esa premisa, considera que las diferencias observadas en la mineralogía de arcillas entre suelos de la Pampa Ondulada -y en particular la presencia de minerales expandibles- se deben a diferencias en los procesos de neoformación, condicionados por la diferente textura de los materiales sedimentarios. Recientemente, Iturri & Buschiazzo (2014) concluyen que en ciertos suelos pampeanos ricos en vidrios volcánicos las trizas se transformaron en esmectitas por procesos pedogénicos. Del mismo modo, Orgeira *et al.* (2008) asumen una homogeneidad composicional del material parental en el análisis de propiedades magnéticas diferenciadas entre distintos suelos pampeanos, interpretando las diferencias en la mineralogía magnética como resultado de procesos pedogénicos. Por el contrario, otros trabajos han planteado que las principales diferencias mineralógicas en las fracciones finas de los suelos pampeanos se deben a la heterogeneidad composicional de los materiales parentales, la que claramente se manifiesta en las diferencias composicionales de la fracción arena.

Así, una síntesis sobre estas otras interpretaciones referidas a la heterogeneidad litogénica de la fracción arcilla en la Pampa Ondulada se encuentran en Morrás & Moretti (2016) en tanto sobre las relaciones entre la mineralogía del material parental y propiedades magnéticas de algunos suelos de esta misma subregión fueron presentadas por Nabel *et al.* (1999) y Liu *et al.* (2010).

En síntesis, las diferentes perspectivas y las discrepancias respecto a la homogeneidad u heterogeneidad de los materiales parentales y de la intensidad de los procesos de meteorización en los suelos pampeanos subrayan el interés de los estudios que aborden estas cuestiones.

Heterogeneidad mineralógica de los perfiles de suelos pampeanos. Discontinuidades o meteorización

La detección en los suelos de estratificaciones de origen geológico es de fundamental importancia para interpretar los procesos de evolución de los suelos, la identificación de paleosuelos, así como en estudios geomorfológicos. Numerosos parámetros se han utilizado para establecer la existencia de discontinuidades litológicas, o en otros términos para evaluar el grado de homogeneidad del material parental de los suelos, sobre todo los índices relacionados con la composición mineralógica y en particular la mineralogía de las fracciones inmóviles. Entre éstos, la relación en la proporción de dos minerales relativamente resistentes de la fracción gruesa es uno de los procedimientos de análisis frecuentemente utilizados, como es la utilización de la relación zircón/turmalina en toda la arena o en fracciones específicas (Brewer, 1964; Schaetzl & Thompson, 2015). Por otro lado, otra cuestión importante a considerar es el grado de desarrollo de los suelos como resultado de procesos de meteorización. También se utilizan una gran variedad de métodos y de índices, entre los cuales están aquellos basados en la mineralogía de la fracción arena. A diferencia de los índices de homogeneidad, con este otro propósito se utilizan relaciones entre minerales resis-

tentes / minerales meteorizables. Ejemplo de estos índices de “meteorización”, también denominados de “madurez” en sedimentología, son las relaciones cuarzo/feldespatos o (zircón+turmalina) / (piroxenos+anfíboles) (Pettijohn, 1957; Brewer, 1964; Schaetzl & Thompson, 2015).

En este marco, una cuestión de interés a considerar como corolario de los resultados aquí presentados sobre la composición mineralógica de la fracción arena de materiales loésicos pampeanos, es la validez de distintas relaciones minerales en las que interviene el vidrio volcánico en relación al cuarzo (cuarzo/vidrio y cuarzo/feldespatos+vidrio) como índices para establecer la homogeneidad litológica del material parental (Morrás 1978; 1983; Morrás & Delaune, 1981; 1985; Zappino *et al.*, 2016) o bien como índices de

“madurez” para establecer el grado de alteración (Teruggi & Imbellone, 1983; De Petre & Perman, 1985). En el primer caso, el vidrio volcánico mayoritariamente ácido andesítico a riolítico que caracteriza los sedimentos pampeanos se consideró relativamente estable (Morrás, 1984), y en el segundo caso este vidrio se consideró inestable (Teruggi & Imbellone, 1984).

Los resultados surgidos en el análisis de un número considerable de suelos de distintos sectores de la Pampa Norte han puesto en evidencia la existencia de variaciones marcadas intra- e inter-perfil en el contenido de vidrio volcánico (Capítulo 5 de esta obra). En la **Fig. 1** se representa el porcentaje de vitroclastos en función de la profundidad de los perfiles seleccionados como “modelos mineralógicos”. Se aprecia que algunos suelos se caracterizan

