

Modelos composicionales y áreas de distribución de los aportes volcánicos en los suelos de la Pampa Norte (Argentina) en base a la mineralogía de arenas

Héctor J. M. Morrás

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

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

Resumen

El material parental de los suelos de la Región Pampeana se halla constituido por sedimentos loésicos (loess típico y loess arcilloso hacia el este de la región y por loess arenoso y arenas eólicas hacia el oeste) depositados durante el Pleistoceno tardío-Holoceno. La composición fundamentalmente volcanoclástica de estos sedimentos se considera proveniente de las fuentes del norte de la Patagonia y del oeste del país. Sin embargo, algunos trabajos sobre suelos de la Pampa Norte han revelado también la existencia de otros aportes de diverso origen, cuantitativamente importantes, que han permitido poner de relieve la heterogeneidad mineralógica de los sedimentos superficiales y sugieren una gran complejidad de las condiciones paleoambientales y de los procesos sedimentarios en esta región. En el presente trabajo se procesaron datos correspondientes a la mineralogía de la fracción arena (62-246 μm) de todos los horizontes de 67 perfiles de suelo del noreste de la región, abarcando fundamentalmente la Pampa Ondulada y sectores vecinos de la Pampa Llana Santafesina, de la Pampa Deprimida y de la Pampa Arenosa. Dado que en el sector central se contaba con pocos perfiles completos la información fue complementada con los datos mineralógicos de otras 117 muestras de horizontes BC o C localizados en la misma. Los datos cuantitativos de minerales de las fracciones liviana y pesada de tres horizontes de suelo de cada perfil a distintas profundidades (horizontes A, B y C o BC) fueron representados cartográficamente. Esta representación permitió observar variaciones espaciales y delimitar unidades cuya morfología difiere según el mineral y el horizonte de suelo considerados, indicando la existencia de discontinuidades laterales y verticales en el material parental de los suelos. Por otro lado, el análisis detallado de los principales componentes de las fracciones liviana (cuarzo, vidrio volcánico, plagioclasas, feldespatos y fragmentos líticos) y pesada (% de minerales pesados, piroxenos, anfíboles y micas) de todos los horizontes de los 67 perfiles de suelo permitió: 1) constatar la existencia de diversas combinaciones en la composición mineralógica e identificar 12 tipos de perfiles o “modelos mineralógicos” incluyendo dos variantes, caracterizados por la diferente distribución vertical de minerales mayoritarios y/o significativos por su proveniencia. Estos “modelos” son comunes a un cierto número de perfiles. Algunos de estos tienen una distribución geográfica acotada, en tanto otros son más ubicuos y se presentan en distintas zonas. 2) mostrar la yuxtaposición muy cercana de “modelos mineralógicos” muy disímiles entre sí. De acuerdo a la predominancia y/o asociación espacial de estos “modelos” mineralógicos se distinguieron 7 “zonas mineralógicas” en el área estudiada, que presentan también alguna relación con diferentes ambientes geomórficos. Estos diferentes tipos de asociación mineral muestran en primer lugar una distribución espacial que confirma claramente la existencia de contribuciones variables pero significativas de rocas ígneas y metamórficas en la composición de los sedimentos loésicos pampeanos de este sector de la Pampa Norte, notoriamente de las Sierras Pampeanas hacia el norte de la región y de la región mesopotámica hacia el este, en tanto en el sector meridional dominan los aportes volcanoclásticos de origen andino. Además, las variaciones cuantitativas entre las distintas zonas en sus componentes de origen volcánico

(básicamente las relaciones entre vitroclastos, piroxenos y plagioclasas), así como las diferentes profundidades a las que se encuentran los máximos de estos minerales en los perfiles de suelo, indican no solo que estos aportes habrían tenido distinta intensidad sino que también sugieren que la composición y las fuentes de origen habrían sido diversas durante el período de conformación de estos depósitos en el Pleistoceno Superior-Holoceno. Por otro lado, resulta de importancia el haber puesto de relieve la heterogeneidad mineralógica vertical en casi todos los perfiles de suelo analizados. Esto indica que los horizontes C no representan exactamente la composición del material parental de los suelos de la región. Estos resultados subrayan la necesidad de considerar la variabilidad intrínseca intra- e inter-perfil de estos depósitos loésicos en el estudio de los factores de formación y de los procesos pedogenéticos de los suelos pampeanos.

Palabras clave

Loess; mineralogía de arenas; Pampa Ondulada; modelos mineralógicos; zonas mineralógicas.

Compositional models and distribution areas of volcanic contributions in soils of the Northern Pampa (Argentina) based on sand mineralogy

Extended abstract

The Pampean Region of Argentina is a vast plain in which two large sectors -the North Pampa and the South Pampa- are recognized. Besides, at a higher scale of observation and due to particularities of geomorphological features, vegetation and soils, a dozen of sub-regions are differentiated. The parent material of pampean soils is constituted by loessic sediments (typic loess and clayey loess towards the east of the region and by sandy loess and eolian sands towards the west) deposited during the late Pleistocene-Holocene. The volcanoclastic composition of these sediments is considered to come from basaltic and andesitic rocks and from the tuff deposits of northern Patagonia and the Andes, as well as direct falls of volcanic ash related to explosive events in the Andes cordillera. In line with the initial criteria of an almost exclusive or dominant source area, these sediments were considered to be mineralogically homogeneous, except for the presence of variable volcanic glass contents. However, various mineralogical and geochemical works of soils and paleosols of the North Pampa have progressively revealed the existence of compositional differences in surface sediments related to clastic contributions of diverse origin.

In the present work, data corresponding to the mineralogy of the sand fraction (62-246 μm) of all the horizons of 67 soil profiles located east of the North Pampa were processed, mainly in the Rolling Pampa sub-region and to a lesser extent in neighboring sectors of the Santa Fe Flat Pampa, the Flooding Pampa and the Sandy Pampa. Given that there were few complete profiles in the central sector of the studied area, the information was complemented with the mineralogical data of another 117 samples of BC or C horizons located in this sector. All mineralogical and soil data were taken from the existing information in the INTA Soils Institute. A preliminary analysis of sand mineralogy information of BC-C soil horizons of this region was carried out by Morrás (2003) (Fig. 1). Figure 2 illustrates how soil profiles and samples of BC-C horizons used in this work have been mapped. Figure 3 shows the geomorphological subregions in the east of the North Pampa and the location of soil profiles studied.

The quantitative data of some minerals selected from the light fraction (quartz, volcanic glass) and the heavy fraction (pyroxenes and micas) of three soil horizons of each profile at different depths (horizons A, B and C or BC) were represented cartographically (Figures 4, 7, 9 and

14). This representation allowed observing spatial variations and delimiting units whose morphology differs according to the mineral and soil horizon considered, indicating the existence of lateral and vertical discontinuities in the parent material of the soils.

On the other hand, the detailed analysis of the main components of the light fraction (quartz, volcanic glass, plagioclase, feldspars and lithic fragments) and of the heavy fraction (% of heavy minerals, pyroxenes, amphiboles and micas) of all horizons of the 67 soil profiles allowed verify the existence of various combinations in the mineralogical composition. In this way, twelve types of profiles or “mineralogical models” including two variants, characterized by the different vertical distribution of the selected minerals were identified (Tables 1 to 5, and Figures 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13). These “models” are common to a certain number of profiles. Some of these have a limited geographical distribution, while others are more ubiquitous and occur in different areas. Also, this analysis allowed to show the close juxtaposition of “mineralogical models” very different from each other. Consequently, and according to the predominance and / or spatial association of these mineralogical “models”, seven “mineralogical zones” were distinguished in the studied area, which also have some relationship with different types of soils and geomorphic environments (Fig. 15).

The different “models” and “mineralogical zones” identified show compositional variations both in the west-east and north-south directions, clearly confirming that the loessic sediments of the North Pampa, in addition to the volcanoclastic contributions, present variable but significant contributions of igneous and metamorphic rocks from different sources. On the one hand, along the entire strip near the Paraná-Río de la Plata river axis (zones B, C, F and G), a large part of soil profiles has a lower proportion of heavy minerals, pyroxenes and volcanic glass, and higher proportions of quartz, reflecting sedimentary contributions from the Paraná basin. From a granulometric point of view, part of sediments in this strip have a finer texture than other pampean loess types, entering the category of clayey loess (Figure 16). Also, and given that the clay fraction of these sediments contains a greater proportion of smectitic clay, unlike most of the other Pampas sub-regions but similarly to the Mesopotamian Pampa, this strip is characterized by the presence of vertic Argiudolls and of Vertisols. On the other hand, and in the latitudinal sense, the northern sector, where the “mineralogical zones” C and D are located, is characterized by a greater proportion of micas and amphiboles contributed from the Córdoba Pampean mountain system. On the contrary, the southernmost latitudinal strip where E, F and G zones are found is characterized by the abundance of pyroxenes and lithic fragments, which found their origin in volcanoclastic contributions from Andean and North-Patagonian sources. In turn, the central part of the Rolling Pampa (“zones” A and B) has intermediate or transitional mineralogy between the two previous ones. Consequently, and unlike the traditional scheme that posed unicity of origin and compositional uniformity of the Pampean loess the results obtained here correspond to another sedimentological paradigm of multiplicity and heterogeneity, and suggest a greater complexity of the paleoenvironmental conditions and of sedimentary processes in this region.

Finally, the vertical mineralogical heterogeneity of many soil profiles, which is reflected in several of “mineralogical models” identified in this work, is to be highlighted. Consequently, it is clear that C horizons do not exactly represent the composition of the parent material of many soils of the region. These results also underline the need to consider the intrinsic variability of these loessic sediments when studying the factors of soil formation and the pedogenetic processes of Pampas soils.

Key words

Loess; sand mineralogy; Rolling Pampa; mineralogical models; mineralogical zones. Argentina.

INTRODUCCIÓN

En la vasta llanura de la Región Pampeana se pueden reconocer diversos ambientes en función de sus rasgos morfológicos superficiales, la litología, el clima, la vegetación y los suelos. Una síntesis de diversos esquemas propuestos por distintos autores permite distinguir claramente trece subregiones geomorfológicas principales (Pereyra, 2003; Durán *et al.*, 2011). Considerando los contrastes más evidentes, suelen diferenciarse la Pampa Norte y la Pampa Sur, aunque no hay un criterio común para marcar el límite entre ambas regiones. Para Iriondo (1994; 2010) es una línea diagonal de rumbo SSE-NNO que coincide con el río Salado en Buenos Aires y pasa por Venado Tuerto en Santa Fe y se continúa hasta Villa María en Córdoba. Según Zárata (2003) la Pampa Norte - además de la Pampa Ondulada, el sur de Santa Fe, este de Córdoba y la provincia de Entre Ríos- incluye también la Pampa Deprimida. Rubio *et al.*, (2019), al norte de la Pampa Sur, diferencian la Pampa Deprimida de la Pampa Norte. En el presente trabajo, de manera aún más esquemática ubicamos el límite entre la Pampa Sur y la Pampa Norte aproximadamente en la latitud 36°S.

Desde el punto de vista geológico, la superficie de la Pampa Norte está cubierta por depósitos eólicos primarios y secundarios de edad cuaternaria. La piedra angular del conocimiento (Teruggi *dixit*) sobre estos sedimentos fue planteada en 1925 por Frenguelli. Los numerosos trabajos posteriores han permitido establecer numerosas precisiones en la estratigrafía y distribución de los mismos, comenzando por distinguir hacia el este un cinturón de loess primarios y re TRABAJADOS, “Faja Periférica de Loess”, y hacia el oeste una amplia área cubierta por arenas eólicas, “Mar de Arena Pampeano” (Iriondo, 1994; Iriondo & Kröhling, 1995; 1996).

Esta distribución espacial de sedimentos eólicos responde a un Modelo Pampeano generado durante el Último Máximo Glacial, consecuencia de los vientos derivados del Campo de Hielo de la Cordillera patagónica. Durante el Holoceno Superior y como consecuencia de un centro anticiclónico estacionado sobre la región, estos depósitos

habrían sido erosionados y redepositados como una delgada carpeta de loess (Iriondo, 1997).

En un esquema estratigráfico simplificado, los sedimentos loésicos superficiales depositados durante el Pleistoceno Superior y correspondientes a la zona de polaridad magnética Bruhnes (Bidegain & Rico, 2004; Nabel *et al.*, 2005; Zárata & Orgeira, 2011) se los conoce como Pampeano Superior, “Bonaerense” o Fm Buenos Aires (Zárata, 2005); esta unidad ha sido denominada Fm Tezanos Pinto en Santa Fe y Entre Ríos (Iriondo, 1987; Iriondo & Kröhling, 1995; 1996). En algunos sectores ésta se encuentra cubierta parcialmente por sedimentos eólicos “postpampeanos” denominados Fm La Postrera en Buenos Aires (Fidalgo, 1990; Zárata, 2005). En las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, Iriondo & Kröhling (1995; 1996) denominan Fm San Guillermo al delgado manto eólico superficial que se habría depositado en el Holoceno Superior. En el sur de Córdoba, Cantú (1992) correlaciona estos depósitos superficiales con la Fm Laguna Oscura. Estos sedimentos “pampeanos” y “postpampeanos” en sus diferentes facies eólicas y fluviales, además de una pequeña franja de depósitos marinos en la costa atlántica, constituyen el material parental de los suelos de la región.

La composición y origen de los sedimentos loésicos no han sido todavía suficientemente estudiados y constituyen todavía un tema controversial, aunque claros avances se han logrado en los últimos años. Siguiendo el trabajo fundamental de Teruggi (1957), existe consenso en que las principales áreas fuente de los depósitos pampeanos de limos y arenas son las rocas basálticas y andesíticas, así como los depósitos de tobas del norte de la Patagonia y la cordillera de los Andes. Inicialmente se consideró que estas partículas fueron transportadas por el viento directamente desde esas áreas (Teruggi, 1957; Sayago, 1995). Sin embargo, diferentes alternativas considerando una primera etapa de transporte fluvial de los sedimentos, los que fueron luego deflacionados de los depósitos en las llanuras aluviales que bordean la Pampa, fueron propuestas por diversos autores (González Bonorino, 1965; Zárata & Blasi, 1993; Iriondo, 1990).

Se admite que el transporte eólico promovió la selección granulométrica de los sedimentos, dado el decrecimiento progresivo del tamaño de grano desde sudoeste hacia el noreste de la Región Pampeana (Iñiguez & Scoppa, 1970; Morrás & Cruzate, 2000). Sin embargo, otros procesos pueden haber influido en esa diferenciación granulométrica espacial. Zárate & Blasi (1993) indican que una zonación previa del tamaño de grano en las llanuras aluviales del norte de la Patagonia podría haber constituido un factor de control en la diferenciación de campos de dunas y mantos loésicos de la Pampa. Por otro lado, la incorporación por caída directa de cenizas volcánicas producidas por erupciones en la zona andina jugó también un rol fundamental en la formación de los sedimentos pampeanos (Imbellone & Camilión, 1988; Zárate & Blasi, 1993). Además de la evidencia que proveen importantes eventos en los siglos XX y XXI como las de los volcanes Quizapú, Hudson, Puyehue y Chaltén de la Zona Volcánica Sur y el Lascar de la Zona Volcánica Central, estudios recientes han demostrado la ocurrencia de enormes erupciones explosivas en la zona volcánica central de los Andes durante el Holoceno medio, cuyas cenizas se habrían depositado en una amplia extensión de la región Chaqueña (Fernandez Turiel *et al.*, 2019).

En consonancia con el criterio inicial de un área fuente casi exclusiva localizada hacia el oeste y suroeste de la Región Pampeana, durante largo tiempo y en diversos trabajos se consideró que estos sedimentos eran mineralógicamente homogéneos, exceptuando el hecho de la presencia de contenidos variables de vidrio volcánico (Teruggi, 1957; Imbellone & Teruggi, 1993). Así, de acuerdo a la mineralogía de la fracción arena de los suelos, Scoppa (1976) incluye todo el ámbito de la provincia de Buenos Aires y el sur de Santa Fe en una misma y homogénea Provincia mineralógica, dando como ejemplo datos composicionales de suelos de Sierra de la Ventana y Balcarce en Buenos Aires y Hughes en Santa Fe. Sin embargo, un número considerable de estudios sobre la fracción arena de sedimentos y suelos de ámbitos pampeanos y chaqueños han demostrado la existencia de diversas

fuentes de aporte en la formación de la masa sedimentaria. Así, se han identificado contribuciones desde la cuenca del Paraná en el este de las regiones Pampeana y Chaqueña (González Bonorino, 1965; Bertoldi de Pomar, 1969; Morrás & Delaune, 1985; Iriondo & Kröhling, 1996; Morrás, 2003; Etchichury & Tofalo, 2004).

También evidentes aportes del basamento de la Sierras Pampeanas aparecen en los materiales superficiales de la Pampa Norte y el sur del Chaco en las provincias de Córdoba y Santa Fe (Bertoldi de Pomar, 1969; Morrás & Delaune, 1985; Di Paola, 1987; Cantú, 1992; Kröhling, 1999; 2000; Kröhling & Orfeo, 2002; Morrás, 2003; Etchichury & Tofalo, 2004; Iriondo & Kröhling, 2007). Aportes locales desde los sistemas de Ventania y Tandilia aunque en extensión y proporción limitada se identificaron en la fracción arena de sedimentos superficiales de la Pampa Sur (Fidalgo *et al.*, 1991; Blanco & Sánchez, 1994; Pereyra & Ferrer, 1997; Etchichury & Tofalo, 2004).

Otras posibles fuentes de aporte de partículas serían las rocas ígneas y metamórficas de Uruguay y las paleo-llanuras en las plataformas continentales (Blasi *et al.*, 2001; Zárate, 2003; Morrás, 2003; Morrás & Moretti, 2016). Para estos últimos autores, los aportes de sedimentos finos esmectíticos desde el área Mesopotámica, del Uruguay y de paleo-llanuras aluviales del río de la Plata habrían contribuido a conformar los depósitos loésicos que se encuentran en el este de la Pampa Ondulada, por lo cual la granulometría fina de los materiales de este sector no solo sería debida a la selección por transporte desde fuentes del oeste. Estudios geoquímicos de los sedimentos superficiales del conjunto de la Región Pampeana evidencian la existencia de variaciones espaciales en los contenidos de elementos mayores como P (Morrás, 1996; 1999), K (Morrás & Cruzate, 2002) y Ca y Mg (Larrea, 2019) que se relacionarían con diferencias mineralógicas y sugieren contribuciones sedimentarias desde las Sierras Pampeanas y de la cuenca del Paraná, además de los aportes volcániclasticos de origen andino. Por otro lado, desde hace tiempo se ha mencionado el posible aporte de polvos eólicos procedentes del Altiplano (Bloom, 1990; Zárate, 2003).

La caída registrada de polvos eólicos no volcánicos en la provincia de Buenos Aires podría relacionarse con esa fuente de origen (Mazzoni, 1997). En este sentido, estudios geoquímicos recientes basados en el estudio de elementos del grupo de tierras raras (La, Yb, Eu), de isótopos de otros elementos (Sr, Nd) y nuevas dataciones evidencian la existencia de tres áreas-fuente persistentemente activas en la conformación del loess pampeano: además de los aportes procedentes de Patagonia dominantes en el sur de la Región Pampeana, la firma geoquímica en depósitos de la Pampa Norte estaría indicando una mezcla con aportes del piedemonte andino en el centro-oeste de Argentina, y con aportes de polvo desde la Puna-Altiplano (Gaiero, 2007; Gili & Gaiero, 2014; Gili *et al.*, 2017; Torre *et al.*, 2019). Revisiones muy elaboradas y documentadas acerca de las características, áreas fuente, distribución y registro geológico de los sedimentos loésicos de la región Chaco-Pampeana fueron realizadas por Zárate (2003; 2007). Así, toda la información actualmente disponible pone en evidencia un escenario mucho

más complejo que el considerado inicialmente y aún que el presentado en esas recientes revisiones sobre el origen, transporte y distribución de los sedimentos pampeanos.

En este marco, y como un antecedente directo del presente trabajo, Morrás (2003) realizó el análisis de datos mineralógicos disponibles en el Instituto de Suelos del INTA de cerca de un centenar de muestras de horizontes BC o C del norte de la Región Pampeana.

En el trabajo se seleccionaron algunos parámetros que mostraban variaciones espaciales correlacionables con diferentes fuentes de aporte de los sedimentos: relación cuarzo/feldespato+vidrio, porcentaje total de minerales pesados y porcentajes de micas y de piroxenos. Los datos se analizaron estadísticamente y se representaron cartográficamente, delimitándose sectores diferenciados por los valores cuantitativos de cada parámetro. Las áreas finalmente identificadas (**Fig. 1**) confirma-

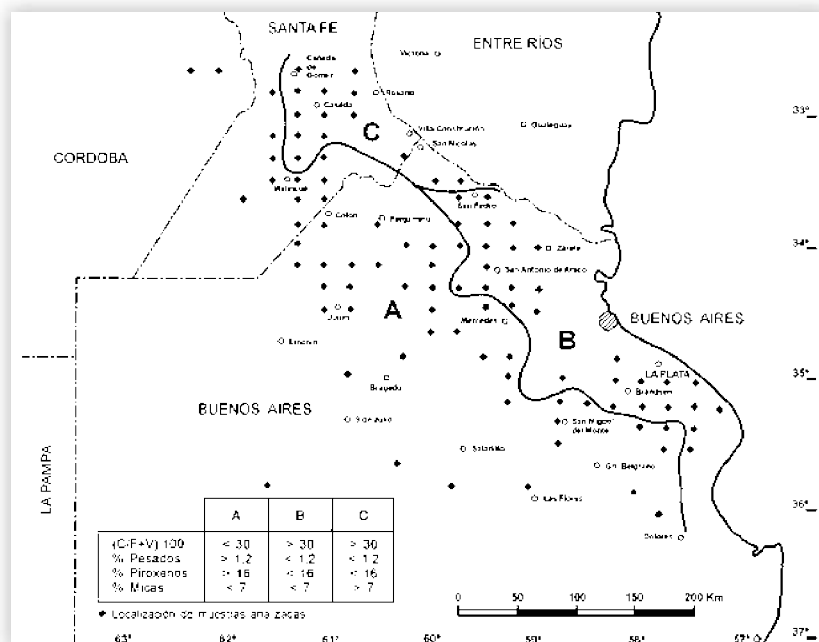


Figura 1. Áreas mineralógicas identificadas en un sector de la Pampa Norte en base al análisis y la representación cartográfica de diversos parámetros composicionales de la fracción arena de 92 muestras de horizontes BC o C de perfiles de suelo. Los puntos indican la localización aproximada de las muestras. La tabla insertada resume la cuantificación de las tres áreas identificadas (A, B, C). La relación (C/F+V) .100 sintetiza la composición de la fracción liviana (Cuarzo / Feldespatos + Vidrio volcánico). De la fracción pesada: el porcentaje total de la misma, de piroxenos y micas (Tomado de Morrás, 2003).

