

Suelos y Vulcanismo Argentina

Editores

Perla A. Imbellone

Oswaldo A. Barbosa



60 años
AACCS
1960 - 2020
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

60 años cuidando nuestros suelos



www.suelos.org.ar



aacs@suelos.org.ar



[aacsuelo](https://twitter.com/aacsuelo)



[AACS.Suelos](https://www.facebook.com/AACS.Suelos)



[aacs.suelos/](https://www.instagram.com/aacs.suelos/)

Suelos y vulcanismo: Argentina / Adriana Mehl ... [et al.]; editado por Perla Imbellone; Osvaldo Andrés Barbosa.- 1a ed.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo -AACCS, 2020. Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-46870-2-9

1. Suelos. I. Mehl, Adriana. II. Imbellone, Perla, ed. III. Barbosa, Osvaldo Andrés, ed.

CDD 551.21

Diseño y diagramación de Tapa e interior
Graciela Lucia Einschlag

ISBN 978-987-46870-2-9



Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, archivada o transmitida en forma total ni parcial, sea por medios electrónicos, mecánicos, fotocopiado o grabado, sin el permiso previo de los editores que deberá solicitarse por escrito.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723
Impreso en Argentina. Printed in Argentina

Dedicatoria

“Suelos y Vulcanismo, Argentina” está dedicado a la memoria del Ingeniero Agrónomo José Luís Panigatti quien bregó por su concreción durante largos años. Entendía que es una temática importante para la Ciencia del Suelo de nuestro país, donde la mayoría de sus suelos están influenciados por aportes volcánicos.

Contenido

	Crónica del Padre Bernardo Havestadt (1752) por la “Pire Vutan Mapu” de los Pehuenches	
	Jorge A. Irisarri	VII
	Prólogo Institucional	
	Guillermo A. Studdert	IX-XI
	Prólogo	
	Marcelo A. Zárate	XI-XIII
1	El vulcanismo <i>Vulcanism</i>	
	Emilia Y. Aguilera	1-32
2	Características y clasificación de suelos volcánicos <i>Characteristics and classification of volcanic soils</i>	
	Jorge E. Giménez	33-70
3	Materiales parentales de los suelos de la Llanura Pampeana: el aporte volcánico andino <i>Parent materials of Pampean Plain soils: the Andean volcanic source</i>	
	Marcelo A. Zárate - Adriana Mehl	71-88
4	La ceniza del volcán Quizapú en los suelos de San Luis <i>The ash of the Quizapú volcano in the soils of San Luis province. Argentina</i>	
	Carlos A. Peña Zubiate - Edgardo N. Strasser - Osvaldo A. Barbosa.....	89-126
5	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 <i>Compositional models and distribution areas of volcanic contributions in soils of the Northern Pampa (Argentina) based on sand mineralogy</i>	
	Héctor J. M. Morrás	127-168
6	El material parental de los suelos de la Región Pampeana en base a la mineralogía de arenas. Aplicaciones a la interpretación de procesos pedológicos <i>The soils parent material in the Pampean Region based on sand mineralogy. Applications to the interpretation of pedological processes</i>	
	Héctor J. M. Morrás	169-184
7	Material piroclástico en suelos de la Región Pampeana Argentina y sus efectos sobre propiedades físico-químicas <i>Pyroclastic material in soils of the Pampean Region Argentina and its effects in the physicochemical properties</i>	
	Antonella A. Iturri - Julián J. Isasti - Daniel E. Buschiazzo	185-202
8	Mineralogía de arenas en Andisoles. Provincias del Neuquén y Río Negro. Patagonia. Argentina <i>Sand mineralogy in some Andisols of the provinces of Neuquén and Río Negro. Patagonia. Argentina</i>	
	Alicia Apcarian	203-232
9	La herencia volcánica en los suelos. Provincia del Neuquén. Argentina <i>Volcanic heritage in soils of Neuquén province. Argentina</i>	
	Perla A. Imbellone	233-290

10	La erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (2011) y su efecto sobre los suelos de Patagonia Norte <i>Effect of Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption (2011) on North Patagonia soils</i> Nicolás A. Ferreiro - Marina Gonzalez Polo - Patricia S. Satti - María J. Mazzarino	291-306
11	Los suelos derivados de ceniza volcánica de la provincia del Neuquén, Argentina <i>Volcanic ash soils in Neuquén province, Argentina</i> María C. Frugoni - Gabriel Falbo - Romina González Musso	307-332
12	Suelos volcánicos de la provincia del Chubut <i>Volcanic soils of Chubut province, Patagonia, Argentina</i> Ludmila A. La Manna - Carlos G. Buduba - Jorge A. Irisarri	333-360
13	El suelo y el bosque en la Región Andino Patagonia <i>Soil and forests of the Patagonian Andean Region</i> Carlos G. Buduba - Ludmila A. La Manna - Jorge A. Irisarri	361-390

Material piroclástico en suelos de la Región Pampeana Argentina y sus efectos sobre propiedades físico-químicas

Laura A. Iturri^{1-2-3*} - Julián J. Isasti¹⁻² - Daniel E. Buschiazzo¹⁻²

¹ Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCITAP, CONICET-UNLPam), cc 186, 6300, Santa Rosa, Argentina.

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), 6300, Santa Rosa, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), 6300, Santa Rosa, Argentina.

Autor de contacto: antonelaiturri@conicet.gov.ar - antonelaiturri@hotmail.com

Resumen

Los suelos de la Región Pampeana de Argentina se desarrollan sobre sedimentos loésicos con un cierto contenido de material piroclástico. Debido a una sedimentación diferencial de la ceniza volcánica en dirección oeste a este, los suelos de ambientes más secos se encuentran más enriquecidos en estos materiales que los de ambientes más húmedos, siendo la mineralogía de la fracción arcilla de los sedimentos loésicos, aunque predominantemente illítica, heterogénea. Por un lado, los suelos de ambientes secos de la Región Pampeana, Haplustoles y algunos Hapludoles, enriquecidos en vidrio volcánico, registran alteraciones por pedogénesis de su vidrio volcánico, pero no de sus illitas. El vidrio volcánico se habría transformado en esmectitas poco cristalizadas, en virtud de los resultados alcanzados a partir de observaciones en el microscopio petrográfico de la fracción limo grueso, donde se observaron vidrios volcánicos con evidencias de degradación parcial y total. Por otro lado, los suelos húmedos de la Región Pampeana, Argiudoles y algunos Hapludoles, habrían registrado transformaciones de sus illitas litogénicas, acumuladas en fracciones limo grueso, en illitas de menor tamaño acumuladas en arcillas y también en limo más fino. Así, varias propiedades físico-químicas de los 20 cm superficiales de estos suelos, resultan estar en parte determinadas por los procesos pedogenéticos particulares que ocurren en cada uno, en relación con las proporciones variables de vidrio volcánico y su transformación en minerales de arcilla. La mineralogía diferencial de estos suelos determina su relativamente elevada capacidad de intercambio catiónico y superficie específica, con la consecuente contribución positiva a la adsorción de P y la capacidad *buffer*; explicadas por la composición de los minerales de arcilla en los más secos, mientras que, por su abundante cantidad, en los húmedos.