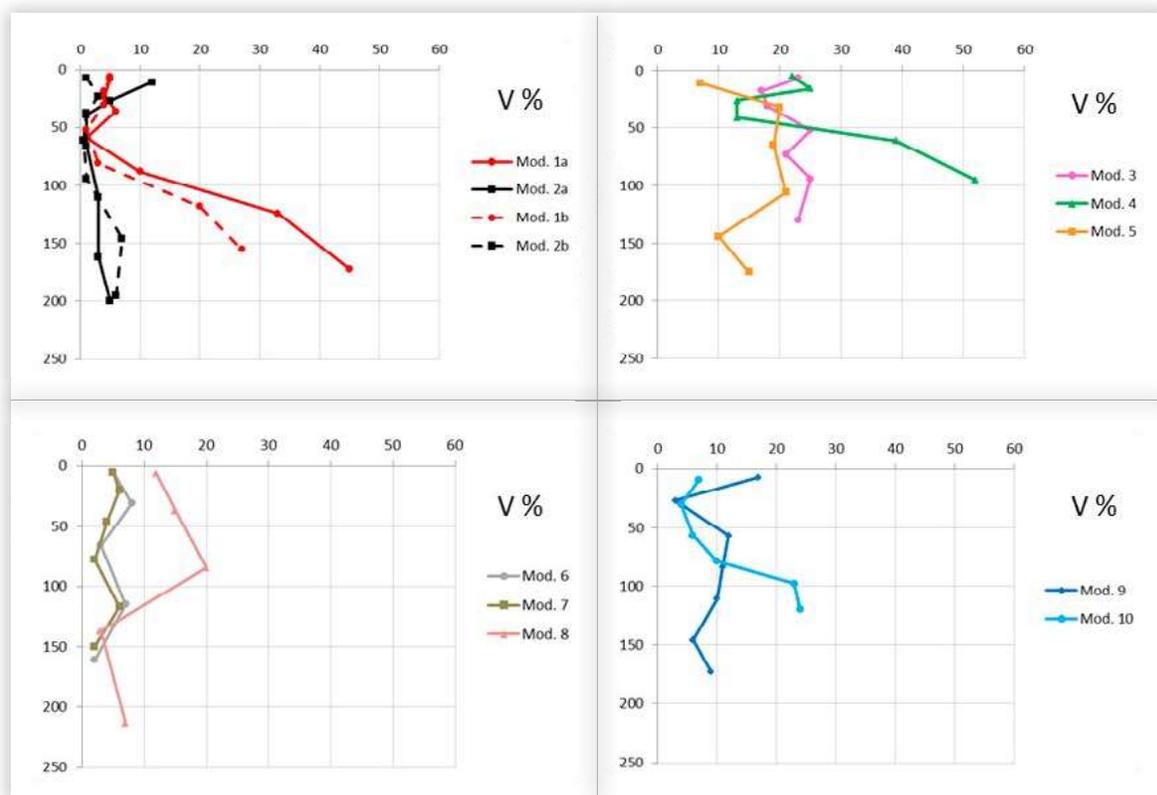


Figura 1. Variación con la profundidad (cm) del contenido de vidrio volcánico en la fracción liviana de la arena (62-246 μm) de los perfiles representativos de los “modelos mineralógicos” de la Pampa Ondulada y sectores próximos. Datos tomados de la Tablas 1 a 5 del Capítulo 5 de esta obra.

Figure 1. Depth functions (cm) of the volcanic glass content in the light sand fraction (62-246 μm) in representative profiles of the “mineralogical models” of the Rolling Pampa and nearby sectors. The data were taken from Tables 1 to 5 of Chapter 5 of this work.

por un aumento notorio de vitroclastos hacia la base del perfil con máximos en los horizontes BC y C (“modelos” 1a, 1b, 4 y 10); otros suelos presentan una proporción relativamente constante con la profundidad (“modelos” 2a, 2b, 6 y 7); otros presentan oscilaciones marcadas entre horizontes (“modelos” 3 y 9), en tanto que en otros el contenido de vidrio volcánico aumenta en horizontes intermedios E y Bt (“modelos” 5 y 8).

En consecuencia, el cálculo de índices en donde se relaciona el contenido de vidrio volcánico con el del cuarzo parecería resultar útil para orientar la interpretación de esas variaciones en el contenido de vitroclastos. En la **Fig. 2** se representan los valores de la relación cuarzo/vidrio de esos perfiles, observándose un aumento notorio del índice en los

horizontes Bt de los “modelos” 1a y 2a, lo que consideramos como indicio de una discontinuidad composicional a ese nivel. Debe notarse que en estos mismos Argiudoles típicos y vérticos de Santa Fe y Buenos Aires, Teruggi & Imbellone (1983) interpretan que el aumento del valor del índice cuarzo/vidrio en los horizontes Bt es el resultado de la disminución del vidrio por procesos de meteorización.

Sin embargo, y contrariamente a lo anterior, en el perfil del modelo 3 que corresponde también a Argiudoles típicos localizados en la misma zona que los precedentes, los valores de la relación C/V son casi los mismos en todos los horizontes y generan una línea recta con la profundidad. Resultados similares se obtienen con los perfiles de los modelos 4 y 5. Estos dos suelos presentan en su perfil horizontes E, sobre

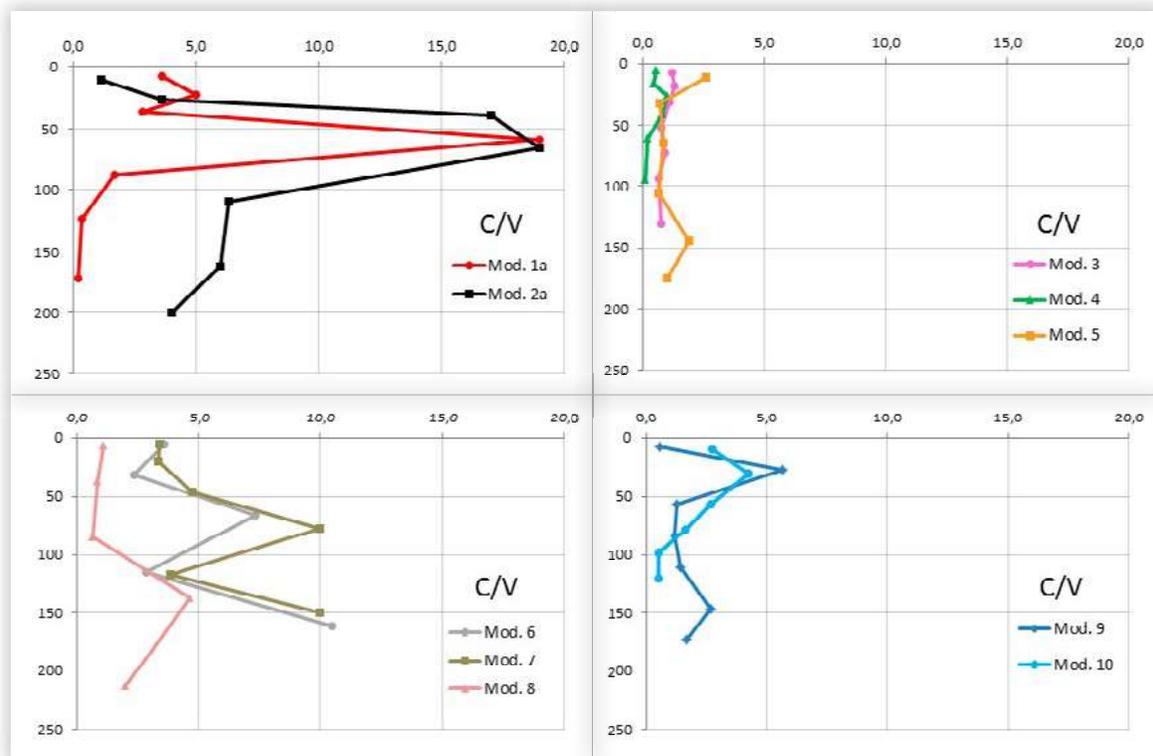


Figura 2. Relación cuarzo / vidrio volcánico en la fracción liviana de la arena en los perfiles representativos de los “modelos mineralógicos” de la Pampa Ondulada y sectores próximos. Datos tomados de la Tablas 1 a 5 del Capítulo 5 de esta obra. Las curvas de los “modelos” 1b y 2b tienen similar trazado que los “modelos” 1a y 2a, pero no se incluyen aquí porque los valores de la relación C/V en los horizontes B exceden el tamaño del gráfico,