Figure 1. Mineralogical areas identified in a sector of the North Pampa based on the analysis and cartographic representation of various compositional parameters of the sand fraction of 92 samples of BC or C soil horizons. The dots indicate the approximate location of the samples. The table included in the figure summarizes the quantitative mineralogical characteristics of the three identified areas (A, B, C). The ratio (C/F+V) .100 synthesizes the composition of the light fraction (Quartz / Feldspar + Volcanic Glass). The total % of heavy minerals and the proportion of pyroxenes and micas were selected from the heavy fraction (from Morrás, H., 2003).

rían la procedencia múltiple del material parental de los suelos de la Pampa Norte.

En resumen, si bien el concepto de uniformidad composicional de los sedimentos loésicos del Pleistoceno Tardío-Holoceno todavía se sigue utilizando, un número considerable de trabajos relativamente recientes a distintas escalas espaciales muestran un escenario más complejo y han permitido fundamentar un nuevo paradigma de multiplicidad de origen y de heterogeneidad de composición (Morrás, 1997; 2003; Zárate, 2003). Dado estas evidencias, así como la gran extensión del territorio argentino cubierto con estos sedimentos, distintos autores han planteado la necesidad de mapeos más detallados y caracterizaciones más refinadas de estos materiales (Sayago *et al.*, 2001; Zárate, 2003).

Con el propósito de contribuir al conocimiento del origen y distribución los sedimentos pampeanos superficiales, el objetivo de este trabajo es aportar nueva información sobre la mineralogía de la fracción arena y particularmente sobre los componentes volcániclasticos de perfiles completos de suelos del norte de la Región Pampeana.

MATERIALES Y METODOS

Los análisis mineralógicos utilizados fueron efectuados por J. Remiro y M. Etchichury en el Museo de Ciencias Naturales B. Rivadavia de Buenos Aires entre los años 1966 y 1973, por encargo del INTA como parte de las tareas del Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana. Se ejecutaron sobre la fracción arena (62-246 μm), separada con bromoformo en sus fracciones pesada y liviana.

Para el presente trabajo se utilizaron los datos mineralógicos de 67 perfiles de suelo localizados en el norte de la Región Pampeana, en un sector que abarca el noreste de la provincia de Buenos Aires, el sur de Santa Fe y el sureste de Córdoba. Si bien se disponen de datos mineralógicos de cada uno de los horizontes de estos suelos, para facilitar su análisis y representación gráfica se seleccionaron los datos co-

rrespondientes a tres horizontes principales de cada perfil (A, B y C). En el caso de los horizontes A, dado que algunos se encuentran subdivididos (A1 y A2), se promediaron los valores de ambos subhorizontes. En los horizontes B se seleccionó un horizonte ubicado en la parte media de los perfiles, en general el que se encuentra a unos 60 cm de profundidad, ya que los suelos predominantes en la región suelen poseer Bt1 y Bt2 a esa profundidad. En algunos pocos Hapludoles, se utilizó la muestra ubicada a esa misma profundidad ya sea de horizontes AC o C1. Finalmente, se seleccionó una muestra representativa de la base de los perfiles, utilizándose en general el primer subhorizonte C o el BC en excavaciones más someras.

El análisis de los datos mineralógicos se orientó a verificar la posible existencia de variaciones composicionales dentro de los perfiles y espaciales en el ámbito geográfico de distribución de los suelos estudiados. Para esto se utilizaron diversos modos de representación gráfica de los datos que permitieron visualizar las variaciones cuantitativas de sentido vertical y horizontal de los principales componentes de las fracciones liviana y pesada de la arena.

Para la representación geográfica de los perfiles y sus datos mineralógicos se utilizó un mapa en escala aproximada 1:500.000 con la grilla y la identificación numérica correspondiente de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (publicadas en escala 1:50.000). Para ejemplificar el procedimiento utilizado, en la Fig. 2 se representa un sector del área estudiada. En primer lugar, sobre esa base cartográfica se localizaron los 67 perfiles utilizados (puntos rojos).

- 1 - En el caso de una carta (recuadros más pequeños) con un solo perfil de suelo, éste quedó como representativo de esa área (Ej.: en la carta 3360-20-1).
- 2 - En el caso de una carta con dos perfiles se analizaron comparativamente sus datos mineralógicos, procediéndose de la siguiente manera:
 - a- si los datos de los perfiles resultaron similares, estos se promediaron obteniéndose un único

- valor para el área correspondiente (Ej. los dos perfiles localizados en la carta 3360-25-1);
- b- si los perfiles presentaron diferencias importantes en la cantidad y/o distribución vertical de uno o más minerales, los datos se representaron separadamente; (Ej.: en la carta 3360-14-1)
- 3- En el caso de una carta con tres o más perfiles, estos se agruparon según sus similitudes y se promediaron los valores de cada grupo; Ej.: en los cinco perfiles localizados en la carta 3360-27-1 se identificaron dos grupos de acuerdo a la mineralogía de sus horizontes (uno constituido por tres y otro por dos perfiles), cuyos datos fueron promediados y representados por separado.

Por otro lado, dado que en el sector central de la Pampa Ondulada se cuenta con datos mineralógicos de solo unos pocos perfiles completos, ese vacío de información fue cubierto

con la información disponible de horizontes profundos de otros muestreos realizados por separado, con el fin de conocer los materiales parentales de los suelos de la región. Para esto se utilizaron los análisis mineralógicos de 117 muestras de horizontes BC o C reportados por Remiro (1966-1968) en los cuatro primeros Informes producidos por los analistas del Museo B. Rivadavia. Una parte de estos datos fueron utilizados en Morrás (2003), (**Fig. 1**). Algunas muestras de este conjunto corresponden a sub-horizontes profundos de un mismo perfil, cuyos datos se promediaron (por ej. horizontes C1 y C2 de un mismo sitio). Las cartas topográficas para las cuales se contó con esos análisis, así como el Informe en el cual se encuentran los datos fueron representados en la **Fig. 2** con el símbolo de estrellas. La cantidad de datos disponibles para cada carta es variable, oscilando entre una y seis muestras por carta. Con esta población se siguió el mismo procedimiento mencionado para los datos de los perfiles: 1) los

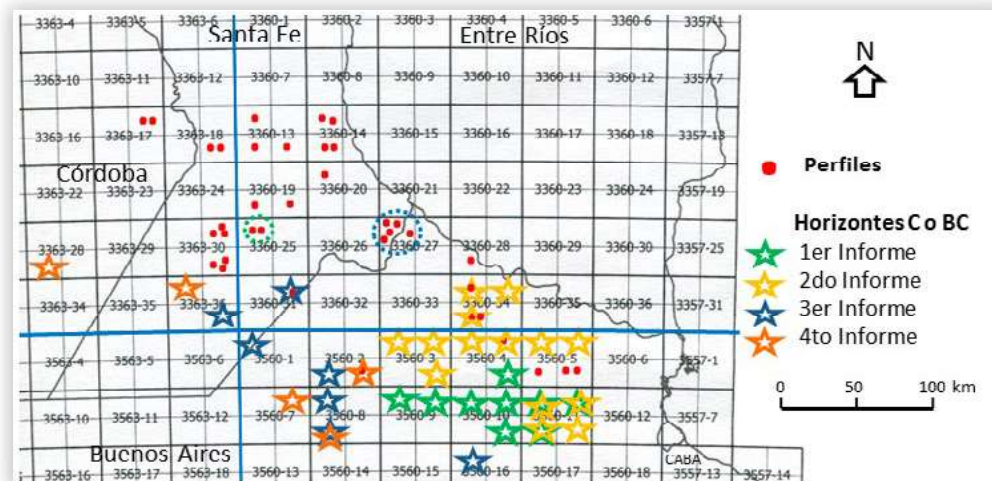


Figura 2. Mapa de un sector del área estudiada. La base cartográfica corresponde a la grilla de cartas topográficas del IGN, E: 1:50.000. En la figura se ejemplifica el procedimiento de localización geográfica de los perfiles de suelo y de las muestras de horizontes BC-C, para todos los cuales la única referencia de localización disponible es la hoja cartográfica en la que se encuentran. Los puntos rojos corresponden a los 67 perfiles de suelo estudiados. Las estrellas muestran las cartas en las que se localizan las 117 muestras de horizontes BC o C cuyos datos fueron reportados en cuatro informes sucesivos.

Figure 2. Map of a sector of the studied area. The cartographic base corresponds to the grid of topographic charts of the IGN (National Geographic Institute) in scale 1: 50,000. The red dots correspond to the 67 soil profiles here studied. The stars represent another set of 117 sand samples from BC or C horizons, whose mineralogical data were reported in four successive reports by Remiro (1966-1968). For both profiles and deep-horizon samples, the only location reference available is the cartographic sheet on which they are found. This figure exemplifies the procedure for the geographic location of soil profiles and of BC-C horizons samples on the IGN cartographic base.

datos similares ubicados en una misma carta del IGN se promediaron, representando en el mapa solo ese valor promedio; 2) los datos disímiles se utilizaron separadamente. De esta manera, finalmente se obtuvieron y representaron cartográficamente un total de 38 datos mineralógicos correspondientes a horizontes BC o C.

Para el presente trabajo se utilizaron solo los datos mineralógicos de algunos componentes de las fracciones liviana y pesada de la arena (62-246 μ). Los criterios de esta selección fueron varios: 1) la importancia cuantitativa de algunos minerales dentro de cada fracción; 2) la evidencia surgida de este análisis o de trabajos previos sobre variaciones cuantitativas significativas entre muestras ubicadas en distintos sectores de la región estudiada; 3) las referencias de la literatura respecto al valor de algunos minerales como indicadores de proveniencia de los sedimentos pampeanos. En este aspecto se tomaron particularmente como referencia los trabajos de Morrás (2003) y Etchichury & Tófaló (2004) dado que fueron realizados incluyendo la misma área aquí estudiada y en parte sobre la misma fuente de datos. De esta manera, se procesaron los datos de minerales de la fracción liviana (FL) y pesada (FP), expresados en porcentaje en volumen; FL: vidrio volcánico, fragmentos líticos, plagioclasas y feldespatos; FP: porcentaje total de la misma y contenido y distribución de piroxenos (augita + hipersteno), anfíboles (hornblenda + lamproblita) y micas (biotita + muscovita).

Los datos cuantitativos de los minerales seleccionados se representaron luego cartográficamente, utilizando como referencia de localización la grilla de las cartas topográficas mostrada en la **Fig. 2**. Así, se representó espacialmente el contenido de dichos minerales en los horizontes A, B y BC-C de los perfiles, y de las muestras individuales de horizontes BC-C, generándose capas de información mineralógica a distintas profundidades de los suelos de la región. En el caso de la existencia de un solo valor promedio “representativo” de cada carta, dado la pequeña escala cartográfica del mapa de conjunto, los datos de cada

uno de los parámetros fueron ubicados en el centro de estas. En el caso de valores contrastantes de cada parámetro –en algunos casos hasta cuatro valores diferentes en una misma carta– los datos se ubicaron de manera que fueran individualmente legibles (**Figs. 4d, 7d, 9d y 14d**). Luego, en cada uno de los mapas se trazaron líneas entre valores contrastantes de los datos, delimitándose así sectores cuantitativamente diferenciados para cada uno de los parámetros mineralógicos. Los criterios de interpolación y delimitación, explicitados para cada caso específico más adelante, en términos generales se basaron en: 1) la existencia de diferencias significativas entre datos contiguos según el análisis estadístico y la interpretación de los datos mineralógicos de los horizontes BC-C efectuados en un trabajo preliminar (Morrás, 2003); 2) las diferencias granulométricas conocidas de los materiales loésicos según la clasificación y el mapa de distribución realizados por Morrás y Cruzate (2000); 3) en las características edafológicas y en particular el grado de homogeneidad o heterogeneidad taxonómica de distintos sectores de la región de acuerdo a la cartografía de suelos; 4) en las características de las unidades geomórficas diferenciadas en la región.

En este último aspecto, y al no contar con un mapa geomorfológico del conjunto del área estudiada a la escala aquí utilizada (aproximadamente 1:500.000), se elaboró un esquema cartográfico (**Fig. 3**) a partir de diversos mapas geomorfológicos del país a pequeña escala (Etchevehere, 1961; Pereyra, 2003), de mapas a mediana escala de las tres provincias aquí incluidas (Cappaninni & Domínguez, 1961; SAGyP-INTA, 1989; 1990) y de mapas que abarcan algunos sectores específicos de la Región Pampeana (Scoppa & Vargas Gil, 1969; INTA, 1977; Moscatelli & Salazar Lea Plaza, 1994; Iriondo & Kröhling, 1995). Sobre este mapa se situaron los perfiles analizados de acuerdo con su localización en las cartas topográficas, conforme al procedimiento descrito más arriba y graficado en la **Fig. 2**. Como resultado del análisis de los datos mineralógicos, y como se explica más adelante, se seleccionaron y localizaron algunos perfiles repre-

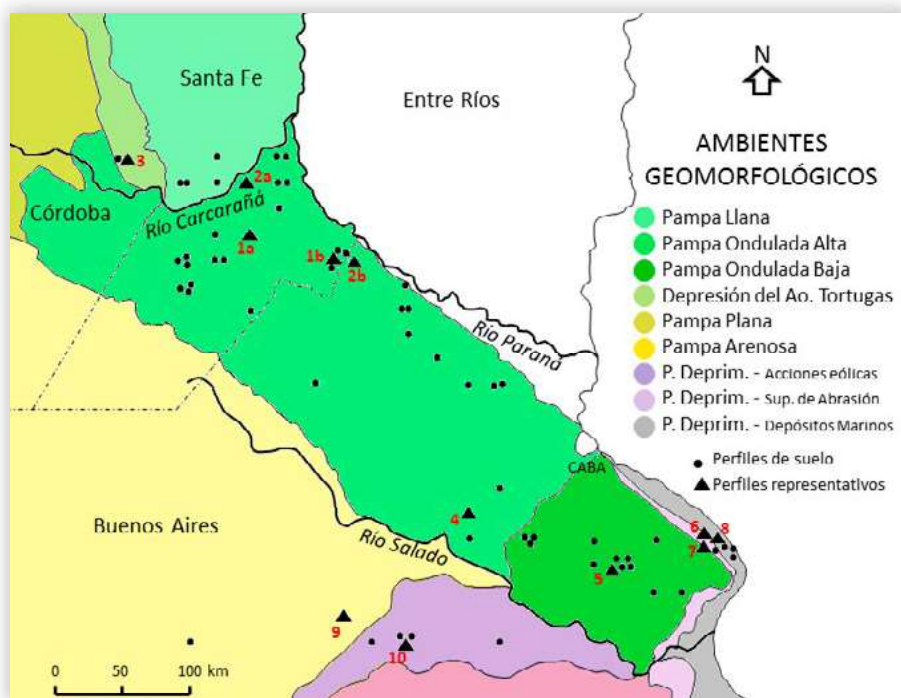


Figura 3. Esquema de los ambientes geomorfológicos en el NE de la Pampa Norte, con la localización aproximada de todos los perfiles de suelo estudiados. Los triángulos corresponden a perfiles representativos de cada uno de los “modelos mineralógicos” identificados.

Figure 3. Geomorphological environments in the northeastern part of the North Pampa, with the approximate location of all soil profiles studied. The triangles correspond to representative profiles of each one of the “mineralogical models” identified.

sentativos de distintos “modelos mineralógicos” (Fig. 3; Tablas 1-5)

En cuanto a las características cualitativas de los minerales de la fracción arena, éstas fueron especificadas por J. Remiro (1966- 1968) en tres de los cuatro primeros informes de resultados obtenidos, que corresponden en su mayor parte a horizontes C de suelos de la Pampa Ondulada Alta. Estos informes son muy similares en cuanto a la descripción de las características composicionales y morfológicas de los minerales de las fracciones liviana y pesada de las arenas estudiadas, con ligeras diferencias de redacción y con ciertos detalles o precisiones incorporadas en alguno de ellos respecto a algunos de los minerales descriptos. En consecuencia, al considerar en este trabajo los aspectos cualitativos de los minerales, en el caso de algunos componentes se ha seleccionado y reproducido el texto completo de alguno de esos informes y en el caso de otros minerales se ha elaborado una síntesis descriptiva construida con frases textuales incluidas en cada uno de los tres informes referidos.

Finalmente, como resultado del análisis de la variación espacial y vertical de cada uno de los minerales seleccionados y de la consecuente identificación

de distintos “modelos” mineralógicos comunes a un cierto número perfiles de suelo, se diferenciaron y delimitaron varias “zonas mineralógicas” (Fig.15).

RESULTADOS

Identificación de “modelos mineralógicos” y selección de perfiles representativos

El análisis de los datos mineralógicos de las fracciones pesada y liviana del conjunto de los 67 perfiles de suelo permitió constatar no solo notorias diferencias composicionales entre distintos perfiles –incluso con mucha proximidad entre si– sino particularmente entre diferentes horizontes de un mismo perfil. Estas diferencias resultan evidentes al considerar la distribución de algunos minerales significativos por su importancia cuantitativa y como indicadores de procedencia, como por ejemplo el vidrio volcánico en la fracción liviana y los piroxenos en la fracción pesada, ambos de filiación volcánica. Algunos perfiles presentan abundancia de los dos componentes en toda su profundidad mientras que otros presentan escasa proporción de ambos en todo el perfil; en otros casos el vidrio volcánico es raro, mientras que los piroxenos son abundantes en toda la profundidad del

suelo, o bien puede darse la situación inversa, todo lo cual indica la existencia de materiales parentales diferenciados mineralógicamente. En otros suelos, algunos horizontes –de superficie o en profundidad– son ricos en vidrio y piroxenos; por el contrario, otros horizontes son pobres en ambos, lo que indicaría discontinuidades en su material parental. Así como se observan variaciones cuantitativas del vidrio volcánico y los piroxenos entre perfiles y dentro de los mismos, se constatan también variaciones inter- o intra-perfil de otros minerales tales como el cuarzo, las plagioclasas, los anfíboles o las micas.

De este modo, se ha constatado la existencia de diversas combinaciones en la composición mineralógica de los perfiles de suelo estudiados, que llevaron a identificar claramente *diez tipos de perfiles* o “modelos mineralógicos”. Estos “modelos” son comunes a un cierto número de perfiles. Algunos de ellos tienen una distribución geográfica acotada, en tanto otros son más ubicuos y se presentan en distintas zonas. En los modelos 1 y 2, característicos de la Pampa Ondulada y de los cuales se cuenta con un número importante de perfiles, se observaron variaciones cuantitativas significativas en algunos de los minerales entre distintos perfiles de cada “modelo”. A fin de especificar estas diferencias, se identificaron variantes del modelo 1 (1a y 1b) y del modelo 2 (2a y 2b). Las variantes 1b y 2b presentan mayor % de cuarzo en la FL y mayor % total de minerales pesados que sus correspondientes variantes 1a y 2a. A efectos de analizar comparativamente los distintos modelos/variantes, se seleccionó un perfil representativo de cada uno de los modelos. Los datos mineralógicos de los parámetros seleccionados de los doce perfiles representativos se muestran en las **Tablas 1-5**, y su ubicación geográfica en la **Fig. 3**.

Por otro lado, los doce perfiles de suelo seleccionados representativos de diez modelos mineralógicos (con las variantes indicadas), son taxonómicamente representativos de los distintos ambientes edáficos y geomórficos en que se encuentran. La mayor parte de estos perfiles de suelo son Molisoles, en tanto otros corresponden a los órdenes Vertisol y Alfisol.

Los perfiles de los modelos/variantes 1a / 1b son Argiudoles típicos, en tanto los perfiles 2a / 2b son Argiudoles vérticos. Se sitúan en la parte norte de la Pampa Ondulada Alta, en la subzona geomorfológica I (Scoppa & Vargas Gil, 1969). Esta subzona es la más extensa y característica de la Pampa Ondulada, con variaciones topográficas marcadas y una red de drenaje definida cuyos cursos de agua mayores desembocan en los ríos Paraná y de la Plata. El material parental de los suelos está constituido por loess típico en la mayor parte del área, en tanto en una franja de unos 60 km de ancho paralela al eje fluvial Paraná-de la Plata aparece en gran parte de la superficie, particularmente en las lomas, un loess arcilloso (Morrás & Cruzate, 2000; Morrás & Moretti, 2016). El perfil del modelo 3 es también un Argiudol típico; se encuentra en la provincia de Córdoba en un sector de pendientes suaves y largas dentro del sub-ambiente de la Depresión del Ao. Tortugas pero muy cerca del límite con la Pampa Ondulada Alta, en las proximidades de la localidad de Marcos Juárez.

El suelo del modelo 4 es un Natralbol típico, representativo de la subzona geomorfológica II en el sudoeste de la de la Pampa Ondulada (Scoppa & Vargas Gil, 1969), caracterizada por la gran suavidad de la topografía, sin una red de drenaje definida, con capa freática cercana a la superficie, lo que determina la existencia de suelos hidromórficos. El modelo 5 se localiza en el centro de la Pampa Ondulada Baja en el interfluvio entre el río Samborombón y el río Salado en un paisaje de áreas suavemente onduladas, en el cual se encuentran también cubetas de origen eólico y lagunas. Este perfil está en posición de media loma baja y es un Argialbol vértico. Los perfiles de suelo de los modelos 6 (Natracuert típico), 7 (Hapludert típico) y 8 (Natracualf típico) se encuentran todos en la hoja topográfica 3557-21-3, localizados en sectores costeros, en la zona de transición o superficie de abrasión y en la llanura baja con depósitos marinos. Estos suelos de la zona litoral evidencian tanto en el campo como en los análisis granulométricos la existencia de discontinuidades en su material parental.

Modelos composicionales y áreas de distribución de los aportes volcánicos en los suelos de la Pampa Norte (Argentina)

Tabla 1. Datos mineralógicos de las fracciones liviana y pesada de la arena (62-246 μm) de los perfiles de suelo representativos de los “modelos mineralógicos” 1 y 2 en sus variantes 1a y 2a. (Los colores de identificación de los modelos se corresponden con los utilizados en las Figs.).