Palabras clave

Vidrio volcánico; mineralogía; capacidad de intercambio catiónico; adsorción de P; capacidad *buffer*; ústico / údico.

Pyroclastic material in soils of the Pampean Region Argentina and its effects in the physicochemical properties

Abstract

The soils of the Pampean Region of Argentina develop in loessial sediments with a certain content of pyroclastic material. Due to a differential sedimentation of the volcanic ash in west-to-east direction, the soils of drier environments are more enriched in these materials than those of more humid environments, and the mineralogy of the clay fraction of the loessial sediments is heterogeneous,

although it is predominantly illitic. On the one hand, the soils of dry environments of the Pampean Region, Haplustolls and some Hapludolls, enriched in volcanic glass, exhibit alterations due to pedogenesis of its volcanic glass but not of its illites. The volcanic glass would have been transformed into poorly crystallized smectites, as it could be seen by observations at the petrographic microscope where partial or total altered volcanic glasses accumulated in the coarse silt fraction were found. On the other hand, the humid soils of the Pampean region, Argiudolls and some Hapludolls, would have undergone transformations of their lithogenic illites accumulated in coarse fractions, into finer illites accumulated in clays and also in silts. Thus, several physicochemical properties of these soils are partly determined by the particular pedogenetic processes that occur in each one, in relation to the variable proportions of volcanic glass and its transformation into clay minerals. The differential mineralogy of these soils determines their relatively high cation exchange capacity and specific surface, with the consequent positive contribution to the adsorption of P and buffer capacity, explained by the composition of clay minerals in the driest soils, and by its abundant quantity in the humid ones. Specifically, the smectitic minerals of the Haplustolls, apparently derived from the weathering of the pyroclastic materials, have a higher proportion of negative charges plus a larger specific surface than illites of humid soils. As a consequence, the greater acid-neutralizing capacity of the driest soils than that of the illitic minerals of Hapludolls and Argiudolls, as well as the phosphorous adsorption, results from the weathering of volcanic glass into amorphous oxides of Al and Fe, mainly in the subsurface horizons of the soils of drier environments.

Key words

Volcanic glass; soil mineralogy; cation exchange capacity; P sorption; buffer capacity; ustic / udic.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los suelos de la región semiárida y árida de Argentina se desarrollan sobre sedimentos loésicos del Pleistoceno y del Holoceno y, debido a su relativo alto contenido de vidrio volcánico, el material parental fue denominado como eolocineritas (Tricart & Cailleux, 1967). Estos materiales poseen predominancia de illitas en su fracción arcilla (Buschiazzo, 1988; Zárate, 2003) con cantidades variables de vidrio volcánico producto de las erupciones frecuentes ocurridas durante el Pleistoceno y el Holoceno (Teruggi, 1957). Uno de los eventos ocurrió en 1932 cuando el volcán Quizapú situado en la cordillera de los Andes, sedimentó una capa de ceniza de 10 cm de espesor, 1000 km de longitud y 30 a 50 km de ancho, en dirección oeste-este en la Pampa Árida y Semiárida (Larson, 1936). Así, fuera de la zona cordillerana, los contenidos más altos de vidrio volcánico, entre 10 y 30% de acuerdo con un estudio de Camilión & Imbellone (1984) y de 3 a 13% según Buschiazzo *et al.* (1998), se encuentran actualmente en los suelos de la Pampa Semiárida Central. La sedimentación diferencial de materiales eólicos transportados

por vientos de distintas velocidades y depositando cantidades variables de minerales de variadas densidades a desiguales profundidades (Buschiazzo & Taylor, 1993), generó que la mineralogía del material parental de estos suelos sea cualitativa- pero no cuantitativamente homogénea. Por ello, la mineralogía del horizonte C de estos suelos no está precisamente relacionada con la del horizonte A (Buschiazzo, 1988). Es conocido que la presencia de material piroclástico puede modificar varias propiedades físicas y químicas de los suelos afectando su productividad (Jahn 1988; Wada, 1977). En trabajos de Hepper *et al.* (2006) e Iturri & Buschiazzo (2014) se encontró que la presencia de vidrio volcánico condicionaba la mineralogía, superficie específica y la capacidad de intercambio catiónico de suelos de la Región Pampeana. Asimismo, en Buschiazzo *et al.* (1998) y trabajos siguientes, se halló que los materiales provenientes de la meteorización de la ceniza volcánica contribuirían a la retención de fósforo en suelos del sudoeste de la Región Pampeana. Recientemente, en Iturri (2015) y trabajos derivados, se encontró que la presencia de vidrio volcánico condicionaría la mineralogía de los horizontes superficiales (0-20 cm) de suelos de la Región Semiá-

rida Central de Argentina, determinando su elevada capacidad *buffer*.

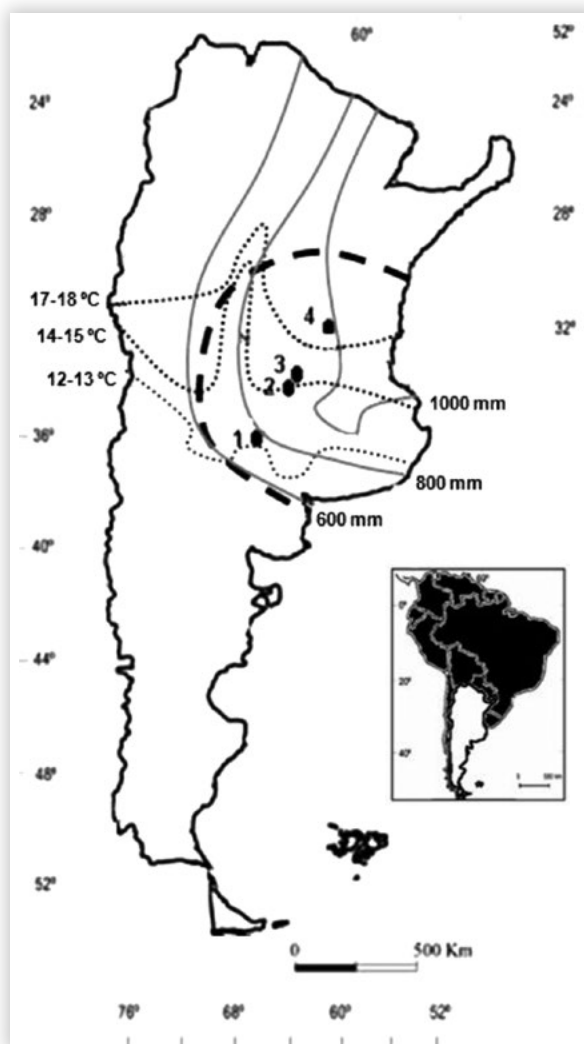
En virtud de lo mencionado, en el presente capítulo se intenta explicar, a través de resultados alcanzados en diversas investigaciones sobre suelos áridos y semiáridos de la Región Pampeana, el efecto del material piroclástico en algunas de sus propiedades físico-químicas. Para ello, en primer lugar, se documenta la presencia de vidrio volcánico en la fracción limo grueso, que contiene los materiales litogénicos, de suelos de la Pampa Semiárida y su menor abundancia en los de la Pampa Húmeda. A continuación, se muestran evidencias de cambios registrados en la composición mineralógica de los minerales de arcilla debido a la transformación del vidrio volcánico en especies minerales densamente cargadas como las esmectitas y los interestratificados illita-esmectita. Luego, se presentan los efectos que dicha composición mineralógica diferencial tiene sobre la capacidad de intercambio catiónico, la superficie específica, la adsorción de P y su contribución a la capacidad *buffer* de los suelos agrícolas. Por último, se presentan las principales conclusiones alcanzadas, así como las posibles futuras líneas de investigación que resultan de los nuevos interrogantes generados.