Figure 2. Quartz / volcanic glass ratio in the light sand fraction in the representative profiles of the “mineralogical models” of the Rolling Pampa and nearby sectors. The data are taken from Tables 1 to 5 of Chapter 5 of this work. The depth functions for “models” 1b and 2b have a similar layout as the “models” 1a and 2a, but they are not included here because the values of the Q/V ratio in B horizons exceed the size of the graph.

los que eventualmente podría especularse con mayor probabilidad la existencia de procesos de meteorización; sin embargo, las curvas de la relación C/V no sugieren nada de esto.

La representación gráfica de la relación C/V de los perfiles de los modelos 6 y 7 correspondientes a Vertisoles genera otro tipo de curvas muy similares entre sí. Aquí se constata un primer máximo a nivel de un sub-horizonte 2B y un segundo en el horizonte 3C. En particular los valores máximos en los horizontes C difícilmente podrían interpretarse como resultado de procesos de meteorización. Por el contrario, las marcadas oscilaciones de la relación pueden asociarse con las discontinuidades litológicas descritas en el campo, y en todo caso reflejan el valor de la misma como índice de heterogeneidad según lo propuesto por Morrás & Delaune (1981). El suelo del modelo 8 también presenta valores más elevados en la base del perfil, lo que podría también relacionarse con las discontinuidades observadas en el campo.

Finalmente, las relaciones C/V en los perfiles de los modelos 9 y 10 tienen algunas similitudes entre sí, y se asemejan también a las obtenidas en los modelos 1 y 2. Sin embargo, y a diferencia de éstos, los picos máximos aparecen más cerca de la superficie. El caso del modelo 9 corresponde a un sub-horizonte A de un suelo Hapludol de la Pampa arenosa, en el cual es difícil suponer la existencia de condiciones de meteorización suficientes para producir la desaparición del vidrio volcánico. En el modelo 10 el pico máximo coincide con un horizonte E, y -como puede observarse en los datos de la Tabla 5 del capítulo 5 de esta obra- sin dudas correspondería considerar los tres horizontes más superficiales como un paquete diferenciado de los tres horizontes más profundos.

En consecuencia y en nuestro criterio, y a diferencia de varios trabajos citados anteriormente, que adjudican la disminución del contenido de vidrio volcánico en ciertas áreas de la Región Pampeana o en ciertos horizontes de los perfiles a procesos de meteorización física y/o química, estos resultados revelan que la mayor o menor abundancia del vidrio en los perfiles de suelo pampeanos es con-

secuencia de la heterogeneidad de los materiales sedimentarios depositados en la región. Del mismo modo, en suelos del extremo norte de la Pampa y del sur del ámbito chaqueño se han encontrado tanto incrementos como disminuciones del vidrio con la profundidad y en muchos casos valores máximos en los horizontes Bt (Pocoví, 1947; Morrás & Delaune, 1985). Bertoldi de Pomar (1962) sobre la mineralogía de nueve perfiles de suelo del norte de la provincia de Santa Fe, refiere: “Resulta notable la tendencia de los vidrios volcánicos a predominar en los horizontes superiores, en proporciones directamente inversas al cuarzo, que alcanza así sus mayores concentraciones en la roca madre”. Asimismo, en suelos loésicos de la llanura tucumana los horizontes superficiales se encuentran enriquecidos en vidrio respecto a horizontes intermedios o profundos (Zappino *et al.*, 2016).

De este modo entendemos que, para el caso de suelos de la región Chaco-Pampeana, las relaciones mineralógicas en las que interviene el vidrio en comparación con el cuarzo no podrían utilizarse como índice de “madurez” o de meteorización, sino como índices de homogeneidad del sedimento sirviendo para establecer la existencia de discontinuidades en el material parental. Como señaló Morrás (1984), uno de los argumentos en este sentido son los numerosos trabajos -allí citados- referidos a sedimentos y suelos de la región en los que se destaca que los vidrios volcánicos se hallan prácticamente inalterados. Aquí corresponde agregar la descripción hecha por Remiro (Capítulo 5) en sus informes, donde señala que el vidrio volcánico “está fresco y raramente alterado”. Otros trabajos sobre sedimentos y suelos de diversas áreas de la Región Pampeana, indican que la alteración de los vidrios de la fracción arena, incluyendo vidrios de color castaño, se limita a algunos indicios de devitrificación o birrefringencia en los canaliculos que podría atribuirse a arcillas. También se consideró que la ligera alteración observable en algunos vitroclastos se habría producido en los depósitos volcanoclásticos del piedemonte andino y en las llanuras aluviales del norte de la Patagonia con anterioridad a su transporte eóli-

co e incorporación a los sedimentos pampeanos (Teruggi, 1954; Zárate & Blasi, 1993). Las razones que justificarían el estado fresco de los vidrios ácidos y su permanencia en los suelos pampeanos se encontrarían en el hecho que estos no son fácilmente meteorizables, y a que no han existido en esta región condiciones climáticas y/o de tiempo suficiente para su meteorización y eventual desaparición luego de su depositación (Morrás, 1984).

Lo anterior no significa descartar que pequeñas partículas de vidrio volcánico en las fracciones limo y arcilla por su mayor superficie específica puedan ser más susceptibles a la meteorización. También debe recordarse la importante presencia de fitolitos en los materiales pampeanos (Osterrieth, 2006) cuya sílice evidentemente ha de provenir de los minerales primarios constitutivos de los sedimentos y quizás en primer lugar de los fragmentos de vidrio. Esto plantea también la cuestión de la eventual neoformación de minerales de arcilla en los suelos pampeanos a partir de sílice mineral o biológica, la que en todo caso sería muy acotada de acuerdo a la poca información existente, y como fue discutido en una antigua revisión del tema (Morrás, 1985). A pesar de la probable solubilización de la sílice de las partículas más pequeñas, observaciones específicas de la fracción limo fino (2-20 μm) de suelos del norte de Santa Fe mediante microscopía electrónica mostraron la existencia de trizas de vidrio volcánico prácticamente inalteradas, aunque fragmentos de diatomeas y fitolitos evidenciaron procesos de disolución (Morrás, 1995).