Table 1. Mineralogical data of the light and heavy sand fractions (62-246 μm) of the soil profiles representative of “mineralogical models” 1 and 2 in their 1a and 2a variants. (The identification colors of the models correspond to those used in the Figs.).

Horizontes	MODELO 1a: Hoja topograf. 3360-19-4 Perfil 9-1113 (n° 5460-5467) Argiudol							MODELO 2a: Hoja topograf. 3360-13-4 Perfil 10-1108 (n° 5625-5631) Argiudol						
	A1	BA	Bt1	Bt2	Bt3	BC	C1	Ap	AB	BA	Bt1	Bt2	BC	Cca
Prof. cm	0-17	17-30	30-43	43-75	75-102	102-146	146-198	0-22	22-32	32-46	46-86	86-135	135-190	190+
Cuarzo	18	20	17	19	17	11	9	14	18	17	19	19	18	20
Vidrio v.	5	4	6	1	10	33	45	12	5	1	1	3	3	5
Frag. líticos	30	29	33	28	28	24	18	34	35	35	34	33	33	31
Plagioclasas	33	31	32	35	32	21	17	27	25	31	29	30	31	31
Feldespatos	9	10	8	11	8	7	6	9	11	10	12	11	10	9
Pesados %	1,5	1,3	0,9	1,7	0,8	0,7	0,8	1,5	1,3	1,6	1,5	1,3	1,1	1,2
Σ Piroxenos	5	4	1	2	7	19	22	x	x	x	x	1	3	8
Augita	2	2	0	1	4	10	12	x	0	x	x	x	1	5
Hipersteno	3	2	1	1	3	9	10	x	x	x	x	1	2	3
Σ Micas	9	8	12	10	13	10	8	10	10	15	22	23	16	9
Biotita	4	4	8	5	7	6	5	5	4	8	12	13	9	3
Muscovita	5	4	4	5	6	4	3	5	6	7	10	10	7	6
Σ Anfíboles	38	39	12	36	15	23	21	43	38	32	29	30	32	34
Hornblenda	32	33	10	30	13	20	19	37	34	29	26	26	29	29
Lamprobolita	6	6	2	6	2	3	2	6	4	3	3	4	3	5

Tabla 2. Datos mineralógicos de las fracciones liviana y pesada de la arena (62-246 μm) de los perfiles de suelo representativos de los “modelos mineralógicos” 1 y 2 en sus variantes 1b y 2b. (Los colores de identificación de los modelos se corresponden con los utilizados en las Figs.).

Table 2. Mineralogical data of the light and heavy sand fractions (62-246 μm) of the soil profiles representative of the “mineralogical models” 1 and 2 in their variants 1b and 2b. (The identification colors of the models correspond to those used in the Figs.).

Horizontes	MODELO 1b: Hoja topograf. 3360-27-1 Perfil 10-1032 (n° 5295-5301) Argiudol							MODELO 2b: Hoja topograf. 3360-27-1 Perfil 10-1035 (n° 5314-5320) Argiudol						
	Ap	A2	BA	Bt1	Bt2	BC	C	Ap	A1	BA	Bt1	Bt2	BC	C
Prof. cm	0-12	12-26	26-35	35-70	70-92	92-145	145+	0-15	15-31	31-43	43-80	80-108	108-185	185+
Cuarzo	25	26	29	28	27	20	14	24	25	27	27	25	24	24
Vidrio v.	5	4	4	1	3	20	27	1	3	1	x	1	7	6
Frag. líticos	23	22	19	19	21	23	25	24	26	21	21	23	21	24
Plagioclasas	32	33	32	36	36	26	22	36	31	34	37	35	34	32
Feldespatos	10	10	11	12	10	7	7	10	11	12	13	12	11	10
Pesados %	0,7	1,3	0,8	0,5	0,8	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,1
Σ Piroxenos	1	1	x	1	7	14	22	x	1	3	x	3	9	10
Augita	x	x	x	x	3	6	10	x	x	1	x	1	5	4
Hipersteno	1	1	x	1	4	8	12	x	1	2	x	2	4	6
Σ Micas	13	14	14	9	13	10	9	3	4	4	6	7	5	x
Biotita	5	5	6	5	7	5	5	2	3	3	3	4	3	x
Muscovita	8	9	8	4	6	5	4	1	1	1	3	3	2	x
Σ Anfíboles	38	35	36	31	28	27	25	40	38	37	40	36	29	32
Hornblenda	32	30	31	28	25	23	22	34	31	32	34	31	25	28
Lamprobolita	6	5	5	3	3	4	3	6	7	5	6	5	4	4

Tabla 3. Datos mineralógicos de las fracciones liviana y pesada de la arena (62-246 μm) de los perfiles de suelo representativos de los "modelos mineralógicos" 3, 4 y 5. (Los colores de identificación de los modelos se corresponden con los utilizados en las figuras).

Table 3. Mineralogical data of the light and heavy sand fractions (62-246 μm) of the soil profiles representative of the "mineralogical models" 3, 4 and 5. (The identification colors of the models correspond to the used in the figures).

Horizontes	MODELO 3: Hoja topograf. 3363-17-2 Perfil 7-865 (n° 6149-6155) Argiudol							MODELO 4: Hoja topograf. 3560-23-1 Perfil 2-582 (n° 5064-5069) Natralbol						MODELO 5: Hoja topograf. 3557-25-2 Perfil 1-1789 (n° 12503-12508) Argialbol					
	A1	BA	Bt1	Bt2	BC1	BC2	C1	A1	A2	E	B1t	B2t	BCx	A1	E	2B1	2B2	2B3	3Cca
Prof. cm	0-15	15-22	22-40	40-64	64-83	83-106	106-154	0-11	11-22	22-31	31-52	52-71	71-120+	0-23	23-41	41-89	89-123	123-165	165+
Cuarzo	27	22	20	18	19	16	17	12	11	13	10	7	6	18	14	16	13	19	15
Vidrio v.	23	17	18	25	21	25	23	22	25	13	13	39	52	7	20	19	21	10	15
Frag. líticos	20	23	24	23	27	28	27	30	34	42	45	25	20	29	22	25	26	29	26
Plagioclasas	24	23	25	22	21	17	19	26	21	22	22	19	15	32	30	29	28	31	30
Feldespatos	7	9	8	7	6	7	8	6	6	6	5	5	5	9	8	7	7	6	8
Pesados %	1,0	1,0	0,7	0,4	0,5	0,5	0,6	1,4	1,4	1,1	1,6	1,2	0,4	1	1,4	1,0	0,7	1,0	1,4
Σ Piroxenos	11	12	10	10	13	18	24	4	6	3	6	9	7	3	15	29	35	10	27
Augita	5	5	4	5	6	8	13	2	3	x	2	5	5	x	10	19	23	6	17
Hipersteno	6	7	6	5	7	10	11	2	3	3	4	4	2	3	5	11	12	4	10
Σ Micas	13	6	6	3	10	7	4	x	2	3	3	4	5	4	7	4	2	x	5
Biotita	5	1	2	2	4	3	1	0	x	x	1	1	1	1	4	2	1	x	3
Muscovita	7	5	4	1	6	4	3	x	2	3	2	3	4	3	3	2	1	x	2
Σ Anfiboles	43	42	42	40	44	36	38	43	41	41	37	23	21	36	32	29	29	39	34
Hornblenda	37	39	37	36	39	32	34	38	38	37	35	21	17	31	28	25	26	33	29
Lamprobolita	6	3	5	4	5	4	4	5	3	4	2	2	4	5	4	4	3	6	5

Tabla 4. Datos mineralógicos de las fracciones liviana y pesada de la arena (62-246 μm) de los perfiles de suelo representativos de los "modelos mineralógicos" 6, 7 y 8. (Los colores de identificación de los modelos se corresponden con los utilizados en las figuras).

Table 4. Mineralogical data of the light and heavy sand fractions (62-246 μm) of the soil profiles representative of the "mineralogical models" 6, 7 and 8. (The identification colors of the models correspond to the used in the figures).

Horizontes	MODELO 6: Hoja topograf. 3557-21-3 Perfil 1267 (n° 15348-52) Natracuert						MODELO 7: Hoja topograf. 3557-21-3 Perfil 3-1266 (n° 15342-15347) Cromudert					MODELO 8: Hoja topograf. 3557-21-3 Perfil 1276 (n° 15390-15394) Natracualf				
	A1	2B1	2B2	3B3	3C	Ap	A1	2B1	2B2	3B3	3C	E	2B1	2B2	3B3	3BC
Prof. cm	0-11	11-52	52-80	80-151	151+	0-10	10-31	31-62	62-94	94-140	140+	0-13	13-62	62-109	109-166	166-260
Cuarzo	18	19	22	20	21	17	20	19	20	23	20	13	13	13	14	15
Vidrio v.	5	8	3	7	2	5	6	4	2	6	2	12	15	20	3	7
Frag. líticos	40	33	33	32	36	38	33	34	42	30	35	38	36	33	43	36
Plagioclasas	23	27	29	27	27	28	29	30	23	29	30	24	25	23	26	27
Feldespatos	9	8	7	9	8	8	9	8	8	7	8	9	8	7	9	10
Pesados %	0,8	x	0,5	x	1,0	0,6	0,5	0,5	1,1	0,8	0,9	0,3	0,2	0,2	0,5	0,8
Σ Piroxenos	31	30	8	9	7	16	8	2	27	33	30	32	35	30	29	27
Augita	16	16	5	5	4	10	4	1	15	17	16	18	18	16	15	14
Hipersteno	15	14	3	4	3	6	4	1	12	16	14	14	17	14	14	13
Σ Micas	0	x	x	x	x	0	0	0	X	X	X	8	3	1	2	3
Biotita	0	0	x	x	0	0	0	x	x	0	x	2	1	x	x	1
Muscovita	0	x	x	x	x	0	0	x	x	x	x	6	2	1	2	2
Σ Anfiboles	21	25	31	34	32	39	35	30	26	29	28	25	26	31	30	31
Hornblenda	18	22	27	30	29	35	32	27	22	26	26	22	24	28	27	28
Lamprobolita	3	3	4	4	3	4	3	3	4	3	2	3	2	3	3	3

Tabla 5. Datos mineralógicos de las fracciones liviana y pesada de la arena (62-246 μm) de los perfiles de suelo representativos de los “modelos mineralógicos” 9 y 10. (Los colores de identificación de los modelos se corresponden con los utilizados en las figuras).

Table 5. Mineralogical data of the light and heavy sand fractions (62-246 μm) of the soil profiles representative of the “mineralogical models” 9 and 10. (The identification colors of the models correspond to those used in the figures).

Horizontes	MODELO 9: Hoja topograf. 3560-33-1 Perfil 3-1437 (n° 15992-15998) Hapludol							MODELO 10: Hoja topograf. 3560-34-3 Perfil 26-204 (n° 14962-14967) Argialbol					
	Ap	A1	A/C	C1	C2	C3	C4	A1	E	B1	B2	BC1	BC2
Prof. cm	0-14	14-41	41-73	73-96	96-130	130-163	163+	0-18	18-43	43-71	71-87	87-110	110+
Cuarzo	10	17	15	13	14	16	15	19	17	16	16	12	12
Vidrio v.	17	3	12	11	10	6	9	7	4	6	10	23	24
Frag. líticos	42	39	36	37	39	38	36	38	42	39	37	31	32
Plagioclasas	20	26	24	24	25	26	27	25	26	27	24	20	23
Feldespatos	6	8	7	8	7	8	7	6	7	6	8	7	5
Pesados %	7,5	1,5	1,5	7,2	10,0	8,5	12,0	2,0	2,2	2,2	1,7	1,2	1,2
Σ Piroxenos	34	37	32	41	43	34	41*	27	28	35	36	39	30
Augita	17	20	17	22	23	18	20	14	14	18	19	20	16
Hipersteno	17	17	15	19	20	16	20	13	14	17	17	19	14
Σ Micas	x	0	x	x	0	0	x	0	x	x	x	x	0
Biotita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
Muscovita	x	0	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	0
Σ Anfíboles	20	14	27	20	20	25	20	23	27	23	25	24	27
Hornblenda	18	12	24	18	16	22	18	20	25	20	22	22	24
Lamprobolita	2	2	3	2	4	3	2	3	2	3	3	2	3

* esta muestra contiene también 1% de Augita titanífera.

El perfil del modelo 9 es un Hapludol éntico, característico de la Pampa Arenosa. Está localizado en el sector denominado de “los médanos parabólicos” (Moscatelli & Salazar Lea Plaza, 1994). El suelo del modelo 10 se encuentra en la Pampa Deprimida, en la Subregión de los Derrames, en el sector denominado “de las intensas acciones eólicas del oeste”, con materiales arenosos en superficie y un relieve eólico de deflación-acumulación (INTA, 1977). Este perfil es un Argialbol típico; se encuentra en “un sector bajo, dentro de una vía de drenaje” presentando un contraste claro entre un material arenoso superficial y un horizonte B arcilloso, así como condiciones hidromórficas.

Distribución vertical y espacial de minerales de la fracción liviana

Vidrio volcánico. Desde el punto de vista cualitativo y de acuerdo a los Informes de J. Remiro, el

vidrio volcánico “se presenta como trizas irregulares, por lo general muy angulosas. La estructura es casi siempre fluidal; pero hay fragmentos que carecen de toda estructura, como también algunos con superficie agrietada. Predomina ampliamente el vidrio incoloro, los trozos de color pardo o castaño claro son muy escasos. Es de naturaleza ácida y con cierta frecuencia se observa material arcilloso a lo largo de los canalículos. Por lo común está fresco, raramente alterado.”

La representación espacial de los contenidos de vidrio volcánico en los tres horizontes principales de los perfiles de suelo (**Fig. 4**) muestra en primer lugar en el sector al norte de la CABA, coincidente con la Pampa Ondulada Alta, una disminución marcada de este componente en el sentido oeste-este, la que es más abrupta y contrastante en los horizontes A y Bt (**Figs. 4a y 4b**) y más progresiva en los horizontes BC-C (**Fig. 4c**). De acuerdo a las variaciones observadas entre sitios vecinos, para

los horizontes A y Bt se tomó como referencia el valor de 12% de vidrio volcánico para diferenciar dos poblaciones, trazándose así una línea divisoria paralela al eje fluvial Paraná-Río de la Plata. (*Nota 1. En este texto, y como recurso de simplificación, la franja proximal y paralela al eje fluvial se la denominará también “ribereña”, aun cuando la misma tenga varias decenas de km de ancho*).

En el caso de los horizontes A (**Fig. 4a**), en el sector proximal al eje fluvial, el contenido de vitroclastos es reducido oscilando entre trazas (X) y un 9% del total de la fracción liviana. Hacia el oeste de la línea trazada el vidrio aumenta claramente, alcanzando valores máximos de 25%. En los horizontes Bt (**Fig. 4b**) la distribución del vidrio es similar al caso anterior, aunque su contenido disminuye de manera generaliza en ambas áreas: en el sector más cercano al eje fluvial predominan los valores inferiores al 1-2% en tanto hacia el oeste el valor máximo apenas llega a 20%. Por el contrario, en los horizontes C se observa un incremento notorio de las trizas de vidrio en toda la Pampa Ondulada, aunque con heterogeneidades (**Fig. 4c**). Si bien en sitios cercanos al Río Paraná se presentan algunos valores elevados, incluso un sitio con un 39%, en esta misma franja “ribereña” se presentan también valores muy reducidos incluyendo un sitio con ausencia de vidrio. En consecuencia, en este caso de los horizontes C de la Pampa Ondulada y tomando en cuenta la gran heterogeneidad composicional de esta franja, la línea divisoria se trazó con un criterio diferente, generando un sector donde se integran sitios con bajo contenido de vidrio, yuxtapuestos o intercalados con otros con valores muy elevados de este componente. Comparando las **Figs 4a, 4b y 4c**, se evidencia que en el caso de los horizontes C la línea demarcatoria se corre hacia el NE, constituyéndose así una franja más angosta y de contenido heterogéneo de vidrio volcánico.

Para corroborar la validez de esa delimitación, en la **Fig. 4d** se representaron los datos del contenido de vidrio en muestras de horizontes C del sector central de la Pampa Ondulada Alta, reportados en los primeros informes de Remiro (1966- 1968). Tomando aquí también como referencia el valor de 12% para trazar una línea demarcatoria, estos datos confirman que

existe una zona cercana al eje fluvial con perfiles de suelo cuyos horizontes C tienen escaso porcentaje de vidrio, los que se intercalan con sitios en los que los horizontes C tienen altos porcentajes de vidrio. Por el contrario, en el sector oeste de la Pampa Ondulada los contenidos de vidrio en los horizontes C son homogéneamente elevados.

Las variaciones espaciales del contenido de vidrio volcánico en los tres horizontes principales de los suelos de la Pampa Ondulada Alta, permiten establecer la existencia de suelos con diferentes perfiles mineralógicos en función de la profundidad. Así, los perfiles de suelo del modelo 1 (1a-1b), situados en una franja cercana al Río Paraná, presentan contenidos de vidrio inferiores al 10% en los horizontes A y Bt, que se incrementan a 20 - 45% en los horizontes BC y C (Tabla 1). Por el contrario, perfiles de suelos cercanos a los anteriores (modelos 2a y 2b), presentan escasa proporción de vidrio en todo el perfil. Otros dos tipos de perfiles mineralógicos existentes en la Pampa Ondulada Alta en cuanto al vidrio, son los representados por los modelos 3 y 4 (**Tabla 1**). Uno de ellos se presenta al oeste de la provincia de Santa Fe y en Córdoba, y se caracteriza por porcentajes de vidrio homogéneamente elevados, superiores al 20%, en todo el suelo. El otro, representado por el modelo 4, en suelos del suroeste de la Pampa Ondulada Alta, posee a la vez, contenidos elevados de vidrio en los horizontes superficiales, e incrementos notorios en la base del Bt y en el BC.

Además de esa gradación o incluso del contraste abrupto de sentido oeste-este en los contenidos de vidrio de los suelos de la Pampa Ondulada Alta, la representación espacial de los datos permite constatar otra diferenciación de sentido norte-sur, en el sector meridional. Así, al sur de la CABA, en sectores que corresponden a la Pampa Ondulada Baja, al borde norte de la Pampa Deprimida y al sur de la Pampa Arenosa, los horizontes A poseen contenidos intermedios y heterogéneos de vidrio (entre 2% y 15%) (**Fig. 4a**). En los horizontes Bt (**Fig. 4b**), además de esa delimitación latitudinal se constata una clara diferencia al este y al oeste de una línea que coincide aproximadamente con el curso del río

Modelos composicionales y áreas de distribución de los aportes volcánicos en los suelos de la Pampa Norte (Argentina)

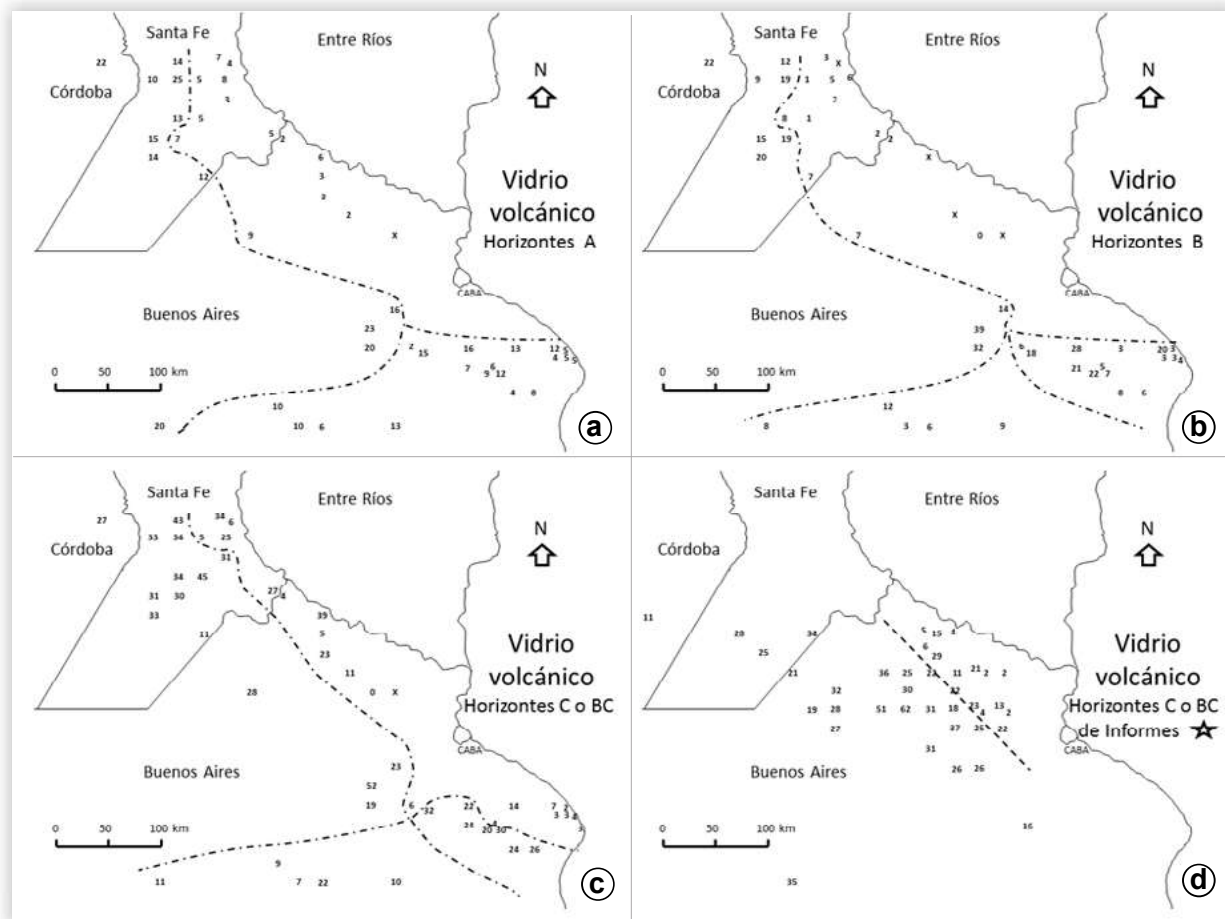


Figura 4. Representación espacial de los contenidos de vidrio volcánico en tres horizontes principales de los perfiles de suelo. Las líneas de trazos interpoladas permiten distinguir áreas con diferente proporción de vidrio. a) valores de los horizontes A. b) valores de los horizontes B. c) valores de los horizontes C. d) valores del conjunto independiente de horizontes BC o C (Remiro 1966-1968).