MATERIAL PIROCLÁSTICO EN SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

Los suelos de la Región Pampeana contienen proporciones variables de material piroclástico (Imbellone & Camilión, 1984; Buschiazzo *et al.*, 1998), debido a la sedimentación diferencial por vientos de distintas intensidades. La fracción limo grueso, partículas minerales con un diámetro medio comprendido entre 20 a 50 μm , contiene los minerales litogénicos, es decir, aquellos provenientes del material parental. En tal sentido, se estudiaron los primeros 20 cm de los suelos de la región, pertenecientes al Orden Molisol específicamente de los Grandes Grupos Haplustol (1. Haplustol éntico), Hapludol (2 y 3, respectivamente, Hapludol típico I y II)

y Argiudol (4. Argiudol típico). Estos suelos se desarrollan sobre un amplio intervalo de condiciones climáticas, de regímenes de precipitaciones que varían del semiárido al húmedo y de régimen de temperatura térmico (**Fig. 1**).

La secuencia de horizontes es A-AC-C-ck en el Haplustol éntico 1, A-AC-C en los Haplu-



La línea cortada indica la región de estudio. Las líneas punteadas y continuas indican, respectivamente, las isotermas e isohietas para la región. Adaptado de Iturri & Buschiazzo (2014).

The dashed line indicates the studied region. The dotted and continuous lines indicate respectively, the isotherms and isohyets. Adapted from Iturri & Buschiazzo (2014).

Figura 1. Representación del área de estudio, indicando los cuatro suelos estudiados: 1. Haplustol éntico, 2. Hapludol típico I, 3. Hapludol típico II y 4. Argiudol típico.

Figura 1. Studied area indicating the four studied soils: 1. Entic Haplustoll, 2. Typic Hapludoll I, 3. Typic Hapludoll II and 4. Typic Argiudoll.

doles típicos 1 y 2 y A-AB-Bt-BC-C-Ck en el Argiudol típico 4. Todos los suelos se ubican en condiciones topográficas comparables y su textura varía de franco arenoso (suelos 1, 2 y 3) a franco (suelo 4). La **Tabla 1** muestra las principales características de los primeros 20 cm de estos suelos.

De los resultados presentados en la **Fig. 2**, se observa que los suelos de la Pampa Semiárida (Haplustol éntico y Hapludol típico I) están enriquecidos en vidrio volcánico, dado que su fracción limo grueso (20-50 μm) contiene abundancia de cuarzo y vidrio volcánico. Sin embargo, la misma fracción mineral de suelos de la Pampa Húmeda (Hapludol típico II y el Argiudol típico) contiene solamente cuarzo sin evidencias de vidrio volcánico.

Para el caso de los suelos de la Pampa Húmeda estudiados, resulta aún un interrogante si los vidrios volcánicos estaban originalmente presentes, y actualmente no se detectan debido a su completa meteorización bajo las condiciones más húmedas de la región, o bien, si las deposiciones no los han alcanzado. Por un lado, ha sido documentado que el contenido de vidrio volcánico en los materiales parentales de los suelos de la Pampa Húmeda es relativamente bajo (Larsson, 1936; Teruggi, 1957; Imbellone & Camilión, 1993; Hepper *et al.*,

2006). Imbellone & Teruggi (1993) encontraron contenidos de vidrio volcánico del 19% en horizontes C (33-43 cm) y 21,3% en 2C (135-194cm), mientras que Zárata & Blasi (1993) demostraron que la composición mineralógica de estos suelos está caracterizada por la abundancia de estos materiales. Por otro lado, no obstante las numerosas evidencias de que la mayoría de los minerales se originaron en los Andes, Morrás (1999) sugiere que ha habido una contribución de materiales desde otras fuentes y que estos serían los sedimentos que actúan como materiales constitutivos de los horizontes superficiales en los Argiudoles y algunos Hapludoles del norte de la Región Pampeana, reforzando la evidencia encontrada acerca de la ausencia de vidrio volcánico en el material parental de los suelos estudiados.

Contribución del material piroclástico a la composición mineralógica de los suelos de la Región Pampeana

Abundante proporción de vidrio volcánico se detectó en los primeros 20 cm de dos suelos: Haplustol éntico y Hapludol típico I. En la **Fig. 3a, b y c** se muestran dos ejemplares de estos materiales, representativos de la mayoría de los encontrados en la muestra, los cuales están tanto parcial y totalmente meteorizados, con numerosas estructuras

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los 20 primeros centímetros de los suelos estudiados. Adaptada de Iturri (2015).

Table 1. Physico-chemical properties of the uppermost 20 cm of the studied soils. Adapted from Iturri (2015).

Suelo	Ubicación geográfica	Granulometría			pH		MO (%)	CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	CaCO ₃ (%)	Alo	Feo	Mno	Alos	Mnos	Feos
		Arcilla	Limo	Arena	pH _w	pH _{KCl}									
1.Haplustol éntico	S 36°30' O 64°00'	12	23	64	6,5	5,1	2,5	19,3	1,2	1282	1903	179	4881	20254	19741
2.Hapludol típico I	S 34°51' O 62°45'	13	23	65	6,5	5,2	2,8	17,3	0,4	174	20	324	2120	465	208
3.Hapludol típico II	S 32°10' O 61°49'	17	34	49	6,2	5,0	2,2	24,0	0,1	1042	1464	440	5806	2500	27422
4. Argiudol típico	S 26°49' O 64°51'	21	33	46	5,6	4,7	5,3	18,0	1,0	1817	2780	491	7598	731	19025

MO: materia orgánica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; CaCO₃: carbonato de calcio; Alo: aluminio de óxidos amorfos; Feo: hierro de óxidos amorfos; Alos: aluminio de óxidos cristalinos; Feos: hierro de óxidos cristalinos.