Heterogeneidad composicional y mineralogía magnética en sedimentos loésicos y suelos pampeanos

Los minerales de hierro detríticos y neoformados en sedimentos y suelos, aunque minoritarios en la masa de éstos, presentan propiedades magnéticas que pueden ser medidas mediante diversas técnicas. Entre éstas se encuentra la determinación de la susceptibilidad magnética (SM), la que describe cuán “magnetizable” es un material cuando se lo expone a un campo magnético ex-

terno conocido. En los materiales naturales aquí considerados, los minerales magnéticos entran básicamente en cuatro categorías con diferentes respuestas frente a los campos magnéticos debido a su diferente estructura cristalina: ferrimagnéticos (fuerte susceptibilidad positiva: magnetita, titanomagnetitas, maghemita, etc.), antiferromagnéticos cantedados (susceptibilidad positiva moderada: hematita y goethita), paramagnéticos (susceptibilidad positiva débil: piroxenos, anfíboles, biotita, epidoto, illita, etc) y diamagnéticos (susceptibilidad negativa débil: cuarzo y feldspatos). Los datos de la SM son dependientes de la concentración, tamaño de grano y mineralogía de los componentes de la fracción magnética; los valores obtenidos en los suelos integran la señal provista por los minerales magnéticos heredados del material parental y de aquellos neoformados como resultado de procesos pedogenéticos, cuyo factor de control fundamental es el clima (Mullins, 1977). Así, tomando en cuenta la importancia de obtener información sobre los climas del pasado y dado que los depósitos loésicos, paleosuelos y suelos constituyen archivos de procesos climáticos y ambientales, las técnicas de mineralogía magnética y los modelos magnetoclimáticos aplicados a estos materiales experimentaron un rápido desarrollo (Maher, 1998; Heller & Evans, 1995; Evans & Heller, 2001; 2003).

Existen dos modelos magnetoclimáticos generales que explican la variabilidad de la señal magnética en secuencias de loess-paleosuelos. El denominado de los “fuertes vientos” (“*wind-vigour*”) aplicado a loess de Siberia y Alaska, asume que durante los períodos glaciales fueron transportadas mayor cantidad de densas partículas magnéticas que en los interglaciales, por lo que la SM es mayor en el loess que en los niveles de paleosuelo. Por el contrario, el “modelo pedogenético” aplicado a los loess de China, postula que la acción de procesos biológicos y/o químicos condujeron a la neoformación de minerales magnéticos; por tanto, los paleosuelos son más magnéticos que el loess prístino. Sin embargo, los resultados obtenidos en diversos trabajos realizados en suelos actuales y

secuencias de loess-paleosuelos de distintos sectores de la Región Pampeana no coinciden con ninguno de esos modelos (Bidegain *et al.*, 2005; 2009; Liu *et al.*, 2010).

En este sentido, y a diferencia de lo que ocurre en las secuencias de China, los resultados obtenidos en perfiles de la Pampa Ondulada evidencian una disminución de la SM en horizontes Bt de algunos paleosuelos enterrados (Vázquez *et al.*, 1998; Nabel *et al.*, 1999). También en algunos suelos actuales de la misma zona otros autores encuentran una disminución de la SM en los horizontes A y Bt en comparación con los valores más elevados del material parental (horizonte C) (Bartel *et al.*, 2005). Diversas hipótesis se han planteado al respecto, predominando la atribución de esa disminución a procesos de disolución bajo condiciones reductoras de los minerales ferrimagnéticos detríticos (Orgeira *et al.*, 2003). Sin embargo, en los horizontes Bt de muchos otros suelos actuales, en particular de la Pampa Ondulada y desarrollados bajo condiciones húmedas, se presenta un incremento de la SM atribuida en general a una neogénesis pedogénica de minerales magnéticos (Nabel *et al.*, 1999; Orgeira *et al.*, 2003; Altinier *et al.*, 2010). En secuencias de paleosuelos en el área de La Plata, se ha observado que algunos paleosuelos (Bt enterrados) presentan incrementos y otros presentan disminución de la SM respecto a su material parental (horizontes C) (Bidegain *et al.*, 2009). La ciclicidad observada en esta secuencia de loess/paleosuelo se la ha relacionado con discontinuidades sedimentarias y con la sucesión de ciclos áridos/ húmedos. La pedogénesis durante una fase árida dejaría una señal magnética cercana a la del material parental, en tanto una fase húmeda generaría una disminución de la señal. En cambio, en suelos del extremo sur de la Región Pampeana, Bartel *et al.* (2011) encuentran los mayores valores de la SM en el horizonte A, y una disminución progresiva hacia la base de los perfiles, que sería independiente de la litología; para explicar este comportamiento los autores sugieren distintas hipótesis relacionadas con procesos pedogénicos, tal como la acumulación preferencial en superficie de

minerales ferromagnéticos debido a la iluviación de otros minerales, o la acumulación preferencial por biomineralización de minerales ferrimagnéticos en superficie.

En la síntesis elaborada por Orgeira *et al.* (2016) sobre las propiedades magnéticas de materiales pampeanos y su aplicación a estudios de magnetismo ambiental resulta evidente el propósito de diversos autores en encontrar relaciones de la señal magnética con procesos pedogénicos y de éstos con condiciones climáticas y paleoclimáticas, comparando con modelos propuestos para otras regiones y tratando de establecer modelos magnetoclimáticos apropiados para la región. Algunos de estos trabajos incorporan en el análisis interpretativo el balance hídrico y las condiciones de drenaje interno de los suelos para explicar el incremento o la disminución de la señal magnética en los suelos loésicos (Orgeira & Campagnucci, 2006; Orgeira *et al.*, 2011). Sin embargo, a pesar que existe evidencia que los depósitos loésicos pampeanos no son homogéneos ni mineralógica ni granulométricamente (Morrás, 1997; Zárate, 2003, Morrás 2003; Morrás & Cruzate, 2000; Etchichury & Tófaló, 2004) muchos de estos estudios no toman en cuenta de manera adecuada la contribución de los componentes heredados en las características magnéticas de suelos y paleosuelos.