Figure 4. Spatial representation of volcanic glass contents in three main horizons of soil profiles. The interpolated dashed lines allow to distinguish several areas with different proportions of glass. a) amount of glass (%) in the A horizons of the profiles. b) values corresponding to the B horizons of the profiles. c) values corresponding to the C horizons of the profiles. d) values corresponding to the independent set of BC or C horizons reported by Remiro (1966-1968) in the first four Mineralogical Analysis Reports.

Salado. Hacia el este, en la Pampa Ondulada Baja, aparecen sitios con contenidos elevados de vidrio intercalados con otros con baja proporción; en la zona costera del río de la Plata el contenido de vidrio es consistentemente reducido. En los horizontes C (Fig. 4c), hay tres sectores contrastantes: 1) el más cercano al río de la Plata, y como continuación de la franja “riberaña” de la Pampa Ondulada Alta, presenta una mayoría de sitios con valores muy reducidos de vitroclastos (alrededor de 5%); 2) un sector central en la Pampa Ondulada Baja con contenidos elevados, que oscilan entre 20-30%; 3) un sector hacia el sur-oeste del río Salado, en áreas de

la Pampa Arenosa y la Pampa Deprimida, con contenidos intermedios entre 10-20% de vidrio.

Otras combinaciones que resultan de estas variaciones mineralógicas espaciales en los distintos horizontes de los perfiles de suelos, se presentan en los modelos de la zona meridional (Tablas 3 - 5). Así, el perfil del modelo 5 situado en la Pampa Ondulada Baja y el perfil del modelo 8 situado en la zona costera de la Pampa Deprimida, poseen contenidos relativamente elevados de vidrio en los horizontes A y Bt, que disminuyen en los horizontes más profundos. Los suelos de los modelos 6 y 7, también en la zona litoral, presentan por el

contrario muy escaso vidrio en todos los horizontes. Algunos suelos del borde norte de la Pampa Deprimida (modelo 10) presentan escasa proporción de trizas de vidrio en los horizontes A y Bt, y contenidos elevados en profundidad. Otros suelos de la Pampa Deprimida y suelos de la Pampa Arenosa (modelo 9) tienen porcentajes de vidrio muy variables con la profundidad.

Un modo diferente de representación de los datos es el gráfico de la **Fig. 5**, que se utiliza también en varias figuras posteriores. En la abscisa se representan todos los horizontes de los perfiles de suelo correspondientes a los distintos modelos mineralógicos. Para la mejor comprensión del gráfico es conveniente relacionarlo con la información presentada en las **Tablas 1-5**. Por ejemplo, los datos de las muestras 1 hasta 7 corresponden a los siete horizontes del perfil representativo del modelo/variante 1a (M.1a), y los de la 8 hasta la 14 corresponden a los siete horizontes del modelo/variante 2a (M.2a). Esta forma de representación yuxtapuesta de datos permite por un lado apreciar las variaciones mineralógicas entre distintos horizontes de cada perfil. Por otro lado, como los perfiles se han yuxtapuesto con sentido aproximado nortesur, el gráfico permite apreciar también las variaciones mineralógicas espaciales en la región estudiada.

De este modo, en la **Fig. 5** se aprecian las variaciones verticales en el contenido de vidrio volcánico dentro y entre los perfiles. Resaltan los picos en la base de los perfiles del modelo 1 (en sus variantes 1a y 1b) y del modelo 4. También, aunque menos marcado, ese aumento de vitroclastos con la profundidad se aprecia en el perfil del modelo 10 en la Pampa Arenosa. El incremento de las trizas a un mismo nivel y con cierta extensión regional sugieren para el período de depositación de los sedimentos un aumento de la actividad volcánica en el arco magmático y/o un incremento de los vientos procedentes del oeste. En síntesis, se puede apreciar el contraste de sentido longitudinal en la proporción de vidrio de los suelos de la Pampa Ondulada Alta (“modelos” 1 y 2 situados al este respecto a los “modelos” 3 y 4 situados al oeste), así como las diferencias latitudinales entre los “modelos” de esta zona con aquellos situados hacia el sur (“modelos”

5 a 10) en la Pampa Ondulada Baja, en la Pampa Deprimida y en la Pampa Arenosa (**Fig. 5**).

Plagioclasas. Según describe J. Remiro: “Son granos derivados de fragmentos tabulares de clivaje; la mayoría son subredondeados llegando, a veces, a redondeados. Los fragmentos angulosos o irregulares son escasos. Los individuos maclados son poco frecuentes; las leyes de maclas más comunes son las de la Albita y Carlsbad-Albita, menos común la del Periclino. Los granos con estructura zonal son muy raros. La variedad ácida de tipo Albita-Oligoclasa presente en todas las muestras está siempre subordinada a la básica (Andesina-Labradorita), en una relación 1:2 a 1:4. El estado de conservación es bueno, una gran mayoría de granos están frescos y límpidos y solo un pequeño porcentaje presenta señales de alteración arcillosa y/o sericítica. Las inclusiones fluidas y sólidas son escasas, principalmente estas últimas”.

Aparte de los fragmentos líticos, en general las plagioclasas constituyen el componente más abundante de la fracción liviana. El contenido medio de plagioclasas en el conjunto de la región es de aproximadamente un 25%, aunque con claras diferencias entre distintos sectores. En la **Fig. 5** puede apreciarse la relación Vidrio volcánico/Plagioclasas para todos los horizontes de los perfiles modelo seleccionados. En la Pampa Ondulada Alta son frecuentes los valores entre 30 y 35%, existiendo una definida relación inversa entre los contenidos de vidrio volcánico y plagioclasas, la que es mucho más marcada en los horizontes BC y C de los perfiles de esta zona (modelos 1a y 1b) que presentan abundante proporción de vidrio (**Fig. 5** y **Tabla 1**).

En algunos suelos del oeste de la Provincia de Santa Fe y en particular en la provincia de Córdoba, el contenido de plagioclasas disminuye y el de vidrio aumenta en los horizontes A y Bt, presentándose ambos componentes en proporciones similares entre sí (alrededor del 20%) pero en una relación inversa (modelo 3: **Tabla 1** y **Fig. 5**). Los suelos que representan el modelo 4, situados hacia el oeste de la Pampa Ondulada Alta en la Provincia de Buenos Aires (**Tabla 1** y **Fig. 5**) muestran una

situación mixta respecto a los modelos 1 y 3, es decir con contenidos similares de plagioclasas y de vidrio en los horizontes A y Bt, y disminución de plagioclasas en la base del perfil, y con una relación claramente inversa en todos los casos.

Por el contrario, hacia el sur de la región, en la Pampa Ondulada Baja, en el borde norte de la Pampa Deprimida y en el sur de la Pampa Arenosa, el contenido de plagioclasas presenta valores intermedios que oscilan alrededor de un 25% y son relativamente constantes entre los distintos horizontes de los perfiles. En general en los suelos de estos sectores la proporción de vidrio volcánico es intermedia respecto a los distintos modelos de la Pampa Ondulada Alta, pero la relación entre plagioclasas y vidrio aun siendo igualmente inversa, es menos definida (Fig. 5).

Es interesante referirnos a González Bonorino (1965), quien señala que la variedad más abundante de plagioclasa en los sedimentos pampeanos es una labrador-andesina de origen claramente volcánico; estos clastos provenientes de rocas volcánicas básicas son característicos de las areniscas fluviales de la Fm Río Negro que rodean la llanura pampeana y desde dónde habrían sido incorporados más tarde a los sedimentos loésicos. También señala que de acuerdo a las curvas de distribución en los perfiles que estudió en el área del Gran Buenos Aires no hay relación entre los contenidos de plagioclasas y vidrio volcánico; este último correspondería a fases piroclásticas de lavas ácidas o subcalinas de volcanes de la cordillera. Los resultados obtenidos en el presente trabajo también reflejan la ausencia de relación entre plagioclasas

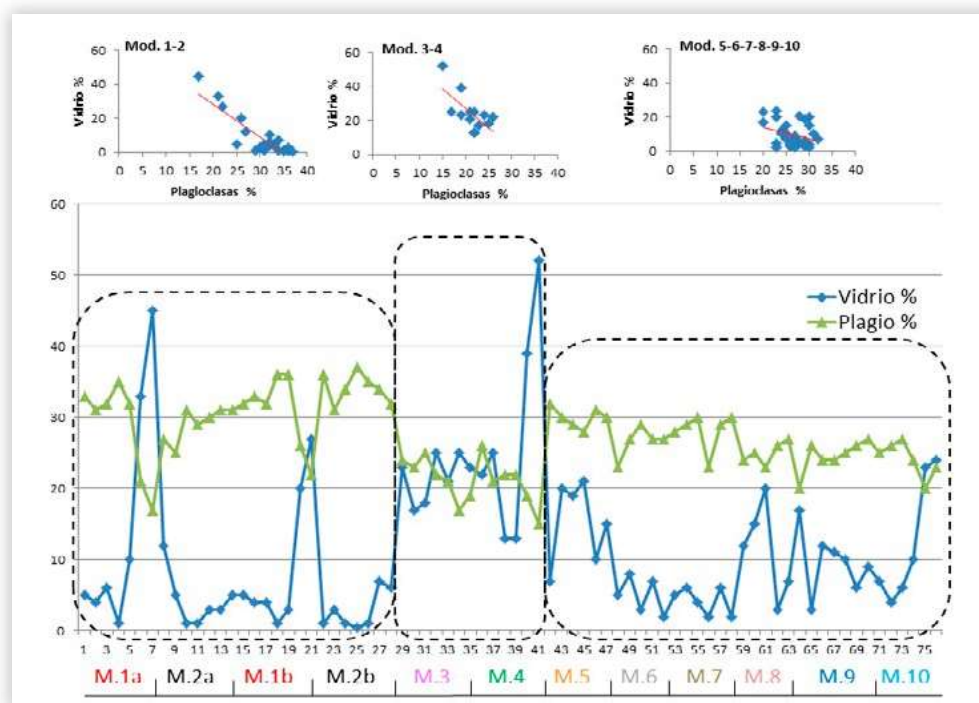


Figura 5. Variación intra- e inter-perfil del vidrio volcánico y plagioclasas en los perfiles de suelo representativos de los modelos mineralógicos. Abscisa: perfiles representativos de los modelos mineralógicos y sus horizontes identificados con números sucesivos (para mejor comprensión de la figura ver Material y Métodos). Ordenada: contenidos de vidrio y plagioclasas expresados en % de la fracción liviana. Parte superior de la Fig.: correlación gráfica entre ambas variables para las muestras agrupadas en cada uno de los tres conjuntos de perfiles circunscriptos con líneas de trazo.

Figure 5. Intra- and inter-profile variation of volcanic glass and plagioclase in representative soil profiles. In the abscissa, representative profiles of the “mineralogical models” and their corresponding horizons identified with successive numbers (for better understanding of the figure see Material and Methods). In the ordinate: glass and plagioclase contents (in % of the light fraction). In the upper part of the Fig., graphic correlation between both variables for the samples grouped in each of the three sets of profiles circumscribed with dashed lines.

y vidrio; sin embargo, la diferente proporción de plagioclasas, así como las diferentes relaciones entre estas y el vidrio en distintos sectores de la región estudiada, sugieren que además de la fuente indicada por González Bonorino, una parte de las plagioclasas tendría aquí otro origen.

Fragmentos líticos. Estos granos “se presentan en todas las muestras como clastos irregulares a subredondeados, por lo común alterados y penetrados por óxidos de hierro, lo que dificulta su exacta determinación. En aquellos menos alterados es factible reconocer que pertenecen a pastas de vulcanitas, dentro de las cuales se reconocen dos tipos: felsíticas y andesito-basálticas. Las primeras, formadas al parecer por feldespato alcalino, que podrían pertenecer a pórfidos, riolitas, o tobas ácidas. Las segundas son en su mayoría andesitas y/o basaltos, con textura hialopilitica, intersertal o

intergranular. Las pastas felsíticas exceden en mucho a las andesito-basálticas”.

En la fracción arena de los perfiles de suelo aquí estudiados, los fragmentos líticos son el constituyente más abundante de la fracción liviana, con contenido medio regional de 30%. Como se constata en las **Tablas 1-5** y en la **Fig. 6**, los menores porcentajes de fragmentos líticos se presentan en algunos suelos del centro de la Pampa Ondulada Alta cercanos al río Paraná (modelos 1b y 2b) con tenores entre 20-25%. En otros sectores de la Pampa Ondulada Alta (modelos 1a, 2a, 3 y 4) y de la Pampa Ondulada Baja (modelo 5) el contenido de estos clastos es algo superior, entre 25 y 35%. Por el contrario, en los sectores de la franja proximal al río de la Plata (modelos 6, 7 y 8) y en aquellos situados en el suroeste de la región estudiada (modelos 9 y 10), el contenido de fragmentos líticos es claramen-

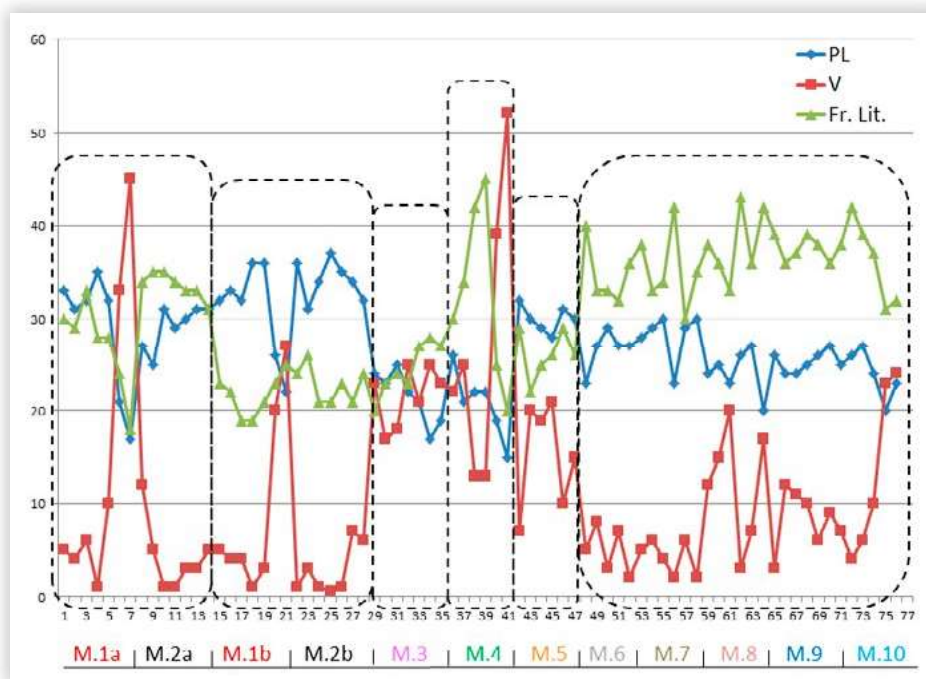


Figura 6. Variación intra- e inter-perfil de los principales constituyentes de la fracción liviana (vidrio volcánico, plagioclasas y fragmentos líticos) en los perfiles de suelo representativos. Abscisa: perfiles representativos de los modelos mineralógicos y sus horizontes identificados con números sucesivos. Comparando con la **Fig. 5**, se aprecia que la inclusión de los fragmentos líticos muestra mayor heterogeneidad composicional de la fracción arena, permitiendo distinguir otros subconjuntos mineralógicos en la región estudiada.

Figure 6. Intra- and inter-profile variation of the main constituents of the light fraction (volcanic glass, plagioclase and lithic fragments) in representative soil profiles. In the abscissa, representative profiles of the “mineralogical models” and their corresponding horizons identified with successive numbers. In comparison with **Fig. 5** it can be seen that the inclusion of lithic fragments highlights a greater compositional heterogeneity of the sand fraction, allowing other mineralogical subsets to be distinguished in the studied region.

te mayor y relativamente más constante, oscilando entre 30 y 42% de la fracción liviana de la arena.

Desde hace tiempo estos litoclastos, opacados por alteración e impregnación de óxidos de hierro, han sido reconocidos como fragmentos pequeños de pastas volcánicas muy característicos de los sedimentos loésicos de Argentina. La naturaleza volcánico-piroclástica de estos sedimentos ha sido establecida justamente a partir de la abundancia en la fracción liviana de los tres componentes hasta aquí citados (vidrio volcánico, plagioclasas y fragmentos líticos) (Teruggi, 1954; 1957). Sin embargo, los datos aquí presentados ponen de relieve relaciones diversas entre estos tres componentes, tanto a nivel regional como en el interior de los perfiles.

Además de las relaciones inversas de distinto grado entre vidrio volcánico y plagioclasas que llevan a diferenciar tres sectores en la región estudiada (**Fig. 5**), la inclusión de los fragmentos líticos en este análisis muestra una mayor heterogeneidad composicional y la posibilidad de diferenciar otros sectores mineralógicos. Así, en la **Fig. 6** puede constatarse que en los suelos representados por lo modelos 1a y 2a los fragmentos líticos se presentan en cantidades relativamente similares y en proporción directa con las plagioclasas. Por el contrario, en los suelos representados por las variantes 1b y 2b los fragmentos líticos se encuentran en mucha menor cantidad y en proporción inversa a las plagioclasas. En estos dos últimos casos el contenido de litoclastos correlaciona con el de vidrio volcánico.

Los otros modelos presentan también situaciones diferentes: 1) En el modelo 3, en el noroeste de la Pampa Ondulada Alta, los tres componentes de la fracción liviana se encuentran en proporciones similares, alrededor de un 25% cada uno. 2) En los suelos del modelo 4 los fragmentos líticos son más abundantes que las plagioclasas, pero las relaciones entre los tres componentes son diversas y contrastantes según los horizontes. 3) El modelo 5, situado en la Pampa Ondulada Baja tiene similitudes con los modelos 1b y 2b de la Pampa Ondulada Alta, aunque las proporciones de los tres componentes están aquí más próximas entre sí. 4) Los

suelos de los modelos 6, 7, 8, 9 y 10 –más allá de relaciones contrapuestas entre los tres constituyentes entre distintos perfiles y horizontes- se asemejan en que los fragmentos líticos son el componente más abundante de la fracción liviana, seguido por las plagioclasas y por último el vidrio volcánico.

Cuarzo. “Se presenta en forma de granos irregulares de contornos preferentemente subangulosos y/o subredondeados, siendo escasos los angulosos y redondeados. La gran mayoría son incoloros y límpidos; los granos recubiertos por óxidos de hierro están en proporción reducida. La extinción ondulante es poco frecuente, pero las inclusiones son comunes especialmente las fluidas que puede o no estar orientadas; las sólidas son raras y corresponden a apatita y rutilo de tipo acicular y minerales opacos. Dentro del porcentaje de cuarzo se han incluido los muy escasos fragmentos líticos que corresponden a granos redondeados de cuarcita o cuarzo de vena” (Remiro, 1966-1968).

Desde el punto de vista cuantitativo, el cuarzo se presenta en cantidades variables tanto en sentido regional como en el interior de los perfiles, con un valor medio regional de aproximadamente un 20%; su proporción es normalmente especular respecto a los contenidos de vidrio volcánico, aunque sus variaciones son menos marcadas que las de este último.

A lo largo de la de la Pampa Ondulada puede trazarse una línea paralela al eje Paraná-Río de la Plata que delimita un área situada hacia el oeste-suroeste cuyos suelos tienen menores contenidos de cuarzo, de otra situada hacia el este-noreste, en la franja “ribereña”, cuyos suelos tienen contenidos mayores. Sin embargo, en este sector oriental, cercano al eje fluvial, coexisten de manera próxima perfiles con contenidos medios o bajos de cuarzo, con otros en los que el cuarzo alcanza valores elevados. Por otro lado, en esta franja “ribereña” pueden también distinguirse varias situaciones (**Fig. 7**).

En el sector “ribereño” norte de la Pampa Ondulada, en la Provincia de Santa Fe, el contenido de cuarzo de los suelos oscila alrededor de un 20%; sin embargo, en algunos perfiles, en los horizontes BC y C disminuye el contenido de cuarzo a la mitad en

consonancia con el fuerte incremento de vidrio volcánico. Esto se puede apreciar en los datos representados en el círculo superior de la **Fig. 7a**, y también comparando los suelos de los modelos 1a y 2a de **Tabla 1**. Más al sur, en el límite de Santa Fe con Buenos Aires, el contenido de cuarzo aumenta en todos los horizontes de los perfiles, a valores entre 25 y 30%; sin embargo, en este sector se repite el contraste entre horizontes BC-C de distintos perfiles (**Tabla 2**, comparar modelos 1b y 2b). Debe hacerse notar que los cinco perfiles de suelo localizados en este sector (tres perfiles del modelo 1b y dos del modelo 2b) se encuentran muy próximos entre sí, dentro de un radio de 5 km, en la cuenca del Arroyo del Medio que constituye el límite entre ambas provincias.

En la franja “ribereña” del centro de la Pampa Ondulada el contenido de cuarzo de los suelos aumenta. Los datos de perfiles completos de este sector son escasos; sin embargo, se constata en ellos la existencia de suelos cuyos horizontes A y Bt tienen bajos contenidos de cuarzo (alrededor de un 5%) junto a otros suelos con contenidos elevados (15-30%). No obstante, lo que caracteriza a este sector de la Pampa Ondulada son los contenidos elevados de cuarzo en la mayoría de los horizontes C. Los valores de los

pocos perfiles completos revelan algunos horizontes C con 30 y 45% de cuarzo (**Fig. 7a**). Este hecho es también claramente evidenciado por los análisis de horizontes C reportados en los primeros Informes Mineralógicos (**Fig. 7b**). Allí -en el sector circunvado- puede verse la existencia de un número importante de sitios con contenidos de cuarzo que oscilan entre 20 y 30%, y que contrastan con los contenidos menores de los sitios situados hacia el oeste.

Hacia el sur, en los suelos del centro y del este de la Pampa Ondulada Baja y en el sector litoral de la Pampa Deprimida, los contenidos de cuarzo disminuyen respecto al centro de la Pampa Ondulada Alta, oscilando entre 15 y 20% (círculo inferior en la **Fig. 7a**). Si bien hay oscilaciones en el porcentaje de cuarzo entre los distintos horizontes, estas son poco acusadas, particularmente respecto a los notorios contrastes observados entre horizontes de algunos suelos de la Pampa Ondulada Alta. Dentro de este sector meridional y considerando los perfiles completos, se puede observar que los Vertisoles de la zona costera de la Pampa Deprimida (modelos 6 y 7, **Tabla 4**) tienen un contenido ligeramente mayor de cuarzo, de alrededor de un 20%, respecto a los otros modelos típicos de esta zona (modelos 5 y 8).