MO: organic matter; CIC: cation exchange capacity; CaCO₃: calcium carbonate; Alo: amorphous oxide aluminum; Feo: amorphous oxide iron; Alos: crystalline oxide aluminum; Feos: crystalline oxide iron.

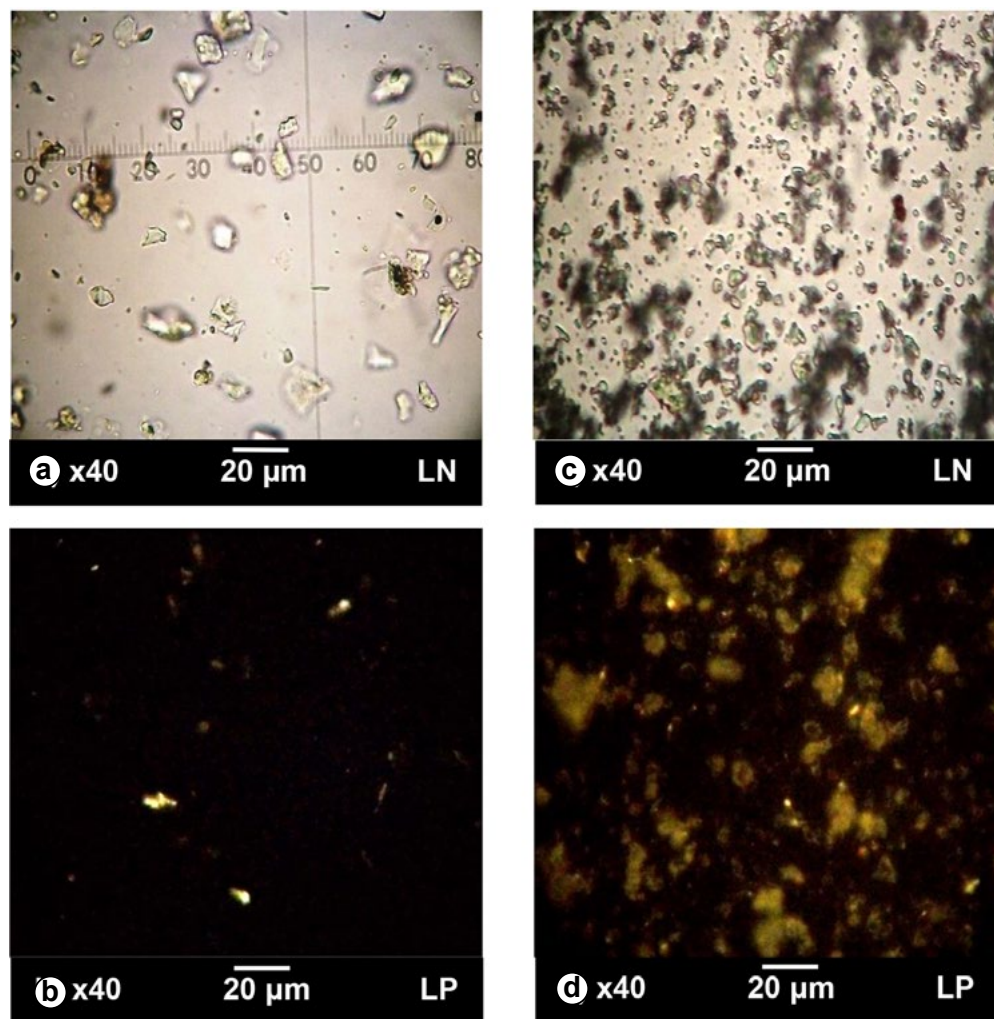


Figura 2. Vista general de la composición mineral de la fracción limo grueso (20- 50 μm) de los primeros 20 cm de un suelo enriquecido en vidrio volcánico (Haplustol éntico), a) cuarzo y vidrio volcánico observados con luz normal (LN) y b) luz polarizada (LP); y de un suelo sin evidencias de vidrio volcánico (Hapludol típico II) con c) abundancia de granos de cuarzo observados con LN, d) LP. Adaptado de Iturri & Buschiazzo (2014).

Figure 2. Overview of the mineral composition of the coarse silt fraction ($20 \leq \varnothing \leq 50 \mu\text{m}$) of the uppermost 20 cm of a volcanic glass-rich soil (Entic Haplustoll) with a) quartz and volcanic glass observed in natural light (LN) b) polarized light (LP), and a soil without evidences of volcanic glass (Typic Hapludoll II), c) abundant quartz grains observed in LN, d) LP. Adapted from Iturri & Buschiazzo (2014).

vesiculares de diferentes tamaños y distinto grado de degradación de sus bordes.

En la **Fig. 3** se observa que algunos granos están unidos entre sí, posiblemente por mecanismos físicos, determinando espacios intergranulares para la deposición de materiales coloidales, como puede observarse en la alterita adherida a un grano de cuarzo de la **Fig. 3d**.

Si bien las observaciones con microscopio petrográfico no permiten la detección de minerales illíticos,

estos se identificaron a través de análisis de difracción de rayos X (**Tabla 2**). Mediante su valoración semicuantitativa en la fracción limo de los primeros 20 cm de todos los suelos, se confirmó la presencia de illita hasta tamaño limo grueso y su carácter litogénico.

Los contenidos de illita de la fracción limo, entre 75 y 95%, fueron mayores en el Hapludol típico II y en el Argiudol típico donde el vidrio volcánico no fue detectado, que en el Haplustol éntico y en el Hapludol típico I, enriquecidos en vidrio volcánico,