Así, Orgeira *et al.* (2003) al estudiar depósitos holocénicos de la Fm. Luján en el río Lujan en el NE de Buenos Aires, y de la Fm. Lujan y la Fm. La Postrera expuestos en el Ao. Tapalqué en las cercanías de Olavarría en el centro de Buenos Aires señalan que “la mineralogía de estas formaciones post-Pampeanas se asemeja a otras unidades loésicas (Fm. Buenos Aires y Fm. Ensenada) denominados sedimentos Pampeanos, aunque se observa un incremento marcado de vidrio volcánico”. Al referirse más tarde a este trabajo, Orgeira *et al.* (2016) reiteran que la sedimentología y mineralogía de esas formaciones pospampeanas es similar a la que presentan las Formaciones Buenos Aires y Ensenada, integrando así en un mismo y homogéneo conjunto a sedimentos distantes tanto geográficamente como cronológicamente. Del

mismo modo Orgeira *et al.* (2008) al comparar suelos localizados en Verónica en la Pampa Deprimida con suelos de Zárate en la Pampa Ondulada que presentan señales magnéticas opuestas y que atribuyen al efecto de diferencias climáticas entre ambos sectores, asumen que todos ellos se han desarrollado sobre un mismo loess limo-arenoso de edad Pleistocena correspondiente a la Fm. Buenos Aires. También, otros autores (*eg.* Bidegain *et al.*, 2009) estudiando profundos perfiles de canteras dentro de una misma localidad, y aunque reconociendo discontinuidades o discordancias entre niveles correspondientes a depósitos Pospampeanos, depósitos de la Fm. Buenos Aires y de la Fm. Ensenada, atribuyen las marcadas diferencias de SM exclusivamente a alternancias de períodos húmedos y áridos y su influencia en procesos pedogénicos, sin considerar eventuales diferencias mineralógicas en la columna sedimentaria

De manera contrastante con los trabajos anteriores, otros llevados a cabo sobre suelos y paleosuelos de la Región Pampeana han señalado la influencia determinante de los componentes litogénicos del material parental en los valores de la SM y otros parámetros magnéticos, además de considerar también los procesos pedogénicos y particularmente las condiciones de clima edáfico interno (Nabel & Morrás, 1996; Nabel *et al.*, 1999; Morrás *et al.*, 2004).

Así, Liu *et al.* (2010) estudiaron las propiedades magnéticas de un Argiudol típico (denominado CAS) y un Argiudol vértico (denominado GAO) de la Pampa Ondulada situados muy próximos entre sí, aunque claramente diferenciados en la composición mineralógica de las distintas fracciones, y específicamente en los contenidos de cuarzo y vidrio de su fracción arena. De acuerdo a la composición mineralógica de la fracción arena, y utilizando los criterios propuestos en el Capítulo 5 de esta obra, el primer suelo se asimilaría al “modelo mineralógico” 1 y el segundo al “modelo” 2. Los resultados de dicho trabajo muestran por un lado que la SM en el suelo CAS es máxima en superficie y disminuye progresivamente hacia la base de perfil; en GAO por el contrario el valor de la SM

es muy inferior al del suelo CAS y el valor máximo se presenta en el horizonte Bt. Los resultados de este trabajo ponen en evidencia que para estos dos suelos representativos de la Pampa Ondulada la mayor parte del valor de la SM se encuentra en la fracción gruesa, es decir que proviene del material parental, por lo cual la SM de la muestra total –tal como se mide habitualmente– no sería un indicador adecuado de procesos pedogénicos y de condiciones climáticas.

Otros trabajos también evidencian el condicionamiento que impone la fracción gruesa en el valor de la SM de suelos pampeanos. Altinier *et al.* (2010) compararon la SM de un Argiudol típico desarrollado sobre un loess arenoso en Chivilcoy en el oeste de la Pampa Ondulada y un Argiudol vértico desarrollado sobre un loess típico situado en San Pedro, al este. Si bien el perfil vertical de la SM en ambos suelos es similar, con valores máximos entre 20-40 cm de profundidad, el valor de SM en Chivilcoy es el doble que en San Pedro lo que se relacionaría con la granulometría más gruesa y una mayor proporción de magnetita litogénica en el primero. En el mismo sentido pueden mencionarse resultados de Bidegain *et al.* (2009) cuando señalan que el loess arenoso de Necochea en la Pampa Sur presenta mayor cantidad de minerales magnéticos que el loess limoso que caracteriza perfiles de La Plata, Zárate y Baradero en la Pampa Ondulada. Es interesante mencionar aquí que estos mismos autores señalan que una muestra de ceniza volcánica pura obtenida en un perfil de Mar del Plata y estudiada en un trabajo precedente (Bidegain *et al.*, 2005) presentó valores de SM superiores a los valores más altos obtenidos en el perfil de La Plata. Así, en nuestro criterio esta observación sugeriría que la proporción de volcániclastos de los sedimentos loésicos pampeanos tendría una importante incidencia en los valores de SM, independientemente de la influencia posterior de eventuales procesos pedogénicos.

De esta sintética revisión surge claramente una variedad de comportamientos magnéticos en los perfiles de los suelos y paleosuelos pampeanos, incluso entre suelos próximos entre sí, por lo que

su atribución a procesos pedogenéticos de neoformación, de destrucción o de pérdida de partículas magnéticas resultan claramente insuficientes para explicar la complejidad del problema. Por este mismo motivo no parecerían adecuadas las propuestas de modelos magnetoclimáticos generales para toda la región, con el propósito de ser utilizados como *proxys paleoclimáticos*, basados exclusivamente en la alternancia de períodos húmedos / períodos secos (Bidegain *et al.*, 2009) o con un “índice de almacenamiento potencial de agua” (Orgeira & Campagnucci, 2006; Orgeira *et al.*, 2011) como determinantes principales de la SM. Los resultados expuestos en el Capítulo 5, donde se aprecian diferencias composicionales notorias en la mineralogía de la fracción arena entre horizontes y perfiles de suelos de un sector relativamente acotado de la Región Pampeana, deben llamar la atención sobre la necesidad considerar detalladamente la composición mineralógica de los sedimentos y suelos en el estudio de sus propiedades magnéticas. De hecho, una lectura adecuada de los resultados reportados en diversos trabajos sobre las propiedades magnéticas de los materiales pampeanos en conjunto, con los resultados aquí obtenidos sobre la mineralogía de la fracción arena, estaría sugiriendo que las propiedades magnéticas de los materiales pampeanos no responden directamente a ninguno de los dos modelos magnetoclimáticos vigentes (el de loess de China y el de los loess de Siberia-Alaska), sino que constituirían un caso específico aparentemente intermedio entre ambos. Sobre la base exclusiva de análisis magnéticos de dos perfiles localizados en La Plata y sin contar con la evidencia de la heterogeneidad mineralógica de los sedimentos de la Pampa Ondulada que aquí hemos presentado, Bidegain & Rico (2004) (perfil de la cantera de Juárez) y Bidegain *et al.* (2005) (perfil de El Cristo) también concluyen que ninguno de los modelos magnetoclimáticos existentes puede dar cuenta de las complejidades del loess Pampeano, proponiendo que el modelo aplicable sería el de los fuertes vientos modificado por procesos pedológicos.