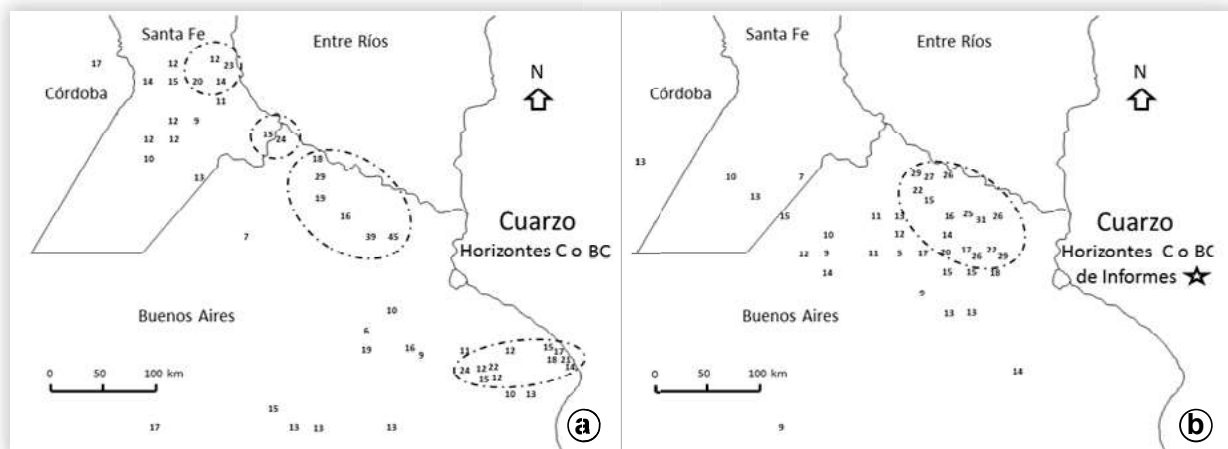


Figura 7. Representación espacial del contenido de cuarzo en los horizontes BC o C de los suelos estudiados de la Pampa Norte. Los sectores circunvallados con línea de trazos, localizados de manera proximal al eje fluvial Paraná-de la Plata, presentan algunos sitios con contenidos elevados de cuarzo. a) valores correspondientes a los horizontes C de los perfiles. b) valores correspondientes a los horizontes BC o C muestreados por separado.

Figure 7. Spatial representation of quartz content in the BC or C horizons of the soils studied in the North Pampa. The sectors circunvallated with dashed lines, located proximally to the Paraná-de la Plata river axis, have some sites with high quartz contents. a) quartz percentage in the C horizons of soil profiles. b) quartz values corresponding to the BC or C horizons sampled separately.

El cuarzo disminuye en general en los suelos situados hacia el oeste y el sur de los sectores “ribereños” mencionados. Sin embargo, si se consideran los perfiles completos se presentan dos situaciones contrastantes: 1) los suelos situados hacia el noroeste de la Pampa Ondulada Alta, en las provincias de Santa Fe y Córdoba, presentan contenidos de cuarzo elevados en los horizontes A y Bt que oscilan alrededor de un 20% y que disminuyen ligeramente en los horizontes más profundos, como lo representa el perfil del modelo 3 (**Tabla 3**) localizado en Marcos Juárez (Córdoba). Esta situación es similar a la de algunos suelos del sector vecino cercano al río Paraná. 2) Los suelos del sector centro-oeste de la Pampa Ondulada Alta, los de la Pampa Arenosa y los del sector de acciones eólicas de la Pampa Deprimida tiene contenidos algo menores de cuarzo en todos sus horizontes, alrededor del 15%. Estos suelos están representados en las Tablas por los modelos mineralógicos 4, 9 y 10. Si se consideran solamente los horizontes C, el cuarzo es poco abundante en todos los suelos alejados del eje fluvial Paraná-del Plata, oscilando entre 10-15% (**Fig. 7a y 7b**).

Feldespatos. De acuerdo a Remiro, “la ortoclasa es el más abundante y presente en todas las muestras; se presenta en granos redondeados, en avanzado estado de alteración caolínica. El microclino aparece sólo como vestigio, mucho menos alterado que la ortoclasa. La sanidina es excepcional”.

El contenido de feldespatos es notoriamente reducido y relativamente constante, no habiendo diferencias marcadas ni entre los distintos sectores de la región estudiada ni entre los horizontes de los perfiles. El valor medio para el conjunto de la región oscila alrededor del 10%. Como puede verse en las Tablas, en los suelos de la Pampa Ondulada Alta (modelos 1, 2, 3, y 4) el contenido de feldespatos es ligeramente mayor, con valores de 11-12%. Por el contrario, en los sectores meridionales las proporciones son generalmente menores, con contenidos de 7- 8%.

Otros componentes de la fracción liviana

La arena (62-246 μm) de los suelos pampeanos aquí estudiados presenta otros componentes minoritarios en su fracción liviana. Entre ellos se des-

tacan por su mayor proporción los denominados por J. Remiro (1966-1968) “grumos caolínicos”. “Granos bien redondeados, casi esféricos, opacos o débilmente translúcidos, de color blanquecino o amarillento y rojizo debido a impregnaciones de compuestos férricos sin que se pueda determinar con certeza su composición original. Es posible que deriven de la alteración de fragmentos líticos, feldespatos o vidrio”.

Desde el punto de vista cuantitativo, en las muestras analizadas la proporción de grumos varía entre menos de 1% (vestigios) y 12%, aunque en general oscila entre 4-5% de la fracción liviana. La calificación de “caolínicos” –tal como también los designan Teruggi *et al.* (1957)- sólo por las características ópticas puede no ser muy precisa. Sin embargo, su presencia es constante en suelos y sedimentos pampeanos. Otros autores (González Bonorino, 1965; Riggi *et al.*, 1986) han mencionado la existencia de estos grumos en la fracción arena. También se mencionan en perfiles de la Pampa Ondulada como “pseudo-arenas”, con incremento cuantitativo en niveles de paleosuelos, y considerándolos como microagregados de probable origen pedológico (Nabel *et al.*, 1999). Imbellone & Cumba (2003) señalan la presencia de “pseudopartículas” en una sucesión de paleosuelos en La Plata; éstas son relativamente escasas y restringidas a las fracciones más gruesas de la arena en la parte superior de la sección, en tanto en los paleosuelos inferiores son abundantes y llegan a constituir la mayor parte de la fracción arena.

Otro constituyente típico y constante de la fracción liviana de la arena de los materiales pampeanos es el ópalo orgánico o fitolitos (Teruggi, 1957). Estas partículas están en la mayor parte de las muestras estudiadas, aunque tan solo como vestigios (<1%). También, en aproximadamente un tercio de las muestras se encontraron vestigios de calcedonia.

Distribución vertical y espacial de minerales de la fracción pesada.

Porcentaje de minerales pesados

La fracción pesada de la arena de los sedimentos pampeanos esta constituida por una amplia va-

riedad de minerales, aunque unas pocas especies –pertenecientes particularmente a los grupos de anfíboles, piroxenos y minerales opacos- constituyen la proporción mayoritaria de la fracción. En la mayor parte de la región estudiada el porcentaje total de minerales pesados es relativamente reducido. Sin embargo, como lo refleja la representación gráfica de los datos de los perfiles seleccionados, es posible distinguir tres grupos (Fig. 8):

1) Un grupo abarca la mayor parte de los perfiles (modelos 1 a 8), con valores entre vestigios (a los efectos de su representación gráfica se les asignó un valor de 0,1%) y un máximo de 1,7%; 2) Un grupo contrastante con el anterior, con valores muy altos entre 1,5 y 12%, está constituido por el modelo 9 de suelos de la Pampa Arenosa; 3) Entre ambos extremos se encuentran algunos suelos con valores intermedios de minerales pesados –entre 1,2 y 2,2%- que corresponde al sector de acciones eólicas de la Pampa Deprimida (modelo 10).

En cuanto a los perfiles del primer grupo, y aún dentro del limitado rango de valores que presentan, es posible constatar agrupamientos. 1) Por un

lado están los suelos del noreste de la Pampa Ondulada, en la Provincia de Santa Fe (modelos 1a y 2a), con un contenido medio relativamente elevado (alrededor de 1,2%). 2) En el otro extremo, con los valores más reducidos (valor medio de 0,7%) están los perfiles situados en la provincia de Córdoba en la Depresión del Ao. Tortugas (modelo 3) y en particular los suelos localizados en el sector litoral de la Pampa Deprimida (modelos 6, 7 y 8). 3) Con valores intermedios entre esos extremos se encuentran los perfiles de suelo situados en la parte central de la Pampa Ondulada Alta (modelos 1b, 2b), en la parte sur de la misma (modelo 4) y los suelos de la Pampa Ondulada Baja (modelo 5).

La Fig. 8 muestra algunos horizontes de algunos suelos donde los porcentajes reducidos de minerales pesados se correlacionan con contenidos de vidrio volcánico (o de vidrio + litoclastos) relativamente elevados; esto ocurre en horizontes B y BC-C de los perfiles 1a, 1b, 3, 4, 8 y 10. Sin embargo, esta relación no es generalizada. Inversamente, para los picos con valores máximos de pesados no

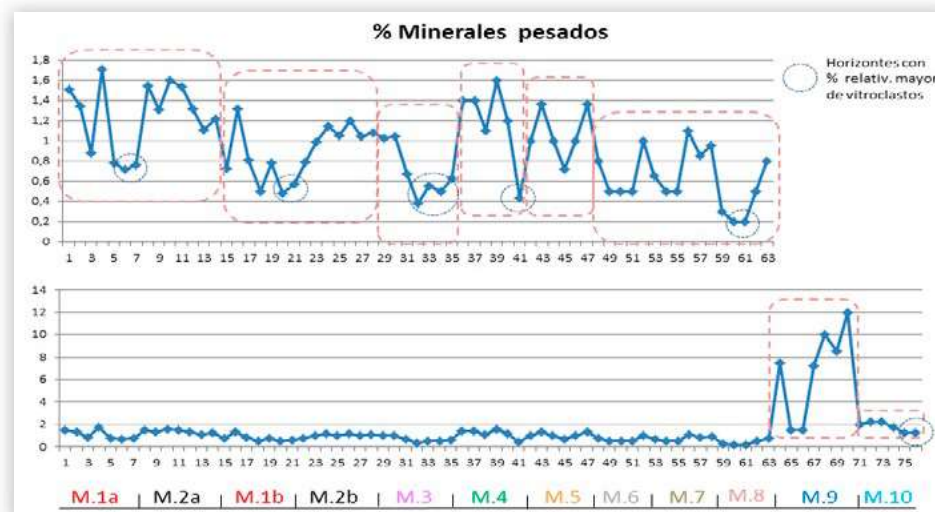


Figura 8. Porcentaje de minerales pesados en la fracción arena de perfiles representativos. Gráfico inferior: se diferencian tres grupos de suelos en función del contenido de minerales pesados. Gráfico superior: una observación más detallada de los perfiles con bajo contenido de minerales pesados permite apreciar otros agrupamientos. Los puntos circunvalados corresponden a horizontes profundos de perfiles, donde el bajo contenido de minerales pesados se relaciona con elevado porcentaje de vidrio volcánico en la fracción liviana.

Figure 8. Proportion (in %) of heavy minerals in the sand fraction of representative profiles. In the graph below three groups of soils are distinguished according to their heavy minerals content. In the graphic above, a more detailed observation of the profiles with a low content of heavy minerals allows other clusters to be appreciated. The circumsallated points correspond to deep horizons of certain profiles, in which the low content of heavy minerals are related to high volcanic glass contents in the light fraction.

se encontró ninguna correlación con ninguno de los minerales considerados de la fracción pesada.

Piroxenos. Un componente constante, aunque en proporciones muy diversas, de la fracción pesada de las arenas estudiadas son los piroxenos. Este grupo “está representado por augita, hipersteno y enstatita. La augita se presenta en granos prismáticos o irregulares fracturados, redondeados, subangulosos, menos frecuentemente subredondeados que a veces tienen terminaciones aserradas originadas por los planos de clivaje. Color verde claro o incoloro, que corresponde aparentemente a un tipo diopsídico y solo excepcionalmente es de color verde intenso. Con frecuencia presenta inclusiones opacas de magnetita. No presenta señales de alteración. La augita titanífera de color rojo violáceo se presenta en pocas muestras, y solo como vestigio”. “El hipersteno alterna en abundancia con la augita. En general los granos tienen hábito prismático alargado, subredondeados; los cristales bien desarrollados con restos de vidrio volcánico adherido a sus bordes, son raros. Los individuos con extremos aserrados son poco frecuentes. Su color es verde pálido, con leve pleocroísmo al verde rojizo y menos común al rojizo intenso debido a un mayor contenido de moléculas de hierro. No presenta señales de alteración y con frecuencia tiene inclusiones de magnetita. Por su parte, la enstatita se encuentra como vestigios en pocas muestras”.

En la mayoría de las muestras de los perfiles seleccionados las proporciones de augita e hipersteno son prácticamente similares (**Tablas 1-5**). La sumatoria de ambos minerales oscila entre <1% (vestigios) hasta 43% de la fracción pesada (**Fig. 9**).

En los horizontes A (**Fig. 9a**), resulta evidente que en la franja cercana al río Paraná los piroxenos se presentan en muy escasa cantidad, entre vestigios y un 4%. Hacia el oeste de la Pampa Ondulada se registra un ligero aumento, más notorio en el oeste de Santa y en Córdoba. Del mismo modo, en los horizontes Bt (**Fig. 9b**), y salvo un caso excepcional, en la franja “ribereña” los piroxenos se encuentran en muy pequeña proporción siendo muy frecuentes los sitios con tan solo vestigios. Hacia el

oeste el porcentaje de piroxenos aumenta de manera más abrupta que en el caso anterior. Dado las pequeñas proporciones de piroxenos en los horizontes A y Bt de la Pampa Ondulada Alta, se ha tomado aquí el valor de 5% para trazar el límite entre sectores de menor y mayor contenido.

Por el contrario, en los horizontes A y Bt de los sectores meridionales de la región estudiada, la proporción de piroxenos aumenta notoriamente, pudiéndose distinguir dos áreas: 1) en los suelos de la Pampa Ondulada Baja y de los sectores litorales de la Pampa Deprimida, se presentan sitios con contenidos contrastantes que van desde 2% a 49% (**Figs. 9a y 9b**). 2) en los suelos situados hacia el suroeste, sector de “Acciones eólicas” de la Pampa Deprimida y en la Pampa Arenosa, el contenido de piroxenos es homogéneamente elevado.

Una situación diferente desde el punto de vista cuantitativo se observa en los horizontes C y BC (**Fig. 9c**). En los suelos de la Pampa Ondulada Alta, tanto en los perfiles de suelo del sector “ribereño” del Paraná como en aquellos situados hacia el oeste, es evidente un incremento notable de piroxenos en los horizontes profundos respecto a los valores de los horizontes A y Bt. En este caso, dado el incremento generalizado, y tomando en cuenta el criterio utilizado en un trabajo anterior (Morrás, 2003) la línea divisoria entre sectores se ha trazado tomando como referencia el valor de 16% de piroxenos. Dado la escasa cantidad de perfiles estudiados en la parte media de la Pampa Ondulada, para corroborar la sectorización propuesta se utilizó aquí también el otro conjunto de datos de horizontes C. Así, en la **Fig. 9c** puede distinguirse el sector oriental, con contenidos heterogéneos de piroxenos, del sector occidental donde las proporciones aumentan de manera más generalizada.

Tal como se observó para los horizontes A y Bt, también en los horizontes C de los suelos de los sectores meridionales de la región estudiada aumenta el contenido de piroxenos totales (**Fig. 9c**), donde son frecuentes valores entre 30 y 40%. Al igual que con los horizontes más superficiales, también se distingue un sector oriental con alternancia de valores reducidos con valores elevados,

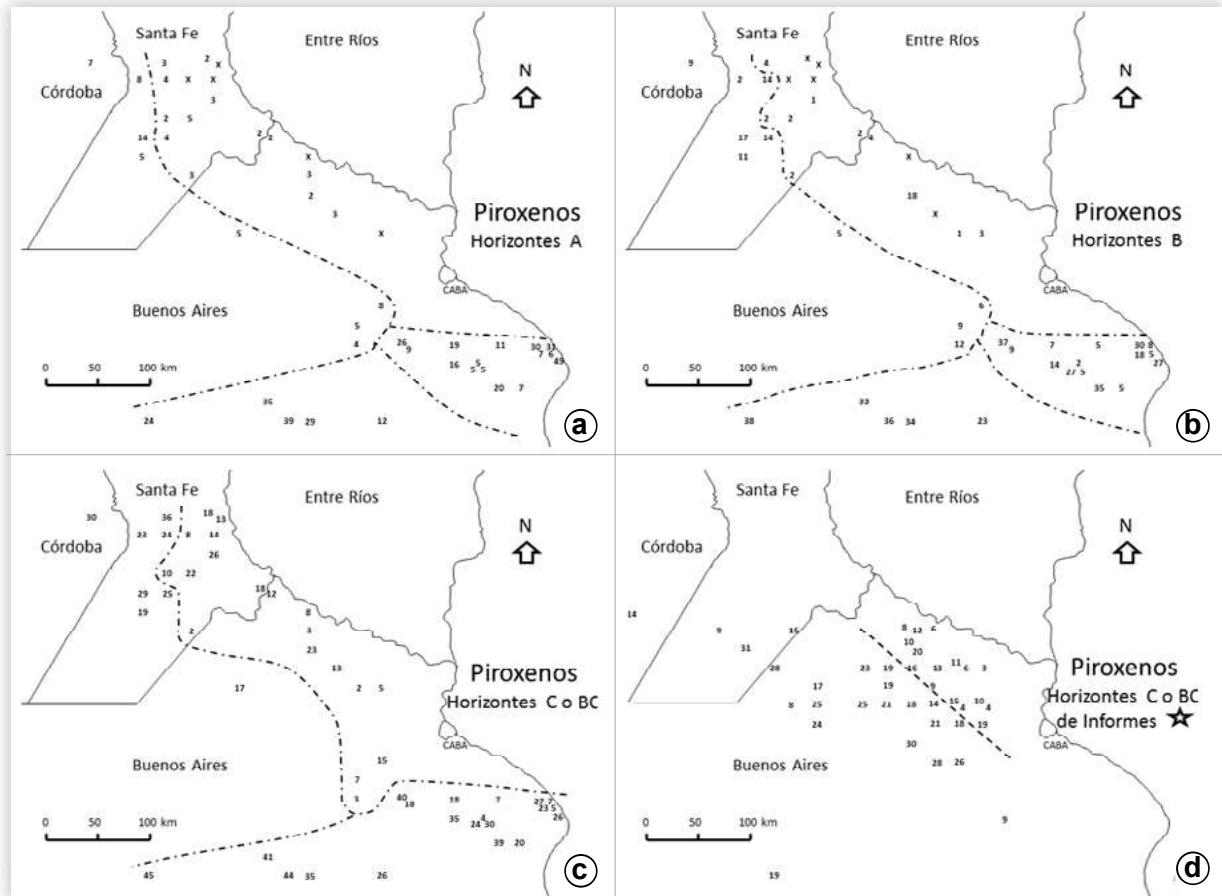


Figura 9. Representación espacial de los contenidos de piroxenos (augita + hipersteno) en los tres horizontes principales de los perfiles de suelo representativos. Las líneas de trazos interpoladas permiten distinguir áreas con diferente proporción de piroxenos. a) valores de los horizontes A de los perfiles. b) valores de los horizontes B de los perfiles. c) valores de los horizontes C de los perfiles. d) valores a de los horizontes BC o C muestreados por separado.

Figure 9. Spatial representation of pyroxene contents (augite + hypersthene) in the three main horizons of representative soil profiles. The interpolated dashed lines allow to distinguish areas with different proportions of pyroxenes. a) pyroxenes content (%) in the A horizons of soil profiles. b) values corresponding to the B horizons of the profiles. c) values corresponding to the C horizons of the profiles. d) values corresponding to the BC or C horizons sampled separately.

de un sector occidental donde el contenido de piroxenos es constantemente alto.

Diversos trabajos han mencionado que en los sedimentos pampeanos los piroxenos derivan sin duda de vulcanitas dado que, algunos granos presentan restos de vidrio adherido y las rocas plutónicas piroxénicas son escasas en la Argentina (Teruggi, 1957; Bertoldi de Pomar, 1969; Etchichury & Tofalo, 2004). Para evaluar esta relación, se graficó el contenido total de piroxenos (% en la FP) versus el contenido de vidrio volcánico (% en la FL) en los perfiles seleccionados (Fig.10; Tabla 1-5). Se

constata una evidente relación entre los contenidos de vidrio volcánico y de piroxenos en los suelos de los modelos 1 y 2 localizados en la Pampa Ondula Alta. Debe notarse que, si bien la cantidad absoluta de cada especie mineral es diferente dado que una se encuentra en la mayoritaria FL y la otra en la minoritaria FP, las proporciones de ambos componentes dentro de sus respectivas fracciones son relativamente similares entre sí. Sin embargo, llama la atención el hecho que, de acuerdo a las descripciones disponibles, los vidrios serían de tipo ácido cuando los piroxenos son especialmente comunes

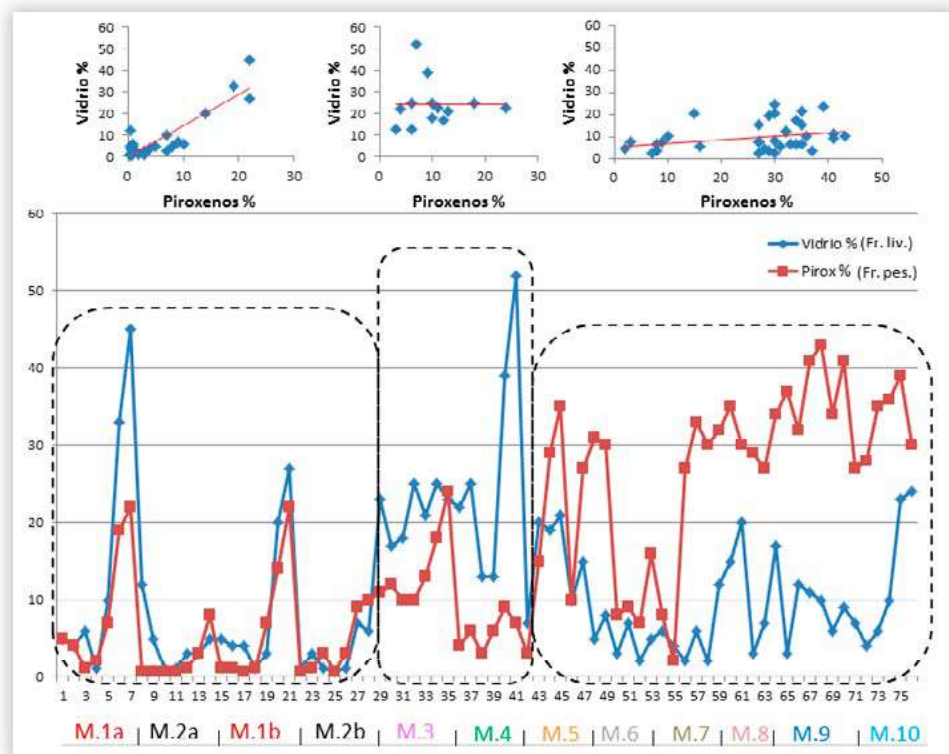


Figura 10. Variación intra- e inter-perfil del contenido total de piroxenos (% en la FP) versus el contenido de vidrio volcánico (% en la FL) en los perfiles representativos de los modelos mineralógicos. Resaltan los cambios de las proporciones relativas entre ambos componentes, con incremento progresivo del contenido de piroxenos de norte a sur de la región estudiada. Parte superior de la Figura: correlación gráfica entre ambas variables para las muestras agrupadas en cada uno de los tres conjuntos de perfiles circunscriptos con líneas de trazo. Hay una evidente relación positiva entre los contenidos de vidrio volcánico y de piroxenos en los suelos de los modelos 1 y 2 localizados en la Pampa Ondulada Alta; la relación es indeterminada para los otros modelos.