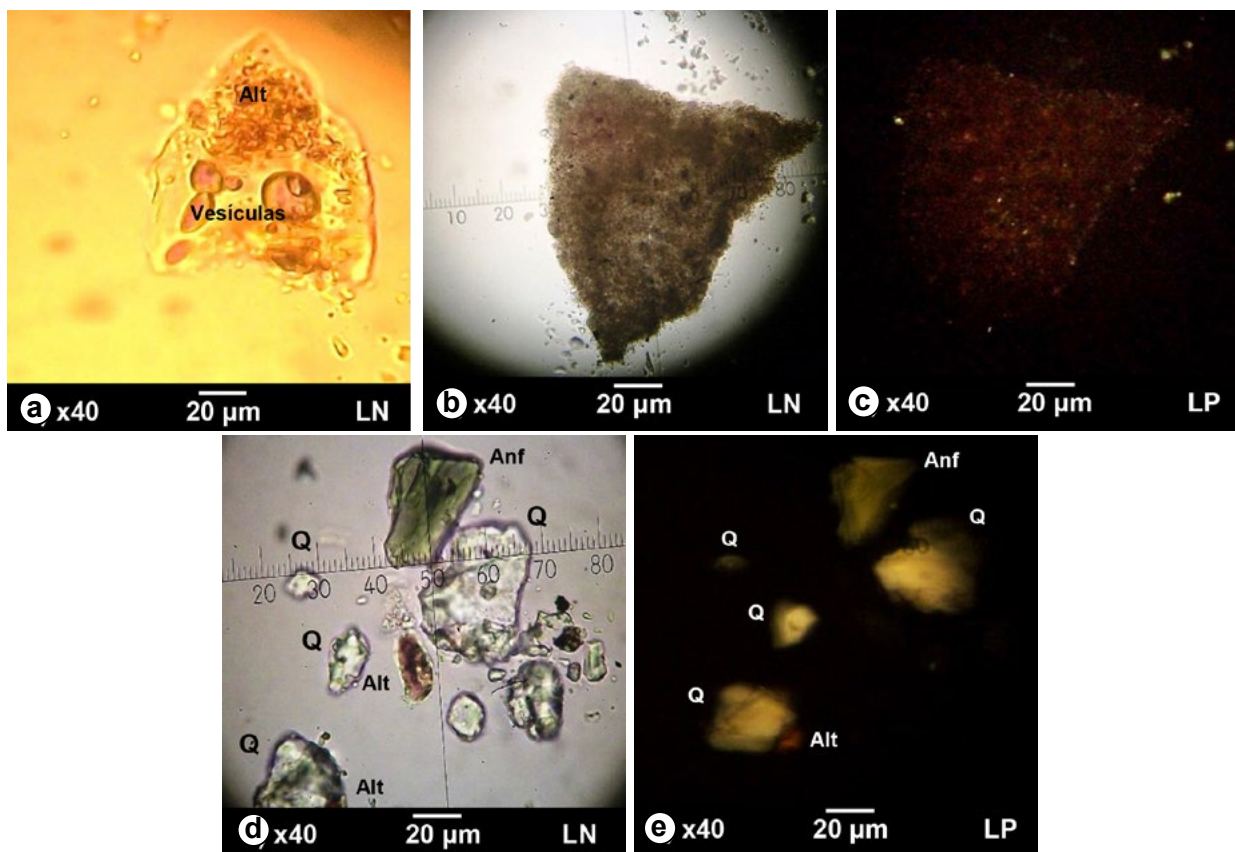


Figura 3. Vista detallada de la composición mineral de la fracción limo grueso ($20-50 \mu\text{m}$, de los primeros 20 cm del Haplustol éntico, enriquecido en vidrio volcánico, a) vidrio volcánico vesicular parcialmente alterado en su parte interna superior (luz natural, LN); del Hapludol típico I, enriquecido en vidrio volcánico con b) un vidrio altamente meteorizado observado a la LN y c) luz polarizada (LP); del Argiudol típico, sin vidrio volcánico d) granos de cuarzo inalterados observados a la LN, e) LP. Q: cuarzo; Alt: alterita; Anf: anfíbol. Adaptado de Iturri & Buschiazzo (2014).

Figure 3. Detailed view of the mineral composition of the coarse silt fraction ($20 \leq \varnothing \leq 50 \mu\text{m}$) of the uppermost 20 cm of the Entic Haplustoll enriched in volcanic glass, a) a vesicular volcanic glass partially altered in its inner upper part (natural light, LN), of the Typic Hapludoll I, enriched in volcanic glass, b) a highly weathered glass observed in LN and c) polarized light (LP), and of the Typic Argiudoll, without volcanic glass detected, d) unaltered quartz grains observed in LN, e) LP. Q: quartz; Alt: alterite; Anf: amphibole. Adapted from Iturri & Buschiazzo (2014).

cuyos contenidos de illita oscilaron entre 60 y 80%. La menor cantidad de illitas detectadas en los limos del Haplustol y el Hapludol enriquecidos en vidrio volcánico podría estar asociada con la mayor proporción de materiales piroclásticos en estos suelos.

La fracción arcilla de todos los suelos contiene illitas y esmectitas pobremente cristalizadas (Tabla 2). La proporción de esmectitas, de un 10%, es mayor en el Haplustol éntico enriquecido en vidrio que en el Argiudol típico, libre de vidrio volcánico, cuyo contenido es del 5%, mientras que lo opuesto ocurrió con las illitas, con contenidos del 40% y 65%, respec-

tivamente. La mayor proporción de esmectitas en los suelos enriquecidos en vidrio volcánico pudo haber sido producida por su meteorización, dado que como señalan varios autores (Vidales *et al.*, 1985; Prudêncio *et al.*, 2002; Georgoulis & Moustakas, 2010), las cenizas volcánicas se transforman en óxidos amorfos en muchos suelos. Esto no parece haber ocurrido en el Haplustol y el Hapludol enriquecidos en vidrio volcánico, dado que los cocientes $\text{Al}_0:\text{Al}_3$ y $\text{Fe}_0:\text{Fe}_3$, índices de las cantidades relativas de óxidos amorfos en relación al contenido de óxidos cristalinos de aluminio y hierro, no fueron diferentes ($p > 0,05$) a los del

Tabla 2. Contenidos relativos (% respecto de la fracción arcilla total) y cristalinidad (C) de los minerales de arcilla en fracciones granulométricas (a: arcilla, partículas con diámetro inferior a 2 μm , y LF, LM y LG: limo fino, medio y grueso, partículas con diámetros entre 2 a 10 μm , 10 a 20 y 20 a 50 μm respectivamente) del horizonte superficial. A los suelos estudiados. Extraído de Iturri & Buschiazzo, 2014.

Table 2. Relative contents (% regarding the clay fraction) and crystallinity (C) of clay minerals accumulated in the granulometric fractions (a: clay, particles with a diameter finer than 2 μm) LF, LM y LG: fine, medium and coarse silt, particles with a diameter between 2 to 10, 10 to 20 and 20 to 50 μm respectively) of the studied soils. Extracted from Iturri & Buschiazzo, 2014.

Suelo	Fracción	Illitas		Esmectitas		Interestratificados	
		%	C	%	C	%	C
<i>Enriquecidos en vidrio volcánico</i>							
1.Haplustol éntico	A	40	R	10	R	50	M
	LF	60	R	10	R	25	M
	LM	70	B	5	R	20	M
	LG	65	B	T	-	15	M
2.Hapludol típico-I	A	40	R	10	R	50	M
	LF	80	B	T	-	20	M
	LM	70	B	T	-	20	M
	LG	70	B	T	-	20	M
<i>Sin vidrio volcánico detectado</i>							
3.Hapludol típico-II	A	60	R	10	R	15	M
	LF	75	B	T	-	15	M
	LM	80	B	T	-	5	M
	LG	85	B	T	-	5	M
4.Argiudol típico	A	65	B	5	R	25	M
	LF	85	B	T	-	5	M
	LM	95	B	T	-	5	M
	LG	95	B	T	-	5	M

B: buena; R: regular; M: mala; T: trazas.
B: good; R: moderate; M: poor; T: traces.