CONCLUSIONES

El material parental de los suelos, junto con otros elementos del contexto geomórfico, controla una buena parte de los procesos pedológicos. El conocimiento adecuado de la composición y origen del material parental es un prerrequisito para entender tanto la formación y evolución de los suelos como sus propiedades y comportamiento. En el caso de la Región Pampeana, los suelos se han desarrollado sobre sedimentos loésicos y arenas eólicas del Cuaternario reciente, en los que los componentes volcánoclasticos son conspicuos y le dan identidad respecto a los loess del hemisferio norte. Si bien en el concepto tradicional estos sedimentos responderían a una cierta unicidad de origen y consecuentemente -salvo los contenidos de vidrio volcánico- mostrarían una relativa homogeneidad mineralógica, numerosos trabajos más recientes han ido mostrando variaciones composicionales a lo largo de la región que reflejarían la existencia de aportes de fuentes diversas.

En el Capítulo 5 de esta obra, sobre la mineralogía de la arena de suelos de la Pampa Ondulada y sectores cercanos, de manera original se ha puesto en evidencia una gran heterogeneidad composicional tanto entre horizontes de un mismo perfil como entre suelos próximos entre sí, notoriamente mayor a la que hasta aquí se ha considerado para los sedimentos superficiales pampeanos. Por otro lado, y además de esta gran heterogeneidad dentro de una misma subregión, la revisión de la literatura muestra la diversidad de resultados obtenidos en estudios mineralógicos de la fracción arena de diversos sectores de la Región Pampeana. Esa información ha posibilitado diferenciar en base a criterios cuantitativos y cualitativos la composición mineralógica de los sedimentos superficiales de la Pampa Sur de aquellos de la Pampa Norte, revelando también el carácter de área de transición que constituyen la Pampa Ondulada y sectores proximales a la misma.

Así, y en base a todas las evidencias mineralógicas existentes, una conceptualización actual de la conformación de los sedimentos loésicos pampeanos implica considerar a la Región Pam-

peana como una gran cuenca rodeada de áreas positivas, con diversos tipos de rocas volcánicas, ígneas, metamórficas y sedimentarias, cuyos detritos habrían sido transportados tanto por vía eólica como fluvial, alimentado en proporciones diversas a la masa sedimentaria. También debe considerarse que, como consecuencia de las variaciones del nivel del mar, durante los períodos regresivos habrían quedado expuesto amplias superficies litorales con sedimentos proclives a ser eolizados. Las modificaciones topográficas relacionadas con procesos neotectónicos habrían jugado un rol en la distribución de los sedimentos particularmente en el este de la región. Además, las condiciones ambientales que condicionan los procesos de transporte y depositación han presentado oscilaciones, y diversos trabajos paleoclimáticos han propuesto cambios en los regímenes de vientos relacionados con el traslado de los centros anticiclónicos durante el cuaternario.

En consecuencia, los estudios mineralógicos y pedogenéticos de suelos y paleosuelos pampeanos, incluyendo aquellos referidos a la mineralogía magnética, deberían tomar en cuenta este marco conceptual más complejo y que requiere todavía de numerosas precisiones. En este sentido, algunas

interpretaciones pedogenéticas tradicionales han sido revisadas en función de la heterogeneidad del material parental puesta de relieve en las últimas décadas. Así en particular, la franja con Argiudoles vérticos y algunos Vertisoles en el este de la Pampa Ondulada en lugar de ser interpretada como el resultado de la formación pedogénica de arcillas expandibles en materiales andinos transportados hacia el este y depositados en una extrema posición distal, puede ser ahora interpretada como el margen occidental de un área de sedimentación que incluye la Pampa Mesopotámica y una gran parte del Uruguay donde los suelos vérticos se desarrollan en sedimentos esmectíticos heredados de fuentes diversas relacionadas con las cuencas del Paraná, Uruguay y río de la Plata (Durán *et al.*, 2011; Morrás & Moretti, 2016). Finalmente, de una manera más general, y dado la complejidad manifiesta de los sedimentos loésicos pampeanos, los estudios pedológicos en la región –incluyendo los trabajos de cartografía– requerirían un abordaje según los conceptos y procedimientos de la geomorfología de suelos o geopedología (Schaeztl & Thompson, 2015; Zinck, 2016), uno de cuyos objetivos es identificar los tipos y el origen del material parental de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Altinier, V; H Morrás; E Bressan & M Castiglioni. 2010. Mineralogía de arcillas y susceptibilidad magnética de tres Argiudoles del sur de La Pampa Ondulada. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Actas (editado en CD).
- Arens, P. 1969. La interpretación de resultados de análisis mineralógicos de la fracción arena de los suelos, con referencia especial a los suelos de la Región Pampeana. Quinta Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Santa Fe, Actas: pp. 659-664.
- Bartel, A; J Bidegain & A Sinito. 2005. Propiedades magnéticas de diferentes suelos del Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 60: 591-598.
- Bartel, A; J Bidegain & A Sinito. 2011. Magnetic parameter analysis of a climosequence of soils in the Southern Pampean Region, Argentina. *Geophys. Int.* 50(1): 9-22
- Bertoldi de Pomar, H. 1962. Algunas consideraciones sobre la composición mineralógica de las arenas de la Provincia de Santa Fe. Primera Reunión de Trabajos y Comunicaciones de Ciencias Naturales y Geografía del Litoral Argentino. Instituto Profesional, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. Actas: pp. 91-107.
- Bertoldi de Pomar, H. 1969. Notas preliminares sobre la distribución de minerales edafógenos en la Provincia de Santa Fe. Quinta Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Santa Fe. Actas: pp. 716-726.
- Bidegain, J & Y Rico. 2004. Mineralogía magnética y registros de susceptibilidad en sedimentos cuaternarios de polaridad normal (Brunhes) y reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez, provincia de Buenos Aires. *Rev. de la Asoc. Geol. Argent.* 59(3): 451-461
- Bidegain, J; M Evans & A Van Velzen. 2005. A magnetoclimatological investigation of Pampean loess, Argentina. *Geophys. J Int.* 160(1): 55-62.