Figure 10. Intra- and inter-profile variation of pyroxenes (% of the heavy fraction) versus volcanic glass (% of the light fraction) in the representative profiles of different “mineralogical models”. Changes in the relative proportions between both components are significant, showing a progressive increase in the pyroxene content from north to south of the studied region. In the upper part of the Figure, graphic correlation between both variables for the samples grouped in each of the three sets of profiles. An obvious positive relationship can be seen between the contents of volcanic glass and pyroxenes in the soils of models 1 and 2 located in the Pampa Ondulada Alta (High Rolling Pampa). On the contrary, the relationship is indeterminate for the other models.

en las rocas eruptivas básicas. En los perfiles de los modelos 3 y 4 la proporción de vitroclastos supera claramente a la de piroxenos. Finalmente, en los suelos situados en la Pampa Ondulada Baja, en la Pampa Deprimida y en la Pampa Arenosa (modelos 5, 6, 7, 8, 9 y 10), a diferencia de los suelos situados más al norte, las relaciones se invierten y es notorio el mayor porcentaje de piroxenos respecto a los de vidrio volcánico. En los suelos de estos sectores, en algunos horizontes hay una correlación directa entre el contenido de vidrio y el de piroxenos, mientras en otros ésta no es evidente. Representando estos datos en gráficos de coordenadas aparecen tres

situaciones diferenciadas (parte superior de la **Fig. 10**): 1) existe una clara correlación directa entre ambos componentes en los perfiles de los modelos 1 y 2. 2) en los modelos 3 y 4 no se aprecia correlación entre ambos. 3) para el grupo de suelos situados en el sector meridional de la región estudiada (modelos 5, 6, 7, 8, 9 y 10) la relación entre vidrio volcánico y piroxenos es muy débil a nula. Es interesante mencionar que para el perfil localizado más hacia el suroeste de la región estudiada (localidad de Nueva Plata), en la Pampa Arenosa y correspondiente al modelo 10, J. Remiro indica que los piroxenos se destacan por ser individuos mayores que los

observados en las otras muestras y por su fuerte redondeamiento.

Anfiboles. Otro de los componentes mayoritarios de la fracción pesada de los sedimentos pampeanos es el grupo de los anfíboles. Estos minerales “están representados por hornblenda común, lamprobolita (hornblenda basáltica) actinolita y antofillita. La primera puede ser verdosa o castaña, predominando una u otra; aparecen en granos prismáticos redondeados o fragmentos de prismas. Inclusiones escasas (magnetita). Estado de conservación bueno, raramente alteradas. La lamprobolita, con su típico pleocroísmo del castaño pálido al castaño oscuro o negro, se presenta en individuos prismáticos redondeados algo más pequeños que los de hornblenda, sin alteración. La actinolita y la antofillita están presentes en muy pocas muestras y siempre como vestigios; aparecen típicamente en cristales fibrosos fragmentados, ambas de color verde muy pálido”.

En los horizontes de los perfiles seleccionados el contenido total de anfíboles varía ampliamente entre 15 y 45%. Dado que la cantidad de lamprobolita es reducida y aproximadamente constante, (entre 3 y 5% de la fracción pesada), las marcadas diferencias en el contenido de anfíboles entre distintas muestras residen en las grandes variaciones de la hornblenda común (**Tablas 1-5**).

El análisis de su distribución espacial entre distintos sectores de la región estudiada y su relación con otros constituyentes de la arena, revela algunos detalles interesantes. Como lo expresó Teruggi (1954; 1957), “si bien es difícil establecer la roca madre de los anfíboles en los sedimentos pampeanos, se estima que estos proceden de vulcanitas”. En consecuencia, resulta útil comparar el contenido de hornblendas con otros constituyentes de filiación claramente volcánica. Así, en la **Fig.11** se han representado conjuntamente los contenidos totales de anfíboles y piroxenos, lo que permite apreciar agrupamientos diferenciados en los

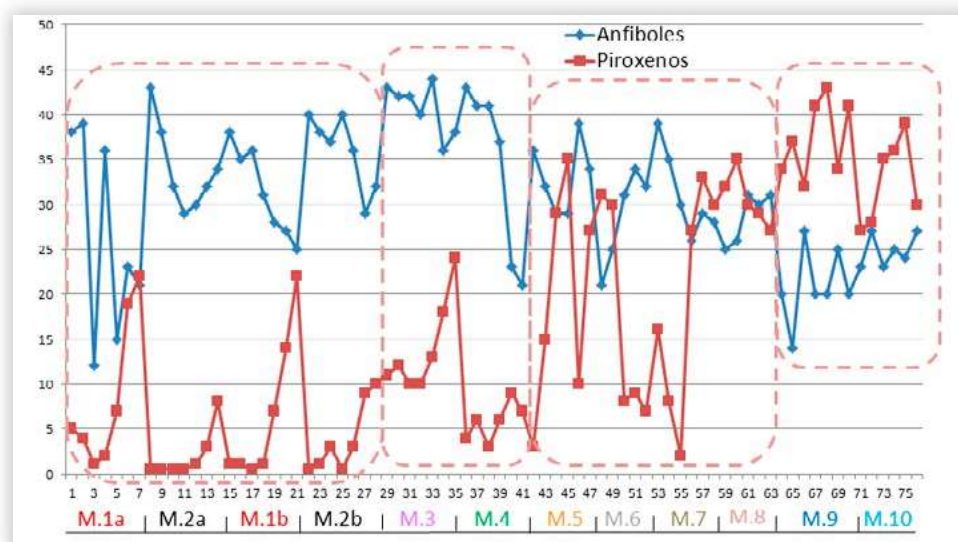


Figura 11. Comparación de las variaciones intra- e inter-perfil de piroxenos y anfíboles. La relación proporcional entre ambos minerales es en gran parte inversa, y el grado depende de los modelos considerados (ver **Fig. 13**). En los perfiles de los modelos 1, 2, 3 y 4 la proporción de anfíboles es claramente superior a la de piroxenos; en los perfiles de los modelos 9 y 10 al sur del río Salado el contenido de piroxenos es superior al de anfíboles; en los modelos 5, 6, 7, y 8 de la Pampa Ondulada Baja y de la zona litoral, la relación es intermedia entre los casos anteriores.

Figure 11. Comparison of intra- and inter-profile variations between pyroxenes and amphiboles. The relationship between both minerals is largely inverse, although the degree depends on the models considered (see **Fig. 13**). In the profiles of models 1, 2, 3 and 4 the proportion of amphiboles is clearly higher than that of pyroxenes. On the contrary, in the profiles of models 9 and 10 located south of the Salado River, the pyroxene content is higher than that of amphiboles. In models 5, 6, 7, and 8 characteristic of the Pampa Ondulada Baja (Low Rolling Pampa) and the coastal area, the ratio is generally intermediate between the previous cases.

contenidos totales y en las relaciones entre ambos minerales

En primer lugar, en los perfiles de los modelos 1 y 2 el contenido de anfíboles es elevado, alrededor de un 35%; al mismo tiempo en estos suelos –y salvo los incrementos en los horizontes profundos– se observan los valores mínimos de piroxenos de toda la región. Los modelos 3 y 4 se asemejan a los anteriores pero se caracterizan por ligeros incrementos tanto en los porcentajes de piroxenos como de anfíboles. Como se ha señalado anteriormente, un sector claramente contrastante es el representado por los modelos mineralógicos 9 y 10. En estos suelos disminuye el contenido de

anfíboles al mismo tiempo que aumenta notoriamente la proporción de piroxenos, los que devienen mayoritarios dentro de la fracción pesada. Los modelos 5, 6, 7 y 8 se pueden agrupar en una situación intermedia y más heterogénea que las anteriores, en la que en muchos horizontes el contenido de piroxenos y anfíboles es similar.

Tomando el conjunto de datos de los perfiles seleccionados existe una definida correlación inversa entre los contenidos de anfíboles y piroxenos. Sin embargo, al sectorizar los datos según los perfiles y las zonas en que se localizan, se pueden apreciar diferencias en el grado de correlación entre ambos minerales (Fig.12). Por otro lado, resul-

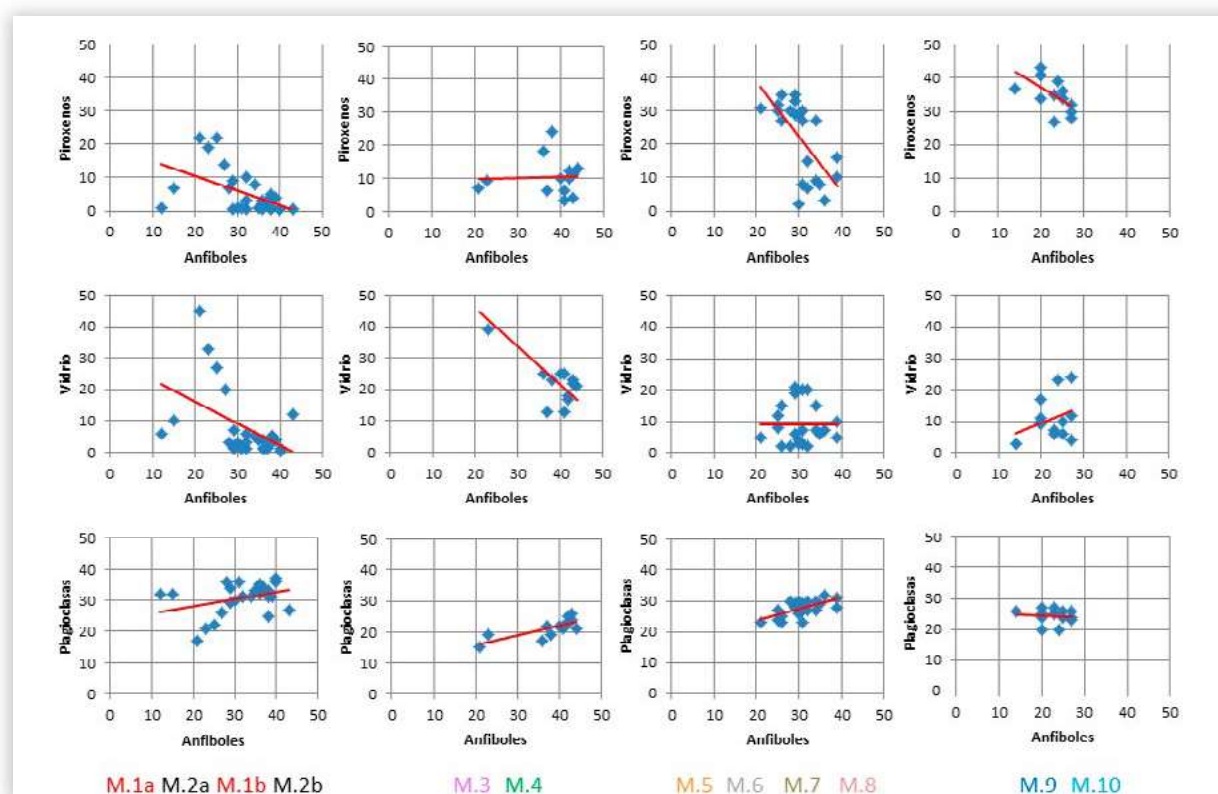


Figura 12. Correlaciones gráficas de los anfíboles (abscisas) con piroxenos, vidrio volcánico y plagioclasas (ordenadas) para cada uno de los agrupamientos de modelos mineralógicos diferenciados en las Figs. 11 y 13. Las correlaciones de anfíboles con minerales de origen volcánico (piroxenos y vidrio volcánico) son negativas en los perfiles de los modelos 1 y 2. En los otros conjuntos de perfiles de suelo son indiferenciadas o positivas según los casos. Las correlaciones de anfíboles con plagioclasas son en la mayor parte de los modelos ligeramente positivas, o bien indiferenciada como en el caso de los modelos 9 y 10.

Figure 12. Graphical correlations of amphiboles (in abscissa) with pyroxenes, volcanic glass and plagioclase (in ordinates) for each “mineralogical models” group in Figs. 11 and 13. Correlations of amphibole with volcanoclastic minerals (pyroxenes and volcanic glass) are negative in the profiles of models 1 and 2. In the other sets of soil profiles they are undifferentiated or positive depending on the case. The correlations of amphibole with plagioclase are slightly positive in most of the models, or undifferentiated as in the case of models 9 and 10.

ta de interés evaluar la relación entre anfíboles y vidrio volcánico. El conjunto de datos de los perfiles seleccionados indica en el análisis de correlación que las dos series son independientes. Sin embargo, al sectorizar las correlaciones gráficas (Fig.12) se constatan diferencias entre los agrupamientos. Así, en los modelos mineralógicos localizados en la Pampa Ondulada Alta la relación entre anfíboles y vidrio volcánico es claramente inversa; por el contrario, en los modelos que caracterizan la Pampa Ondulada Baja y el sector litoral la relación es indefinida a ligeramente positiva.

También es interesante comparar en los perfiles estudiados el contenido de anfíboles con el de plagioclasas (Fig.13). Como se observa en esta figura, y a diferencia de los casos anteriores, ambos minerales presentan en general entre si una correlación positiva. No obstante, existen diferencias entre distintos sectores: en el área de los modelos 9 y 10, la proporción de anfíboles (% en la FP) es inferior a la de plagioclasas (% en la FL). Por el contrario, en el resto de la región los anfíboles superan a las pla-

gioclasas, aunque dentro de este conjunto los modelos mineralógicos 3 y 4 se diferencian del resto por poseer una cantidad relativamente mayor de anfíboles y una relativamente menor de plagioclasas. En los gráficos de la Fig.12 la relación entre ambos componentes es en general positiva, salvo en los perfiles de los modelos 9 y 10. Como se mencionó más arriba al analizar la composición de la fracción liviana, la relación entre vidrio volcánico y plagioclasas es negativa en el conjunto de las muestras; el hecho que en los suelos de la Pampa Ondulada Alta la relación entre vidrio volcánico y anfíboles sea también negativa y entre anfíboles y plagioclasas positiva estaría sugiriendo que en este sector de la Pampa una proporción considerable de estos dos minerales provendría de rocas del basamento.

En síntesis, estos resultados estarían poniendo de manifiesto que en los perfiles de gran parte de la Pampa Ondulada Alta los anfíboles son abundantes pero probablemente en su mayoría no tendrían procedencia volcánica. En los suelos de la Pampa

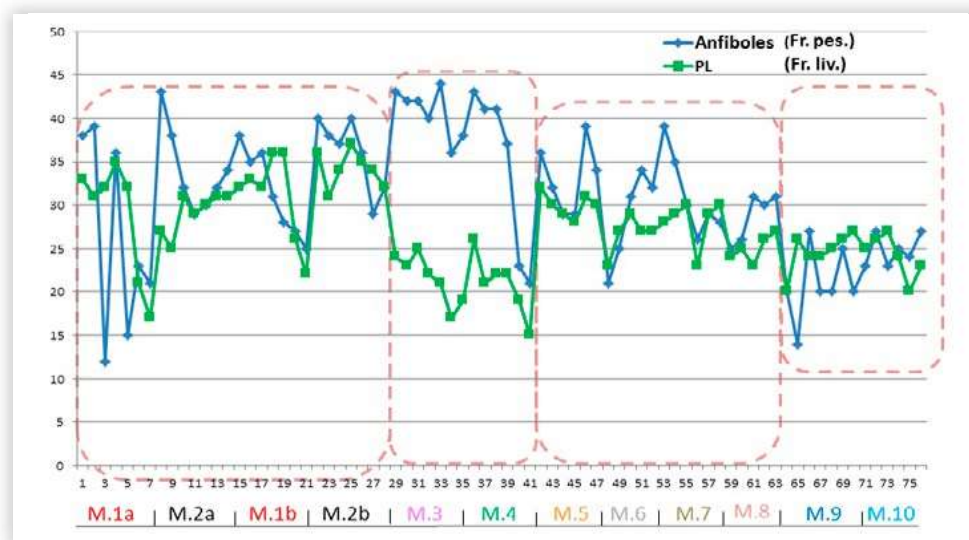


Figura 13. Comparación de las variaciones intra- e inter-perfil de anfíboles (% de la FP) y plagioclasas (% de la FL). Las proporciones de cada uno de estos minerales en sus respectivas fracciones son similares en algunos modelos mineralógicos (1, 2, 5, 6, 7 y 8) y difieren en otros (en los modelos 3 y 4 la proporción de anfíboles es superior, en tanto en 9 y 10 la proporción de anfíboles es inferior a la de plagioclasas). La relación entre ambos minerales es ligeramente positiva, salvo para los modelos 9 y 10 (ver Fig. 12).

Figure 13. Comparison of intra- and inter-profile variations of amphiboles (% in the heavy fraction) and plagioclase (% in the light fraction). The proportions of each of these minerals in their respective fractions are similar in some "mineralogical models" (1, 2, 5, 6, 7 and 8) and differ in others (in models 3 and 4 the proportion of amphiboles is higher, while in both 9 and 10 the proportion of amphiboles is lower than that of plagioclase). The relationship between both minerals is generally slightly positive, except for models 9 and 10 (see Fig. 12).

Arenosa y el borde norte de la Pampa Deprimida (modelos 9 y 10) la proporción de anfíboles es más reducida, pero en estos sectores sí tendrían mayoritariamente un origen volcánico, compartiendo de manera inversa con los piroxenos gran parte de la fracción pesada. Notoriamente, las situaciones de los otros suelos son heterogéneas e intermedias con los dos extremos mencionados (Fig.12), con el detalle que los suelos de los modelos 3 y 4 se acercan a las situaciones de los modelos 1 y 2, en tanto los modelos 5, 6, 7, y 8 a las de los modelos 9 y 10, lo que refleja la proximidad geográfica y ciertas relaciones geomorfológicas y sedimentológicas entre los distintos grupos.

Micas. Las micas se encuentran en los sedimentos pampeanos en proporción más reducida que otros componentes mayoritarios de la fracción pesada. Las micas “se observan en casi todas las muestras, pero en muy pocas de éstas alcanzan porcentajes apreciables. Se encuentran moscovita, incolora o ligeramente amarillenta, y biotita, con predominio de la primera. En algunas muestras, junto con las micas se observan vestigios de una clorita de color verde. Todos estos componentes se presentan en laminillas o escamas”.

Biotita y muscovita se presentan en todos los perfiles seleccionados en proporciones similares y es evidente que su contenido total es diferente en-

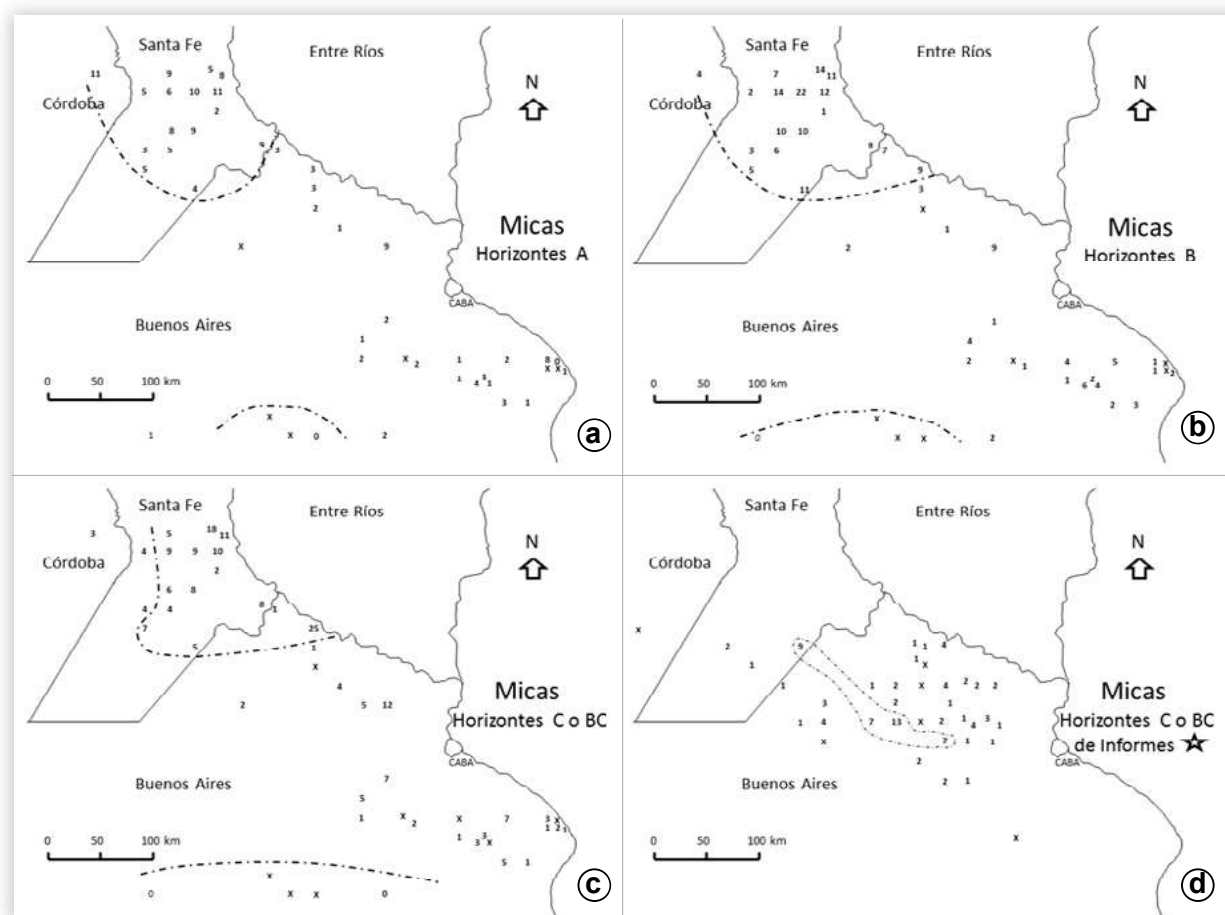


Figura 14. Representación espacial de los contenidos de micas (biotita + muscovita) en los tres horizontes principales de los perfiles de suelo representativos. Las líneas de trazos interpoladas permiten distinguir áreas con diferente proporción de micas. a) valores de los horizontes A. b) valores de los horizontes B. c) valores correspondientes a los horizontes C. d) valores de los horizontes BC o C muestreados de manera independiente.