Hapludol y el Argiudol donde los materiales piroclásticos no fueron detectados (Tabla 1). Estos resultados coinciden tanto con los de Hepper *et al.* (2006), quienes encontraron que los suelos de la Pampa Semiárida enriquecidos en ceniza volcánica no contienen alofanos, y con los de Parfitt & Kimble (1989) quienes hallaron que los componentes no cristalinos están raramente presentes en suelos bajo regímenes hídricos ústico, xérico o arídico debido a la lixiviación restringida de sílice. También, Singer *et al.* (2004) encontraron que la ausencia de alofano y de óxidos amorfos se atribuye a un período seco extendido y a la mayor edad del material parental en suelos volcánicos bajo condiciones semiáridas.

La elevada y negativa diferencia entre el pH_{KCl} (pH 1:2,5 suelo:KCl 1 mol dm^{-3}) y el pH_{W} (pH 1:2,5 suelo:agua) (Tabla 1), que indica la predominancia

de cargas superficiales positivas o negativas, mostró que tanto los suelos enriquecidos como los que estarían libres de vidrio volcánico poseen predominancia de cargas superficiales negativas (Mekaru & Uehara, 1972). Esto también significa que aquellas sustancias como el alofano o la caolinita, las cuales están positivamente cargados, tampoco estarían presentes en las muestras analizadas. Por otro lado, las menores diferencias entre ambos tipos de pH encontrados en suelos enriquecidos en vidrio volcánico que en los libres de vidrio volcánico ($p < 0,05$) probablemente se debieron a la presencia de carbonato libre en los horizontes superficiales del Haplustol éntico (Buschiazzo, 1988) (Tabla 1).

En cuanto a la cristalinidad de los minerales de arcilla presentes en los horizontes estudiados, se encontró que las esmectitas de la fracción arcilla es-

taban pobremente cristalizadas en todos los casos, tanto en aquellos con ceniza volcánica (Haplustol, Hapludol), como en los carente de ella (Hapludol, Argiudol). Por el contrario, las illitas de la fracción limo grueso de los suelos libres de vidrio volcánico, presentaron mejor cristalinidad que en aquellos enriquecidos en vidrio volcánico. Esta tendencia puede ser un índice de la transformación de las illitas litogénicas de los suelos libres de vidrio volcánico en illitas de un tamaño menor, las cuales permanecen cristalográficamente inalteradas, acumulándose preferentemente en la fracción arcilla de estos suelos. Esto concuerda con resultados de otros autores (González Bonorino 1965, 1966; Camilión, 1993), quienes indicaron que la pedogénesis solo cambia el tamaño y no la cristalinidad de las illitas de regiones húmedas de la Región Pampeana, transformándose en especies de menor tamaño.

La **Fig. 4** muestra que la fracción arcilla fina, i.e. partículas con un diámetro medio menor a $0,2 \mu\text{m}$, de los suelos libres de vidrio volcánico está domina-

da por illita, mientras que la misma fracción mineral de los suelos enriquecidos en vidrio volcánico no muestra reflexiones para minerales de arcilla. Una explicación a esta tendencia, podría ser atribuida a la incipiente pedogénesis que no habría generado la acumulación de esmectitas en la fracción arcilla fina de los suelos enriquecidos en material piroclástico. Los minerales de arcilla detectados en el análisis por tamaño de partículas del Haplustol éntico, de textura gruesa, estarían acumulados en la fracción arcilla de tamaño comprendido entre $0,2$ a $2 \mu\text{m}$.

Influencia del material piroclástico en algunas propiedades físico-químicas de los suelos

En la superficie específica. La superficie específica (SE) es una propiedad que se relaciona estrechamente con las propiedades físicas de los suelos, como la capacidad de retención de agua o la estabilidad de los agregados, y las químicas, como el

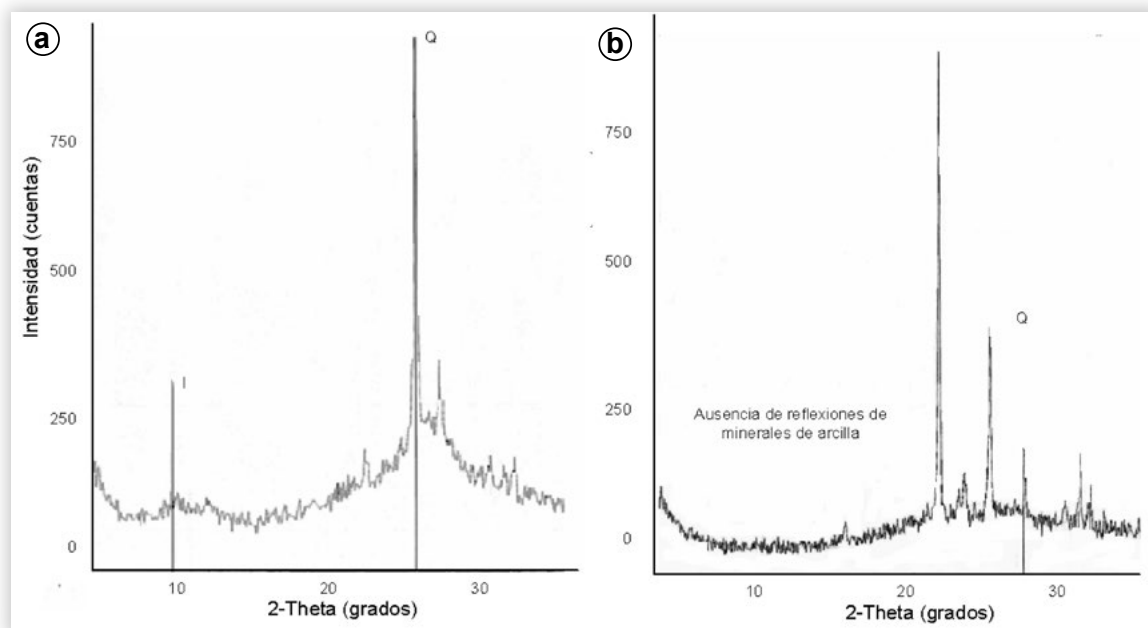


Figura 4. Análisis de difracción de rayos X de la fracción arcilla fina (aF , $\phi < 0,2 \mu\text{m}$) del a) Hapludol típico II, sin material piroclástico detectado y del b) Haplustol éntico, enriquecido en vidrio volcánico. I: illita; Q: cuarzo; los picos no identificados corresponden a sustancias usadas en el pretratamiento de las muestras. Adaptado de Iturri & Buschiazzo (2014).

Figure 4. X ray diffraction analysis of the fine clay fraction (aF , $\phi < 0.2 \mu\text{m}$) of the a) Typic Hapludoll II, without pyroclastic material detected and of the b) Entic Haplustoll, enriched in volcanic glass. I: illite; Q: quartz; the unidentified peaks correspond to substances used during sample pretreatments. Adapted from Iturri & Buschiazzo (2014).

contenido de materia orgánica y la adsorción de nutrientes. Tal es el caso del estudio de Hepper *et al.* (2006), quienes evaluaron el efecto del material piroclástico sobre la SE a través de la comparación de horizontes superficiales de suelos de la Región Pampeana con baja y relativamente alta concentración de cenizas volcánicas (**Tabla 3**).