El material parental de los suelos de la Región Pampeana en base a la mineralogía de arenas

- Bidegain, J; Y Rico; A Bartel; M Chaparro M & S Jurado. 2009. Magnetic parameters reflecting pedogenesis in Pleistocene loess deposits of Argentina. *Quat. Int.* 209: 175-186.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley & Sons, New York, 470 p.
- De Petre, A & S Perman. 1985. Incidencia de la variabilidad mineral sobre la pedogénesis de algunos Molisoles. *Cienc. Suelo* 3(1-2): 152-156
- Etchichury, M; O Tófaló & M González. 1997. Mineralogía de los suelos del Sur de la Provincia de Santa Fe. Primer Taller sobre Sedimentología y Medio Ambiente, Buenos Aires. Resúmenes: pp. 17-18.
- Etchichury, M & O Tófaló. 2004. Mineralogía de arenas y limos de suelos, sedimentos fluviales y eólicos actuales del sector austral de la cuenca Chacoparanense. Regionalización y áreas de aporte. *Rev.de la Asoc. Geol. Argent.* 59(2): 317-329.
- Evans, M & F Heller. 2001. Magnetism of loess/ palaeosol sequences: recent developments. *Earth Sci. Rev.* 54: 129-144
- Evans, M & F Heller. 2003. Environmental magnetism. Principles and Applications of Environmagnetics. Academic Press, Elsevier Science, San Diego, Ca, USA.
- González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del pampeano en el área de la ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.* XX (1): 67-148
- Heller, F & M Evans. 1995. Loess magnetism. *Rev. Geophys.* 33: 211-240.
- Imbellone P & J Giménez. 1998. Parent materials, buried soils and fragipans in northwestern Buenos Aires province, Argentina. *Quat. Int.* 51/52: 115-126.
- Imbellone, P & A Cumba. 2003. Una sucesión con paleosuelos superpuestos del Pleistoceno medio-tardío, Holoceno. Zona sur de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *AAS Revista* 10(1): 3-21.
- INTA, 1974. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360-25, Melincué. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires. 97 p. y mapas.
- INTA, 1979. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360-19, Casilda. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires. 77 p. y mapas.
- Iturri, L & D Buschiazzo. 2014. Cation Exchange capacity and mineralogy of loess soils with different amounts of volcanic ashes. *Catena* 121: 81-87.
- Liu, Q; J Torrent; H Morrás; A Hong; Z Jiang & Y Su. 2010. Superparamagnetism of two modern soils from the northeastern Pampean region, Argentina and its paleoclimatic indications. *Geophys. J Int.* 183(2): 695-705.
- Luters, A. 1984. Mineralogía de la fracción psamítica en suelos localizados entre Necochea (Provincia de Buenos Aires) y Cuchillo-Có (Provincia de La Pampa). *RIA (serie 3, Clima y Suelo)* XIX (2): 149-164
- Maher, B. 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 137: 25-54.
- Morrás, H. 1978. Contribution à la connaissance pédologique des Bajos Submeridionales (Province de Santa Fe, Argentine). Influence de l' environnement sur la formation et l' évolution des sols halomorphes. Tesis Doctoral, Université de Paris VII, Francia, 184 p.
- Morrás, H. 1983. Evaluación de algunos métodos de identificación de discontinuidades litológicas. Su aplicación en suelos del norte de la Provincia de Santa Fe. X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Resúmenes: pp. 215-216,
- Morrás, H. 1984. En relación con "Perfiles de estabilidad mineral en suelos desarrollados sobre loess de la Región Pampeana septentrional, Argentina". Comentarios a la Editorial, *Cienc. Suelo* 2(2): 215-218
- Morrás, H. 1985. Estado actual de la mineralogía y micropedología de suelos de la Región Pampeana Norte, con referencia particular a la Provincia de Santa Fe. En: Primeras Jornadas regionales de suelos. Región Pampeana Norte. INTA-EERA Rafaela, Publicación Miscelánea n° 30, pp. 189-214.
- Morrás, H. 1995. Mineralogy and cation exchange capacity of the fine silt fraction in two soils from the southern Chaco Region (Argentina). *Geoderma* 64: 281-295.