Figure 14. Spatial representation of micas (biotite + muscovite) content in the three main horizons of representative soil profiles. The interpolated dashed lines allow to distinguish areas with different proportions of micas. a) micas content in the A horizons of soil profiles. b) values corresponding to the horizons B of the profiles. c) values corresponding to the horizons C of the profiles. d) values corresponding to the BC or C horizons sampled separately.

tre suelos de distintos sectores de la región (**Tablas 1-5**). En la **Fig. 14** se ha representado la sumatoria de ambas micas a distintas profundidades de los perfiles estudiados. Los horizontes A (**Fig. 14a**) muestran la existencia de una zona del norte de la Pampa Ondulada Alta, en las provincias de Santa Fe y Córdoba, con porcentajes relativamente más elevados de micas, con un valor medio entre 7 y 8%. En los suelos del resto de la región predominan valores reducidos, entre trazas y 3%, con algunos sitios intercalados de valores más elevados. Por el contrario en el extremo sur de la región estudiada, en el límite entre la Pampa Deprimida y la Pampa Arenosa, hay un sector con trazas o ausencia de micas, al igual que en algunos perfiles de la zona litoral.

En los horizontes B la variación espacial de las micas es similar a la anterior, aunque en muchos perfiles del sur de Santa Fe el contenido se duplica, alcanzando en un perfil un máximo de 22% (**Fig. 14b**). Inversamente, en el extremo sur de la región estudiada se amplía el sector con ausencia o solo vestigios de micas. En los horizontes C de los perfiles de Santa Fe y Córdoba (**Fig. 14c**) disminuyen los contenidos de mica respecto a los horizontes B, distinguiéndose igualmente la mayor riqueza de este sector. En el extremo sur se observa la ampliación del área con ausencia de micas. Para verificar la distribución espacial de las micas en el sector medio de la Pampa Ondulada, se han representado los valores correspondientes a muestras de horizontes C de los informes de J. Remiro. Los porcentajes registrados son inferiores a los del área más rica delimitada en Santa Fe. Sin embargo, se constata la existencia de varios sitios alineados en el oeste de la Pampa Ondulada donde los porcentajes de mica son mayores (**Fig. 14d**). Estos valores se corresponderían con los resultados obtenidos con otro conjunto de datos de horizontes C (Morrás, 2003) donde también se observaron contenidos intermedios de mica en el noroeste de la provincia de Buenos Aires.

DISCUSIÓN

Como se mencionó en la introducción, el conocimiento sobre la composición y el origen de

los sedimentos loésicos superficiales de la región Chaco-Pampeana ha evolucionado notoriamente al haberse multiplicado los estudios mineralógicos de sedimentos y suelos de distintos ámbitos de la región. Los trabajos iniciales generados a partir de un número limitado de muestras provenientes en particular del sur de la provincia de Buenos Aires generaron los conceptos de unicidad de origen y homogeneidad en la composición de los sedimentos en toda su área de distribución. Lo expresaba así Teruggi en 1954: "...la composición mineralógica de los terrenos cuaternarios es relativamente homogénea". Y también: las..." variaciones en la composición mineralógica.... no son los suficientemente marcadas, cuali o cuantitativamente para ensayar...el reconocimiento de zonas mineralógicas diferenciadas..". No obstante, poco más tarde el mismo Teruggi (1955) señala que la constancia mineralógica a la que se refiere corresponde a los loess y limos bonaerenses, y admite que "la composición sería algo distinta en la zona central y nororiental argentina, cuyos sedimentos contendrían minerales de rocas plutónicas y metamórficas".

Estudios sobre materiales loésicos del norte de la Región Pampeana y del sur del ámbito Chaqueño han evidenciado desde temprano diferencias composicionales entre distintos sectores, atribuibles a distintas fuentes de aporte de los sedimentos. Así en Santa Fe, el IEIFAG (1937) y Pocovi (1947) señalaban la existencia de contribuciones desde las Sierras de Córdoba y del río Paraná. Bertoldi de Pomar (1969) y más tarde Morrás & Delaune (1981; 1985) delimitaron varios sectores de la provincia en función de las diferencias composicionales de la fracción arena de suelos y sedimentos y las contribuciones relativas de distintas fuentes de aporte. En la Pampa Ondulada, además de la asociación volcánico-piroclástica de origen andino, Morrás (2003) señaló la existencia de aportes de la cuenca del Paraná y de la Sierras Pampeanas. Etchichury & Tofalo (2004), procesando datos mineralógicos de toda la Región Pampeana a través del trazado de isopleas, pusieron en evidencia la existencia de variaciones composicionales progresivas y -aunque sin trazar límites- distinguieron dos grandes

zonas caracterizadas por sendas asociaciones mineralógicas genéticamente diferentes; una de ellas abarcaría la mayor parte de la Región Pampeana en la que los minerales tienen un origen volcánico-piroclástico a los que se añaden materiales de las volcanitas norpatagónicas, del basamento de las Sierras Pampeanas y de erupciones piroclásticas; la otra que abarca el NE de Santa Fe y provincias mesopotámicas presenta contribuciones de rocas aflorantes en Brasil y Uruguay.

Todos estos otros trabajos que han mostrado la existencia de cambios composicionales a lo largo del territorio y han contribuido a modificar el paradigma de homogeneidad mineralógica, han sido realizados considerando cada sitio de muestreo y análisis como un paquete sedimentario relativamente homogéneo. Así Morrás & Delaune (1981; 1985) aun reconociendo la existencia de ciertas diferencias entre horizontes de un mismo perfil de suelo, utilizan el valor promedio de los horizontes como dato de comparación. Por su parte Morrás (2003) y Etchichury & Tófaló (2004) utilizan solo horizontes C o BC asumiendo de manera implícita que éstos representan en cada sitio un material parental relativamente homogéneo, a partir del cual se ha desarrollado la totalidad de cada perfil de suelo.

A diferencia de esos antecedentes, en el presente trabajo sobre suelos de la Pampa Norte se ha realizado un análisis más detallado tomando los horizontes principales de cada perfil como unidad de análisis, y evaluando las variaciones espaciales del material sedimentario a distintas profundidades. Este procedimiento, además de confirmar las diferenciaciones ya observadas, enriquece notablemente el panorama sobre la composición y distribución de los sedimentos superficiales y permite otras interpretaciones de carácter pedológico.

Modelos mineralógicos y zonación de los sedimentos superficiales de la Pampa Norte

Una característica distintiva de los sedimentos loésicos pampeanos respecto a los loess de otras regiones del mundo es la predominancia de

componentes volcanoclásticos (Teruggi, 1957; Pye, 1987). Tomando por este motivo al vidrio volcánico y otros minerales considerados de filiación volcánica como primeros elementos de referencia, el análisis de la mineralogía de la fracción arena a profundidades equivalentes (horizontes A, B y BC-C de perfiles de suelos) pone en evidencia una marcada heterogeneidad composicional de los sedimentos superficiales de la Pampa Norte. Esta diferenciación espacial se corresponde con las variaciones verticales dentro de cada perfil y nos ha dado pie a la identificación de diez tipos distintos y dos variantes, de asociaciones minerales o “modelos mineralógicos”.

Por otro lado, la distribución espacial de esos “modelos” mineralógicos de la fracción gruesa no resulta aleatoria sino que se presenta como agrupaciones delimitables. En el trabajo preliminar (Morrás, 2003) limitado al análisis de los horizontes profundos de los perfiles, se diferenciaron las tres áreas mostradas en la **Fig. 1**. Sobre la base del análisis de perfiles completos de suelos esa delimitación inicial ha sido precisada y ampliada, pudiéndose delimitar en el ámbito estudiado de la Pampa Norte siete “zonas mineralógicas”, caracterizadas por la predominancia de uno o dos de los “modelos” mineralógicos (**Fig. 15**). Esta identificación de zonas en función de la mineralogía de las arenas sería correlacionable con otros elementos de diferenciación tales como unidades geomorfológicas y características litológicas como la granulometría o la mineralogía de la fracción arcilla de los materiales.

Como puede observarse comparando la **Fig. 3** con la **Fig. 15**, en el centro-norte de la región estudiada que comprende toda la Pampa Ondulada Alta y sectores de la Pampa Llana y la Depresión del Ao. Tortugas al norte y de la Pampa Ondulada Baja al sur, se han diferenciado ahora cuatro zonas mineralógicas (A, B, C y D) caracterizadas por la presencia de cuatro de los “modelos” mineralógicos identificados (1, 2, 3, y 4).

Zona A: se ubica en el centro-oeste de la Pampa Ondulada y coincide con gran parte de la tam-

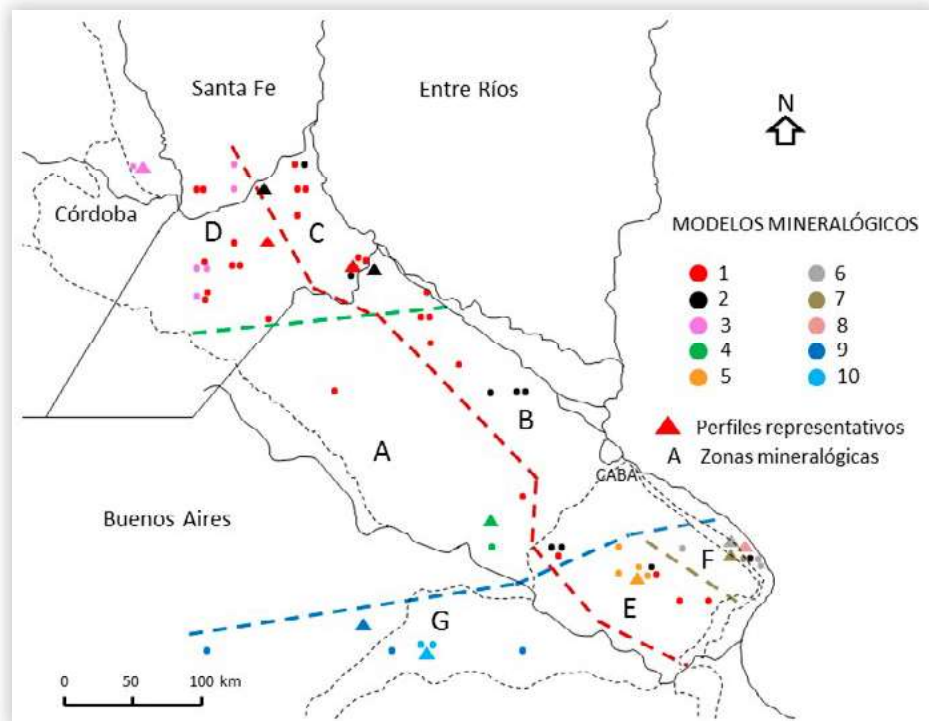


Figura 15. “Zonas mineralógicas” del NE de la Pampa Norte en función de la distribución y predominancia de los “modelos mineralógicos” de la fracción arena de los perfiles de suelo. El modelo 1 incluye las variantes 1a y 1b, y el modelo 2 las variantes 2a y 2b.

Figure 15. “Mineralogical zones” identified in the northeastern part of the North Pampa according to the distribution and predominance of “mineralogical models” of the sand fraction in soil profiles. Model 1 includes variants 1a and 1b, and model 2 variants 2a and 2b.

bién denominada área A en la zonificación realizada con anterioridad (Morrás, 2003). En el presente trabajo sólo cuatro perfiles de suelo se localizaron en este sector, dos de ellos del modelo 1a (aunque en esta zona con menos micas que los suelos de Santa Fe) y otros dos del modelo 4. Estos dos modelos se asemejan en el porcentaje elevado de minerales pesados en todo el perfil y en el notorio incremento de vidrio volcánico en los horizontes BC y C. En cambio, ambos se diferencian porque el modelo 1a tiene mayor contenido de plagioclasas en los horizontes A y Bt, y el modelo 4 tiene además mayor contenido de vidrio en esos mismos horizontes. Si bien la cantidad de perfiles completos en este sector es escasa, se dispone de un número importante de muestras de horizontes C que han permitido diferenciar esta área de las circundantes por su abundancia de vidrio y piroxenos en ese nivel (Figs. 4d y 9d). Estas últimas, y de manera coincidente con lo observado en Morrás

(2003) con otro conjunto de muestras, indican la existencia de contenidos intermedios de micas denotando una transición con los valores reducidos a nulos que se presentan hacia el sur de la región estudiada.

Zona B: en la provincia de Buenos Aires, en la franja cercana a los ríos Paraná-de la Plata que va desde la localidad de San Pedro hasta la Bahía de Samborombón, Morrás (2003) reconoció diferencias con la zona A, entre ellas un mayor contenido de cuarzo respecto al vidrio (Fig. 1). Conforme a la información que proveen los “modelos” mineralógicos esta franja se subdividió aquí en tres zonas (Fig. 15).

La zona B, se caracteriza por la coexistencia de los modelos mineralógicos 1b (aunque también en esta zona con menos micas que los suelos de Santa Fe) y 2b. El conjunto de los suelos de este sector se caracteriza por la escasa proporción de minera-

les pesados y por ser pobres en vidrio y piroxenos. Sin embargo, los suelos del modelo 1b presentan un claro aumento de vidrio y piroxenos en la base de los perfiles, que lo diferencia de los suelos del modelo 2b que son pobres en toda su profundidad. Inversamente, el contenido de cuarzo es en general muy elevado. Considerando solamente los datos de horizontes BC-C de los perfiles (**Fig. 7a**) y aquellos de los Informes (**Fig. 7b**) se observa claramente en este sector la yuxtaposición y contraste entre valores medios y otros más altos (datos circunvalados) con los valores homogéneamente más bajos de las zonas más alejadas del eje fluvial.

Si bien la escasez de vidrio en los suelos cercanos al río Paraná ha sido considerada por diversos autores como debida a procesos de alteración química y/o física (Teruggi & Imbellone, 1983; Etchichury *et al.*, 1997b), así como los mayores porcentajes de esmectitas en la fracción arcilla de los suelos de este sector fueron atribuidos por Iñiguez & Scoppa (1970) y Scoppa (1974; 1976) a procesos de meteorización y neoformación, otros trabajos –como las importantes contribuciones de González Bonorino (1965; 1966)– indican que la menor proporción de vidrio y otros minerales de origen volcánico, así como la menor proporción de minerales pesados, se deben a causas de origen estrictamente sedimentario. Particularmente, una serie de trabajos geopedológicos enlazando evaluaciones de suelo-paisaje con estudios mineralógicos, geoquímicos, paleomagnéticos y polínicos han mostrado la existencia en este sector de dos sedimentos superficiales de litología similar, pero de diferente composición y origen (Morrás & Moretti, 2016): 1) sedimentos con predominancia de aportes volcánicos, aunque como revela la existencia del modelo mineralógico 1, con mayor riqueza de vidrio volcánico y piroxenos en la base de los perfiles; 2) sedimentos característicos de esta área –con escaso vidrio y representados por el modelo mineralógico 2, cuya composición es debida fundamentalmente a aportes de la cuenca del río Paraná.

El análisis de la composición granulométrica de una gran cantidad de perfiles de suelo de la Pam-

pa Norte realizado por Morrás & Cruzate (2000) utilizando la clasificación de Bidart (1992) para sedimentos eólicos, mostró la existencia de varias franjas sucesivas de granulometría más fina hacia el río Paraná (**Fig. 16**). Sobre ese mapa aquí se han superpuesto las líneas demarcatorias de las “zonas mineralógicas”. Se constata que toda la franja proximal al eje fluvial Paraná-de la Plata, en particular donde se encuentran las “zonas mineralógicas” B y C (modelos mineralógicos 1 y 2), coincide con la coexistencia de suelos desarrollados sobre loess típico con otros desarrollados sobre loess arcilloso. En consecuencia, tomando en cuenta los estudios mineralógicos existentes de todas las fracciones granulométricas (arcillas, limos y arenas) y de la mineralogía magnética de perfiles desarrollados sobre cada uno de esos sedimentos (eg. Nabel *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2010) así como el conjunto de resultados sintetizados por Imbellone *et al.* (2010) y por Morrás y Moretti (2016), puede aquí establecerse que suelos de esta franja clasificados como Argiudoles típicos se han desarrollado sobre un loess típico e illítico representado en su fracción arena por el “modelo” mineralógico 1, en tanto Argiudoles vérticos y Vertisoles que caracterizan esta franja se han desarrollado sobre un loess arcilloso y esmectítico cuya composición de la fracción arena responde al “modelo” mineralógico 2.

De acuerdo con una gran diversidad de trabajos realizados particularmente en el área de las ciudades de La Plata y de Buenos Aires, desde el punto de vista estratigráfico los suelos actuales de este sector de la Región Pampeana se habrían desarrollado a partir de los sedimentos más recientes del Pampeano (Fm Buenos Aires) del Pleistoceno tardío y del post-Pampeano (Fm. La Postrema) del Pleistoceno tardío / Holoceno. De acuerdo a las dataciones magnetoestratigráficas todos estos sedimentos integran el cron *Bruhnes*, en tanto las edades obtenidas por termoluminiscencia son inferiores a unos 40 ka (Nabel *et al.*, 1999; 2005; Blasi *et al.*, 2001; Zárate, 2003; Zárate & Orgeira, 2011; Morrás & Moretti, 2016; Torre *et al.*, 2019). El presente trabajo complementa y ratifica los resultados de trabajos precedentes que han puesto en relie-

ve la existencia de dos materiales aflorantes en la Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía, así como en parámetros químicos y físicos asociados a la misma. Estos nuevos resultados mineralógicos sostienen la propuesta realizada por Morrás (2004) y Morrás & Moretti (2008) de diferenciar en la Fm Buenos Aires un miembro Esmectítico, más antiguo y conformado por materiales procedentes del área mesopotámica, de un miembro Illítico más reciente y constituido por materiales provenientes de los Andes y Sierras Pampeanas.

Zona C: A semejanza de la zona B, esta zona, que se extiende desde el río Carcarañá en el sureste de Santa Fe hasta el ángulo noreste de Buenos Aires, está caracterizada por la presencia y yuxtaposición de los “modelos” mineralógicos 1 y 2. Una característica distintiva de todos los suelos de este sector -junto con los de la zona D- es el elevado contenido de micas y el mayor porcentaje total de minerales pesados, por lo cual más precisamente coexisten los modelos 1a y 2a. El contenido de

cuarzo oscila entre 15 y 20%, aunque en algunos perfiles llega al 30% (Fig. 7a). Las plagioclasas también son abundantes. Inversamente los suelos son pobres en vidrio y piroxenos. Sin embargo, los suelos del modelo 1a -que son predominantes- presentan un claro aumento de vidrio y piroxenos en la base de los perfiles, que los diferencia de los suelos del modelo 2a.

Zona D: Esta zona corresponde al extremo noroeste de la Pampa Ondulada Alta (suroeste de Santa Fe) y el sector relacionado de la Depresión del Ao. Tortugas (Córdoba). Integra también el cinturón loésico de la Pampa Norte; desde el punto de vista granulométrico la mayor parte del área está cubierta por loess típico, bordeado hacia el suroeste por una faja de loess arenoso (Fig. 16), y sus suelos zonales son Argiudoles típicos. Los perfiles estudiados en esta zona se reparten en partes equivalentes entre los modelos mineralógicos 1a y 3, los que aparecen yuxtapuestos entre sí. La diferencia principal entre ellos radica en que el

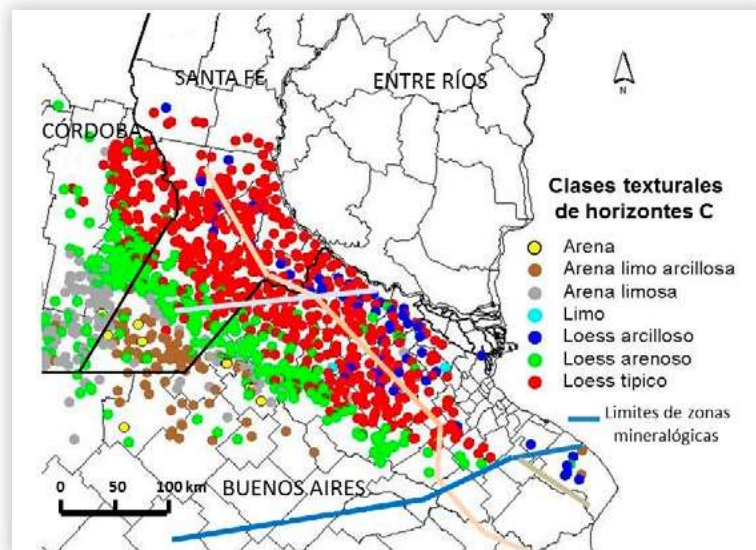


Figura 16. Textura de los horizontes C de suelos de la Pampa Norte según la clasificación de Bidart (1992) para sedimentos eólicos (mapa modificado de Morrás & Cruzate, 2000). Sobre el mapa se trazaron los límites de las “zonas mineralógicas” identificadas en el presente trabajo según los “modelos mineralógicos” de la fracción arena. Se observa que en la franja proximal al eje fluvial coincide la coexistencia de loess típicos y loess arcilloso con la coexistencia de los “modelos mineralógicos” 1 y 2.