La SE media fue de $80 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, variando entre 25 y $130 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Los valores más bajos correspondieron a los suelos illíticos de textura más gruesa mientras que los más altos fueron hallados en suelos illíticos con alto contenido de limo, no encontrándose diferencias significativas entre suelos con mayor y menor concentración de material piroclástico. La SE se correlacionó significativamente con los contenidos de limo ($R^2 = 0,70$, $p < 0,001$), de arcilla ($R^2 = 0,449$, $p < 0,001$) y de Alos ($R^2 = 0,333$, $p < 0,01$). Así, se determinó que la cantidad de óxido de aluminio y el contenido de arcilla más limo lograron explicar un 82% de la variabilidad

de la SE. Sin embargo, la exclusión de Alos como variable regresora no redujo el nivel de significancia (**Fig. 5**). Del análisis de las mismas fracciones texturales por separado, el limo logró explicar el 70% mientras que la arcilla sólo el 9,1% de la variación de la SE.

La SE de los suelos estudiados no estaría determinada por el contenido de cenizas volcánicas, siendo determinada mayormente por el contenido de limo y en menor medida, el de arcilla. De acuerdo con Peinemann *et al.* (2000), esto se explica por la presencia de minerales de tipo 2:1 en la fracción mayor a $2 \mu\text{m}$. Sin embargo, Bayat *et al.* (2015) no hallaron una relación significativa entre la SE y el contenido de limo. De acuerdo con este último, la superficie específica se correlacionaría de manera significativa con otras propiedades químicas y físicas de los suelos. Esto es, de manera positiva, con el contenido de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de materia

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de los primeros 20 cm de diferentes tipos de suelos en condiciones agrícolas (A) y vírgenes (V). Adaptado de Hepper *et al.* (2006).

Table 3. Physico-chemical properties of the uppermost 20 cm of different arable (A) and virgin (V) soils. Adapted from Hepper *et al.* (2006).

	Arcilla + limo	MO	Alo	Feo	Alos	Feos	CIC	SE
	(%)			(mg kg^{-1})			($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)
<i>Suelos enriquecidos en vidrio volcánico</i>								
Hapluduls	51	3,8	273	263	1968	2620	10,3	61
A (n=2)	48	2,9	265	206	1840	2729	7,7	60
V (n=2)	53	4,7	280	321	2095	2510	12,9	63
Hapludols	49	1,9	577	797	3855	13753	8,3	73
A (n=3)	47	1,8	470	764	3620	13058	9,3	70
V (n=3)	50	2,0	683	829	4089	14447	7,3	76
<i>Suelos sin vidrio volcánico detectado</i>								
Haplustols	63	3,5	1083	685	4439	13134	14,1	102
A (n=5)	63	2,6	1064	635	4625	13370	14,5	104
V (n=5)	63	4,5	1102	736	4253	12897	13,7	99
Ustipsaments	389	2,3	1238	510	4333	15451	10,0	54
A (n=2)	35	1,4	1208	411	4345	15400	10,3	55
V (n=2)	42	3,2	1268	608	4322	15503	9,8	53

a+l: arcilla más limo; MO: materia orgánica; Alo: aluminio de óxidos amorfos; Feo: hierro de óxidos amorfos; Alos: aluminio de óxidos cristalinos; Feos: hierro de óxidos cristalinos; CIC: capacidad de intercambio catiónico; SE: superficie específica.

a+l: clay+silt; MO: organic matter; Alo: amorphous oxide aluminum; Feo: amorphous oxide iron; Alos: crystalline oxide aluminum; Feos: crystalline oxide iron; CIC: cation exchange capacity; SE: specific surface.

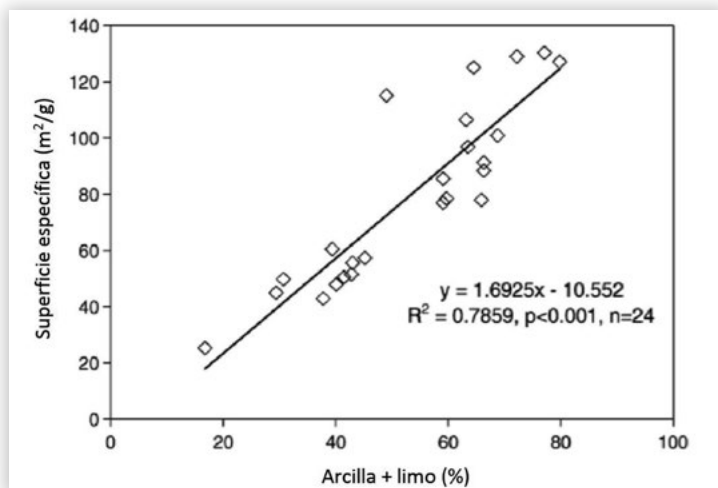


Figura 5. Superficie específica y contenido de arcilla más limo de suelos de la Región Semiárida Argentina dominados por illitas y minerales amorfos. Adaptado de Hepper *et al.* (2006).

Figure 5. Specific surface and clay plus silt content of the soils of the semiarid region of Argentina dominated by illites and amorphous minerals. Adapted from Hepper *et al.* (2006).

orgánica, y también con el límite líquido y los índices de plasticidad y expansividad. De manera negativa, con el contenido de arena y de carbonato libre, y con el límite de contracción. La ausencia de correlación entre la SE y el limo es atribuida a los elevados contenidos de arcilla y materia orgánica que enmascararían el efecto del limo.

En la capacidad de intercambio catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una de las propiedades químicas más importantes asociadas con la fertilidad del suelo (Martel *et al.*, 1978; Thompson *et al.*, 1989). Los contenidos de materia orgánica, junto con la cantidad y el tipo de arcillas, definen la CIC. Es conocido que los minerales 1:1 poseen menores CIC que los 2:1 y que, entre los minerales 2:1, las illitas contribuyen menos a la CIC que las esmectitas (Martín-García *et al.*, 1999; Peinemann *et al.*, 2000). Esto último estaría asociado a la composición, tanto cualitativa como cuantitativa, de los suelos de acuerdo con su diferente evolución a partir del material parental, como así también, al tipo o composición de ese material parental. Sin embargo, las fracciones de mayor tamaño que las arcillas también contribuyen a la CIC. Morrás (1995) encontró que los limos de la región Chaqueña de Argentina tienen una CIC que varía de 8 a 23 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, mientras que Peinemann *et al.* (2000), para Haplustoles énticos y Hapludoles típicos de la Pampa Semiárida, encontró que los limos poseen una CIC de entre 6,5 a 7,1 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, en parte debida a la presencia