- Morrás, H. 1997. Origen y mineralogía del material parental de los suelos de la Región Pampeana. ¿Homogeneidad o heterogeneidad? En: Net, L & A Caselli (Coord.). Primer Taller de Sedimentología y Medio Ambiente, Asociación Argentina de Sedimentología, Buenos Aires, Resúmenes: pp. 19-20.
- Morrás, H. 2003. Distribución y origen de los sedimentos superficiales de La Pampa Norte en base a la mineralogía de arenas. Resultados preliminares. *AAS Revista* 10(1): 53-64.
- Morrás, H. 2016a. Meteorización y pedogénesis. En: Pereyra, F & M Torres Duggan (eds.) Suelos y Geología Argentina. Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios. Pp. 47-83. AACCS, AGA, UNDAV Ediciones, Avellaneda.
- Morrás, H. 2016b. Ecología de la meteorización y evolución mineral de los suelos. En: Pereyra, F & M Torres Duggan (eds.). Suelos y Geología Argentina. Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios. Pp.134-158. AACCS, AGA, UNDAV Ediciones, Avellaneda.
- Morrás, H & M Delaune. 1981. Composición mineralógica de la fracción arena de algunos suelos de los Bajos Submeridionales (Santa Fe). VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas IV: pp. 343-352.
- Morrás, H & 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. *Cienc. Suelo* 3 (1-2): 140-151
- Morrás, H & G Cruzate. 2000. Distribución de sedimentos superficiales en la Región Pampeana Norte (Argentina) a través del análisis de la variación espacial de parámetros físicos y químicos. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología y VIII Reunión Argentina de Sedimentología, Mar del Plata. Resúmenes: pp. 126-127
- Morrás, H; G Ciari; C Grasticini; G Cruzate; V Altinier & M Castiglioni. 2004. Variación espacial y relación entre la retención de humedad y la mineralogía magnética en suelos de la Pampa ondulada, Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, (editado en CD-Rom).
- Morrás, H & L Moretti. 2016. A new soil-landscape approach to the genesis and distribution of Typic and Vertic Argiudolls in the Rolling Pampa of Argentina. En: Zinck A; G. Metternich; G Bocco & H del Valle (eds.). Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies. Chapter 11: pp. 193-209. Springer, Heidelberg, Alemania.
- Mullins, C. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science. A review. *J Soil Sci.* 28(2): 223-246.
- Nabel, P & H Morrás. 1996. Susceptibilidad magnética en suelos de La Pampa Ondulada, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas XIII Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Vol.II: p. 541.
- Nabel, P; H Morrás; N Petersen & W Zech. 1999. Correlation of magnetic and lithologic features of soils and quaternary sediments from the Undulating Pampa. *J. South America. Earth Sci.* 12: 311-323.
- Orgeira, M; A Walther; O Tófaló; C Vásquez; T Berquó; C Favier Dubois & H Bonel. 2003. Environmental magnetism in fluvial and loessic Holocene sediments and paleosols from the Chacopampean plain (Argentina). *J. South America Earth Sci.* 16: 259-274
- Orgeira, MJ & R Compagnucci. 2006. Correlation between paleosol-soil magnetic signal and climate. *Earth Planet. Space.* 58: 1373-1380.
- Orgeira, M; F Pereyra; C Vásquez; E Castañeda & R Compagnucci. 2008. Rock magnetism in modern soils, Buenos Aires Province, Argentina. *J. South America Earth Sci.* 26: 217-224.
- Orgeira, M; R Egli & R Campagnucci. 2011. A quantitative model of magnetic enhancement in loessic soils. En: Earth's Magnetic Interior, IAGA special Sopron Book series, Springer; 25.
- Orgeira, M; O Tófaló & S Rouzaut. 2016. Los paleosuelos como herramienta para estudios paleoambientales y paleoclimáticos. En: Pereyra, F & M Torres Duggan (eds.). Suelos y Geología Argentina. Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios. Pp. 206-251. AACCS-AGA, UNDAV Ediciones, Avellaneda.
- Osterrieth, M. 2006. Silicofitolitos en suelos, paleosuelos y sedimentos. En: Sanabria, J & G Arguello (eds.). III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Fac. de Cs. Exact. Fís. y Nat., UNC, Córdoba, Actas: Tomo I: 351-366.
- Pettijohn, F. 1957. Rocas sedimentarias. (Traducción de la 2da edición, por J. Turner). EUDEBA, Buenos Aires, 1970. 731 p.
- Pocovi, A. 1947. Petrografía de los suelos de la provincia de Santa Fe. Instituto Experimental de Investigación y Fomento Agrícola-Ganadero (IEIFAG), Santa Fe. Publicación Técnica n° 59, 107 p.
- Rigg, J; F Fidalgo; O Martínez & N Porro, 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el partido de La Plata. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* XLI (3-4): 316-333.

El material parental de los suelos de la Región Pampeana en base a la mineralogía de arenas

- Rubio, G; F Pereyra & M Taboada. 2019. Soils of the Pampean Region. En: Rubio, G; R. Lavado & F Pereyra (eds.) The soils of Argentina. World Soils Book Series, pp.81-100. Springer.
- Sacchi, A. 2001. Dinámica de erosión hídrica y de degradación física y química de suelos en las cuencas de los ríos Santa Catalina y Ascochinga, Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Tomo 1, 260 p.
- Schaetzl, R & M Thompson. 2015. Soils. Genesis and geomorphology. Cambridge University Press, New York, 778 p.
- Scoppa, C. 1974. The pedogenesis of a sequence of Mollisols in the Undulating Pampa (Argentina). Dr. Thesis, State University of Ghent, Bélgica. 158 p. y anexos.
- Scoppa, C. 1976. La mineralogía de los suelos de la llanura pampeana en la interpretación de su génesis y distribución. VII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca. *IDIA Suplemento* N° 33: 659-673.
- Teruggi, M. 1954. El material volcánico-piroclástico en la sedimentación cuaternaria argentina. *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.* IX (2): 184-191.
- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of Argentine loess. *J. Sediment. Petrol.* 27: 322-332.
- Teruggi, M & R Andreis. 1971. Composición, estabilidad y acción climática en sedimentos argentinos. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie)*, Tomo VII, Geología 58, 175-207.
- Teruggi, M & P Imbellone. 1983. Perfiles de estabilidad mineral en suelos desarrollados sobre loess de la Región pampeana septentrional, Argentina. *Cienc. Suelo* 1(1): 65-74.
- Vázquez, C; A Walther; M Orgeira; I Di Tomasso; H Lippai; S Alonso & J Vilas. 1998. Magnetismo de rocas y su aplicación a paleosuelos: estudio piloto de una secuencia loess-paleosuelo de la región Chaco-Pampeana. *Rev. de la Asoc. Geól. Argent.* 53(1): 83-90
- Zappino, R; M Cantú & A Becker. 2016. Material originario y suelos enterrados en la llanura de Tucumán. *Cienc. Suelo* 34(2): 303-322
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Sci. Rev.* 22: 1987-2006.
- Zárate, M & A Blasi. 1993. Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the southern Buenos Aires Province, Argentina: a preliminary model. *Quat. Int.* 17: 15-20.
- Zárate, M; R Kemp & A Blasi. 2002. Identification and differentiation of Pleistocene paleosols in the northern Pampas of Buenos Aires, Argentina. *J. South America. Earth Sci.* 15: 303-313.
- Zinck, J. 2016. Relationships between Geomorphology and Pedology: brief review. En: Zinck, J; G Metternicht; G Bocco & H del Valle (eds.). *Geopedology. An integration of Geomorphology and Pedology for soil and landscape studies.* pp.11-26. Springer, Switzerland.