Figure 16. Texture of the C horizons of soils of the North Pampa according to the Bidart classification (1992) for eolian sediments (modified from Morrás and Cruzate, 2000). The limits of the “mineralogical zones” identified in the present work have been drawn on the map. In particular, it is observed that the coexistence of typical loess and clayey loess coincides with the coexistence of “mineralogical models” 1 and 2 in the strip proximal to the river axis.

modelo 1a es pobre en vidrio y piroxenos en los horizontes A y Bt, los que aumentan en los horizontes BC-C; contrariamente, el modelo 3 presenta contenidos elevados de vidrio, piroxenos y anfíboles en toda la profundidad de los perfiles. En todos los suelos de esta zona el contenido de micas es relativamente elevado.

Como se presentó en los Resultados y se mostró en las Figs. 6 y 10, al sur de los sectores anteriores y traspasando un límite de sentido este-oeste (**Fig. 15**), se han diferenciado otros tres sectores (E, F, G) en los cuales se presentan los restantes modelos mineralógicos (5, 6, 7, 8, 9 y 10) (**Tablas 3, 4 y 5**). En términos generales todos estos se diferencian de los anteriores modelos y zonas mineralógicas por tener contenidos intermedios de vidrio y plagioclasas, pero superiores de piroxenos y de fragmentos líticos. Además, la distribución vertical de estos componentes es distinta entre los distintos modelos del sector meridional.

Zona E: esta zona mineralógica abarca la mayor parte de la Pampa Ondula Baja, y se caracteriza por su heterogeneidad. Como una continuación de la mineralogía característica de la zona B, se presentan perfiles de los modelos 1b y 2b, pero, de manera específica, esta zona se caracteriza por la presencia del modelo mineralógico 5. Este modelo (**Tabla 3**) -junto con el 8- se diferencia de los restantes por presentar incrementos de vidrio volcánico y piroxenos en la parte media del perfil, en este caso los horizontes A2 y Bt. En consonancia con la marcada heterogeneidad mineralógica vertical, las descripciones de campo de estos perfiles de suelo han identificado varias discontinuidades (**Tabla 3**).

Zona F: esta zona incluye el sector oriental de la Pampa Ondulada Baja, el sector de depósitos marinos y la superficie de abrasión correspondientes a la Pampa Deprimida. En consonancia con los procesos geomorfológicos de estos sectores, la composición de los sedimentos superficiales es muy variada (**Fig. 16**); en la llanura alta continental predominan los depósitos de loess arcilloso, aunque también se encuentran loess arenoso y arena limo arcillosa. En la zona costanera los

ambientes geomorfológicos y depósitos sedimentarios son diversos y la morfología de los suelos más compleja como resultado de las acciones y aportes de las transgresiones marinas (Vargas Gil *et al.*, 1972; INTA, 1977; Imbellone *et al.*, 2010; Imbellone & Mormeneo, 2011). En la zona F, además de un perfil con el modelo 1b, se identificaron tres modelos mineralógicos específicos (6, 7, y 8) (**Tabla 4**) que se encuentran yuxtapuestos entre sí: 1) los modelos 6 y 7-Vertisoles- tienen escaso contenido de vidrio en toda su profundidad, en tanto los piroxenos varían notoriamente en los distintos horizontes; 2) el modelo 8 es un suelo con discontinuidades reconocibles en el campo y característico del sector litoral, presenta en todos los horizontes contenidos altos de piroxenos, pero muy variables de vidrio volcánico. Todos los modelos mineralógicos de esta zona se asemejan entre sí por el escaso contenido de minerales pesados y la ausencia o muy escasa proporción de micas.

Zona G: se localiza al oeste del río Salado, en el sector de Acciones eólicas de la Pampa Deprimida y en la vecina Pampa Arenosa, y se caracteriza por la presencia de dos modelos mineralógicos específicos. El modelo 9 presenta contenidos muy elevados de piroxenos en todo el perfil, y proporciones medias o muy escasas de vidrio volcánico. El modelo 10 presenta incrementos conjuntos de vidrio y piroxenos en los horizontes profundos (BC-C), y en esto se asemeja a los modelos 1 y 4 de la Pampa Ondulada. Todos los suelos de esta zona -además de su riqueza en piroxenos- presentan porcentajes elevados de minerales pesados pero cantidades comparativamente reducidas de anfíboles y casi nulas de micas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se procesaron datos mineralógicos de la fracción arena de todos los horizontes de 67 perfiles de suelo de la Pampa Ondulada y sectores proximales de otras unidades geomorfológicas (Pampa Llana Santafesina, Pampa Deprimida y Pampa Arenosa). Esa información fue complementada con los datos mineralógicos de un conjunto numeroso de muestras de horizontes BC o C

localizados en el sector central del área estudiada. También, en el presente trabajo se analizaron un mayor número de componentes de las fracciones liviana y pesada de la arena que los considerados en un trabajo preliminar (Morrás, 2003), los que fueron seleccionados por su importancia cuantitativa y/o por su carácter diagnóstico de proveniencia. Por otro lado, los perfiles han sido aquí referenciados con las unidades geomorfológicas y con la granulometría de los sedimentos loésicos reconocidos en el área.

En primer lugar, la representación cartográfica de los datos cuantitativos de minerales de la FL y FP de tres horizontes de suelo de cada perfil a distintas profundidades (horizontes A, B y C o BC), ha permitido observar variaciones laterales y delimitar sectores diferenciados en el contenido de esos minerales. La morfología de esas unidades cartográfico-mineralógicas difiere según el mineral y el horizonte de suelo considerados. En consecuencia, este primer análisis permitió establecer una sectorización espacial y poner de relieve la existencia de discontinuidades mineralógicas en el material parental de los suelos, las que se extienden sobre superficies considerables.

Por otro lado, el análisis detallado de todos los horizontes de los perfiles permitió constatar la existencia de diversas combinaciones en la composición mineralógica de la arena. De este modo se identificaron **12 tipos de perfiles o “modelos mineralógicos”**-incluyendo dos variantes- caracterizados por la diferente distribución vertical de minerales mayoritarios y/o significativos por su proveniencia. Algunos de estos “modelos” tienen una distribución geográfica acotada, localizados en ambientes específicos de la región, en tanto otros son más ubicuos y se presentan en distintas zonas. También, este análisis permitió mostrar la yuxtaposición muy cercana de “modelos mineralógicos” muy disímiles entre sí, lo que demuestra la heterogeneidad composicional de los sedimentos loésicos superficiales. Así, el análisis conjunto de las representaciones cartográficas de todos los datos a distintas profundidades y de la distribución y asociación espacial de los “modelos mineralógicos” ha

permitido distinguir **7 zonas mineralógicas** en el área estudiada. Estas zonas identificadas en función de la mineralogía de las arenas aparecen también en parte correlacionadas con otros elementos de diferenciación tales como unidades geomorfológicas, con características litológicas (granulometría de los sedimentos) o con la tipología de suelos.

El presente trabajo confirma los resultados de trabajos precedentes que han puesto en relieve la existencia de dos materiales aflorantes en la Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía y parámetros químicos y físicos asociados. Estos nuevos resultados indican que los Argiudoles típicos se han desarrollado sobre un loess típico e illítico representado en su fracción arena por el “modelo” mineralógico 1 y que se extiende de manera generalizada en el sector occidental de la Pampa Ondulada, (“zonas mineralógicas” A y D). En este caso el cortejo mineralógico estaría conformado sobre todo por contribuciones volcánicas andinas y de rocas ígneas y metamórficas de la Sierras Pampeanas. Por otro lado, en la franja más próxima al eje fluvial Paraná-de la Plata, además de los sedimentos y suelos precedentes, se presentan Argiudoles vérticos y Vertisoles que se han desarrollado sobre un loess arcilloso y esmectítico cuya composición de la fracción arena responde al “modelo” mineralógico 2, en el que se reconoce menor proporción de vidrio volcánico y mayor participación de aportes de fuentes del este. En los suelos vérticos de la franja litoral (“zona” F) la heterogeneidad de los perfiles es mayor, pero también los distintos “modelos” diferenciados se caracterizan por la reducida proporción de vidrio volcánico.

La distribución espacial de los distintos “modelos mineralógicos” permitió diferenciar de norte a sur tres franjas de orientación latitudinal: 1) El sector norte, donde se encuentran las “zonas mineralógicas” C y D, se caracteriza por mayor proporción de micas y anfíboles procedentes de aportes de la Sierras Pampeanas. 2) La franja meridional donde se encuentran las zonas E, F y G se caracteriza por la abundancia de piroxenos y fragmentos líticos, los que encontrarían su origen en aportes volcánicos de fuentes andinas y nor-patagó-

nicas; 3) La franja central de la Pampa Ondulada, correspondiente a las “zonas” A y B, presenta características intermedias o transicionales entre las dos anteriores.

Además de haber podido establecer diferencias composicionales entre los sedimentos loésicos de distintos ambientes de la Pampa Ondulada y zonas proximales, resulta de gran importancia haber puesto de relieve la heterogeneidad mineralógica vertical en casi todos los perfiles de suelo analizados. De este modo queda claro que los horizontes

C no representan exactamente la composición del material parental de los suelos de esta región. Si bien en muchos perfiles examinados no se han reconocido discontinuidades en el campo y aparecen litológicamente homogéneos, en la mineralología de la arena de sus distintos horizontes se han revelado fuertemente heterogéneos. Estos resultados subrayan la necesidad de considerar la variabilidad intrínseca de estos depósitos loésicos, en el estudio de los factores de formación y de los procesos pedogenéticos de los suelos pampeanos.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Bidart, S, 1992. Clasificación de los sedimentos eólicos del Pleistoceno tardío-Holoceno del sur bonaerense. Una propuesta. IV Reunión Argentina de Sedimentología, La Plata. Actas II: pp. 159-166
- 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. Arg.* 59(3): 451-461
- Blanco, M & L Sánchez. 1994. Mineralogía de arenas en sedimentos loésicos del Sudoeste Pampeano, Argentina. *Turrialba* 44 (3): 147-159
- Blasi, A.; M Zárate & R Kemp, 2001. Sedimentación y pedogénesis cuaternaria en el noreste de la Pampa bonaerense: la localidad de Gorina como caso de estudio. *AAS Revista*, 8 (1): 77-92.
- Bloom, A. 1990. Some questions about the Pampean loess. En: Zárate, M (ed.), *Simposio Internacional sobre loess*. Mar del Plata, Argentina. Resúmenes expandidos, pp. 29-31.
- Cappaninni, D & O Domínguez. 1961. Los principales ambientes geoedafológicos de la Provincia de Buenos Aires. *IDIA*, 163: 33-39 y un mapa.
- Cantú, M. 1992. Provincia de Córdoba. En: Iriondo, M (Ed.). *El Holoceno en la Argentina*. CADINQUA (Comité Argentino de Investigación del Cuaternario). V.1, pp.1-16
- Di Paola, E. 1987. Mineralogía de las fracciones de la arena muy fina y limo del río Quinto. Su relación con el loess pampeano, Argentina. *AAS Revista*, 18 (1-4): 17-26
- Durán, A; H Morrás; G Studdert & X Liu. 2011. Distribution, properties, land use and management of Mollisols in South America. *Chin. Geogra. Sci.* 21 (5): 511-530.
- Etchevehere, P. 1961. Bosquejo de regiones geomorfológicas y de drenaje de la República Argentina. *IDIA* 162: 5-26.
- 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, sedimientos fluviales y eólicos actuales del sector austral de la cuenca Chacoparanense. Regionalización y áreas de aporte. *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.* 59 (2): 317-329.
- Fernandez-Turiel J; F Pérez-Torrado; A Rodríguez-González; J Saavedra; J Carracedo; M Rejas; A Lobo; M Osterrieth; J Carrizo; G Esteban; J Gallardo & N Ratto. 2019. The large eruption 4.2 ka cal BP in Cerro Blanco, Central Volcanic Zone, Andes: Insights to the Holocene eruptive deposits in the southern Puna and adjacent regions. *Estudios Geológicos* 75(1): 1-31
- Fidalgo, F; J Riggi; R Gentile; H Correa & N Porro. 1991. Los “sedimentos pospampeanos” continentales en el ámbito sur bonaerense. *Rev.de la Asoc. Geol. Arg.* XLVI (3-4): 239-256.
- Frenguelli, J. 1925. Loess y limos pampeanos. *GAEA Anales de la Sociedad de Estudios Geográficos*. V (1): 1-88. Reimpreso: 1955. Facultad de Cs. Nat. y Museo, UNLP, Serie Técnica y Didáctica, n°7, 88p.

- Gaiero, D. 2007. Dust provenance in Antarctic ice during glacial periods: From where in Southern South America? *Geophys. Res. Lett.* Vol. 34, L17707.
- Gili, S & D Gaiero. 2014. South American dust signature in geological archives of the Southern Hemisphere. *Pages Magazine* 22(2): 78-79.
- Gili, S; D Gaiero; S Goldstein; F Chemale; J Jweda; M Kaplan; R Becchio & E Koester. 2017. Glacial/interglacial changes of Southern Hemisphere wind circulation from the geochemistry of South America dust. *Earth Planet. Sc. Lett.* 469: 98-109.
- 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.
- González Bonorino, F. 1966. Soil clay mineralogy of the Pampa plains, Argentina. *J. Sediment. Petrol.* 36(4): 1026-1035.
- IEIFAG, 1937. Departamento de Química Agrícola y Edafología. Su organización y labor. Instituto de Experimentación, Investigación y Fomento Agrícola-Ganadero. Santa Fe. (Argentina). 89 pp.
- Imbellone, P & M Camilión. 1988. Characterization of the buried tephra layer in soils in Argentina. *Pédologie*, XXXVIII (2): 155-171.
- Imbellone, P & M Teruggi. 1993. Paleosols in loess deposits of the Argentine Pampas. *Quat. Int.* 17: 49-55
- 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.
- Imbellone, P; J Giménez & J Panigatti. 2010. Suelos de la Región Pampeana. Procesos de Formación. Ediciones INTA, Buenos Aires, 288pp.
- Imbellone, P & L Mormeneo. 2011. Vertisoles hidromórficos de la planicie costera del Río de la Plata, Argentina. *Cienc. Suelo* 29(2): 107-127.
- Iniñiguez, A & C Scoppa. 1970. Los minerales de arcilla en los suelos "zonales" ubicados entre los ríos Paraná y Salado (Provincia de Buenos Aires). *RIA (Serie 3, Clima y Suelo)* VII (1): 1-41
- INTA, 1977. La Pampa Deprimida. Condiciones de drenaje de sus suelos. INTA-CNIA, Departamento de Suelos, Publicación N° 154, 166 p. y mapas
- Iriondo, M. 1987. Geomorfología y Cuaternario de la Provincia de Santa Fe. *D'Orbignyana* 4: 1-54
- Iriondo, M. 1990. Map of the South American plains – Its present state. *Quat. S. Am. A.* 7: 197-218
- Iriondo, M. 1994. Los climas cuaternarios de la Región Pampeana. *Com. Mus. Prov. Cs. Naturales Florentino Ameghino (Nueva Serie)* Vol.4, n° 2, 48 p.
- Iriondo, M. 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. *J. South America Earth Sci.* 10(1): 71-79.
- Iriondo, M. 2010. Geología del Cuaternario en Argentina. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, Santa Fe. 437 p.
- Iriondo, M & D Kröhling. 1995. El sistema eólico pampeano. *Com. Mus. Prov. Cs. Naturales Florentino Ameghino (Nueva Serie)* 5(1), 49 p. y figuras.
- Iriondo, M & D Kröhling. 1996. Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario Superior). XIII Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires. Actas IV: pp. 27-48.
- Iriondo, M & D Kröhling. 2007. Geomorfología y sedimentología de la cuenca superior del Río Salado (sur de Santa Fe y Noroeste de Buenos Aires, Argentina). *Latin Am. Jour. of Sed. and Basin Anal.* 14(1): 1-24.
- Kröhling, D. 1999. Sedimentological maps of the typical loessic units in North Pampa. *Quat. Int.* 62: 49-56
- Kröhling, D. 2000. Mineralogía del loess de la Pampa Norte (Formación Tezanos Pinto, Pleistoceno Tardío - Holoceno Inferior), Argentina. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología y VIII Reunión Argentina de Sedimentología, Mar del Plata. Resúmenes: pp. 95-96
- Kröhling, D & O Orfeo. 2002. Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío – Holoceno) del centro-sur de Santa Fe. *Latin Am. Jour. of Sed. and Basin Anal.* 9(2): 135-154.
- Larrea, G. 2019. Disponibilidad y variabilidad espacial de calcio, magnesio y potasio en suelos agrícolas y prístinos de la Región Pampeana. Tesis M. Sc., Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, 66p.

Modelos composicionales y áreas de distribución de los aportes volcánicos en los suelos de la Pampa Norte (Argentina)

- 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.
- Mazzoni, M. 1997. La sedimentación de polvos en la provincia de Buenos Aires. Agosto de 1997. Asociación Argentina de Sedimentología, Primer Taller sobre Sedimentología y Medio Ambiente, Buenos Aires. Resúmenes: pp. 37-38.
- Morrás, H. 1996. Diferenciación de los sedimentos superficiales de la Región Pampeana en base a los contenidos de fósforo y de potasio. VI Reunión Argentina de Sedimentología, Bahía Blanca, Actas: pp. 37-42.
- 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. 1999. Geochemical differentiation of Quaternary sediments from the Pampean region based on soil phosphorous contents as detected in the early 20th century. *Quat. Int.* 62: 57-67.
- 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. 2004. Un nuevo esquema de sedimentación y evolución de los sedimentos loésicos superficiales en el sur de la Pampa Ondulada en base a criterios mineralógicos y geoquímicos. X Reunión Argentina de Sedimentología. San Luis. Actas: pp. 108-109
- 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. 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. *Cienc. Suelo* 3 (1-2): 140-151
- Morrás, H & G Cruzate. 2000. Clasificación textural y distribución espacial del material originario de los suelos de la Pampa Norte. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Actas (editado en CD).
- Morrás, H & G Cruzate. 2002. Origen y distribución del potasio en suelos y sedimentos superficiales de la región Chaco-pampeana. En: Melgar, R; Magen & R Lavado (Eds.). El potasio en sistemas agrícolas argentinos. Pp. 35-42. INTA-IPI, Buenos Aires.
- Morrás, H & L Moretti. 2008. ¿Un miembro "esmectítico" de la Formación Buenos Aires en la Pampa Ondulada? XII Reunión Argentina de Sedimentología, Buenos Aires. Actas: p.121.
- 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.
- Moscatelli, G & J Salazar Lea Plaza. 1994. Mapa geomorfológico de la Pampa Arenosa. INTA-CIRN, Instituto de Suelos, 14 p.
- 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.
- Nabel, P; H Morrás & M Sapoznik. 2005. Magnetoestratigrafía de sedimentos cenozoicos en el oeste del Gran Buenos Aires. *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.* 60 (2): 383-388.
- Pereyra, F. 2003. Ecorregiones de la Argentina. SEGEMAR, Servicio Geológico Minero, Anales 37, 182 p. Buenos Aires.
- Pereyra, F & J Ferrer. 1997. El material originario de los Molisoles de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Cienc. Suelo* 15(2): 87-94
- 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.
- Pye, K. 1987. Aeolian dust and dust deposits. Academic Press, London, 334 p.
- Riggi, J; F Fidalgo; O Martínez & N Porro. 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el partido de La Plata. *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.* XLI (3-4): 316-333.
- Remiro, J. 1966-1968. Informes de los Análisis Mineralógicos solicitados por el Instituto de Suelos y Agrotecnia-INTA. Museo de Cs. Nat. B. Rivadavia, Buenos Aires Tablas de datos cuantitativos y descripción cualitativa de minerales de la fracción arena. (Cuatro informes, dactilografiados, sin paginación; sin fecha precisa). Fuente documental: INTA-CIRN, Instituto de Suelos, Hurlingham, Pcia. de Buenos Aires.

- Rubio, G., Pereyra, F. y Taboada, M. 2019. Soils of the Pampean Region. En: Rubio, G; R Lavado & F Pereyra (eds.). The soils of Argentina. pnp.81-100. World Soils Book Series, Springer.
- SAGyP-INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (Escala 1:500.000), Buenos Aires, 544 p.
- SAGyP-INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina, (Escala 1:500.000 y 1:1.000.000). Buenos Aires, Tomo I: 731 p., Tomo II: 677 p.
- Sayago, J. 1995. The Argentine neotropical loess; an overview. *Quat. Sci. Rev.* 14: 755-766.
- Sayago, J; M Collantes; A Karlson & J Sanabria. 2001. Genesis and distribution of the Late Pleistocene and Holocene loess of Argentina: a regional approximation. *Quat. Int.* 76/77: 247-257.
- 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.
- Scoppa, C & J Vargas Gil. 1969. Delimitación de sub-zonas geomorfológicas en un sector de la Región Pampeana y sus relaciones edafogenéticas. V Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Santa Fe. Actas: pp. 424-433.
- Teruggi, M. 1954. El material volcánico-piroclástico en la sedimentación cuaternaria argentina. *Rev.de la Asoc. Geol. Arg.*, IX (2): 184-191.
- Teruggi, M. 1955. En: Frenguelli, J., Loess y limos pampeanos. Apéndice. Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata. Serie Técnica y Didáctica, n°7, 88 p.
- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of Argentine loess. *J. Sediment. Petrol.* 27: 322-332.
- 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.
- Teruggi, M & P Imbellone. 1987. Paleosuelos loésicos superpuestos en el Pleistoceno Superior-Holoceno en la región de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Cienc. Suelo*, 5(2): 175-188.
- Torre, G; D Gaiero; A Oliveira Sawakuchi; I del Río & R Coppo. 2019. Revisiting the chronology and environmental conditions for the accretion of late Pleistocene-early Holocene Pampean loess (Argentina). *Quaternary Sci. Rev.* 213: 105-119.
- Vargas Gil, J; C Scoppa & A Iñiguez. 1972. Génesis de los suelos de la región norte de la Bahía Sanborombón. *RIA (Serie 3, Clima y Agua)* IX (1): 29-52.
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quat. Sci. Rev.* 22: 1987-2006.
- Zárate, M. 2005. El Cenozoico Tardío continental de la Provincia de Buenos Aires. En: de Barrio, R; R Etcherry; M Caballé & E Llambías (eds.). Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, pp. 139-158.
- Zárate, M. 2007. Loess records / South America. Encyclopedia of Quaternary Science, Elsevier, pp. 1466-1479.
- 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.
- Zarate, M & M Orgeira. 2011. Sedimentación y edades magnéticas del Cenozoico tardío continental de Argentina. Escenarios de cambio ambiental: registros del Cuaternario en América Latina. Capítulo XXX. Pp. 271-296. Editorial UNAM, México.