de pseudolimos. Thompson *et al.* (1989) encontraron resultados similares para Mollisoles y Alfisoles de Estados Unidos, en donde las fracciones limo presentaron una CIC de entre 2 a 29 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Para los suelos de la Región Pampeana, el origen de las propiedades electrostáticas de los limos de estos suelos parece estar relacionada con su mineralogía, dominada no sólo por las illitas sino por cantidades variables de material piroclástico (Buschiazzo, 1988; Imbellone & Teruggi, 1993; Zárate, 2003). Dada la transformación de illitas en illitas de menor tamaño y de vidrios volcánicos registrada en los suelos de la Región Pampeana presentada anteriormente y en Iturri & Buschiazzo (2014), la contribución relativa de los limos a la CIC es mayor en suelos con menores contenidos de vidrio volcánico que en los enriquecidos, debido a la mayor proporción de illitas en dicha fracción. Por el contrario, en los suelos enriquecidos en vidrio volcánico la contribución de los limos a la CIC es menor, debido a la acumulación de los nuevos minerales formados en la fracción arcilla principalmente. Así, en el mencionado estudio, se encontró que la CIC, en promedio 24,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, fue significativamente mayor en el Hapludol típico II y el Argiudol típico donde el vidrio volcánico no fue detectado que en el Haplustol éntico y el Hapludol típico enriquecidos en vidrio volcánico, cuyo promedio fue de 18,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Tabla 1). Esto coincide con el ya mencionado predominio de fracciones más finas en los suelos con baja presencia de vidrio volcánico y no con sus contenidos de mate-

ria orgánica, los cuales son bastante similares entre ambos, el Hapludol típico II y el Argiudol típico, y entre los suelos enriquecidos en vidrio volcánico, el Haplustol éntico y el Hapludol típico I.

La **Fig. 6** muestra que la CIC de las fracciones minerales, excluyendo el efecto de los contenidos de la materia orgánica, fue menor en los suelos enriquecidos, en promedio $9,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, que en aquellos donde el material piroclástico no fue detectado, en promedio $15,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Estas diferencias coinciden con la mayor cantidad de arcillas de los últimos, principalmente del Argiudol típico (**Tabla 1**). No obstante, la contribución relativa a la CIC total de la fracción mineral, arcillas, limos finos, medios y gruesos, fue similar en todos los suelos, con un valor promedio de 54% de la CIC total.

La CIC de las fracciones limo (LF, LM y LG) fue similar en el Haplustol y el Hapludol enriquecidos en vidrio volcánico, siendo un 18% de la CIC total y un 32% de la CIC mineral el promedio para ambos suelos. En el Hapludol y el Argiudol de escasa o nula pre-

sencia de vidrio volcánico su CIC promedió un 17% de la CIC total y un 31% de la CIC mineral (**Tabla 4**).

El LF contribuyó entre 3 y 14% a la CIC de todo el suelo y entre 6 y 23% a la CIC mineral (Tabla 4). Esta contribución se ordenó en la secuencia Hapludol típico I ($\text{CIC}_R = 2,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) > Argiudol típico ($2,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) > Hapludol típico II ($1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) > Haplustol éntico ($0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), siendo los valores medios 1,5 y $1,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para los suelos enriquecidos y los libres de vidrio volcánico, respectivamente. No obstante, tales valores no fueron diferentes entre si ($p > 0,05$). La contribución relativa del LF a la CIC en el Hapludol típico I fue atribuida a su composición mineralógica, basada principalmente en esmectitas e interstratificados illita-esmectita. El Argiudol típico mostró menor CIC que la esperada para su elevado contenido de LF, probablemente debido a la naturaleza illítica de esta fracción. En el Hapludol típico II y en el Haplustol éntico, la baja contribución relativa del LF a la CIC parece ser resultado de la baja proporción de dicha fracción mineral (7

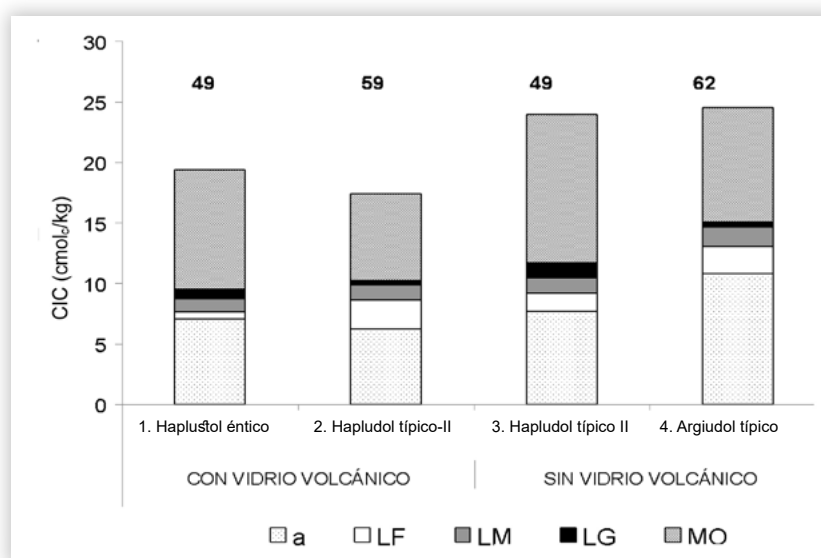


Figura 6. CIC de las fracciones mineral y orgánica de los primeros 20 cm de los suelos estudiados. Los números encima de las barras son los cocientes entre la CIC relativa y la CIC total, es decir, la proporción entre la CIC de toda la fracción mineral (a: arcilla, LF: limo fino, LM: limo medio y LG: limo grueso) y la aportada por la materia orgánica (MO). Adaptado de Iturri & Buschiazzo (2014).

Figure 6. CIC of the mineral and organic fractions of the studied soils. Numbers above the bars indicate the quotients between the relative and the total CIC, i.e. the proportion between the CIC of the whole mineral fraction (a: clay, LF: fine silt, LM: medium silt y LG: coarse silt) and that contributed by the organic matter (MO). Adapted from Iturri & Buschiazzo (2014).

Tabla 4. Proporción, capacidad de intercambio catiónico absoluta (CIC) y contribución a la CIC total, de las fracciones granulométricas de los primeros 20 cm de los suelos estudiados. Adaptado de Iturri & Buschiazzo (2014).

Table 4. Proportion, absolute cation exchange capacity (CICA) and contribution to total CIC, of the granulometric fractions of the uppermost 20 cm of the studied soils. Adapted from Iturri & Buschiazzo (2014).

Suelo	Fracción textural	Proporción de la fracción textural	CIC	Contribución a CIC _T
		(%)	(cmol _c kg ⁻¹)	(%)
<i>Con vidrio volcánico</i>				
1.Haplustol éntico	A	12,3	57,2	38,6
	LF	7,6	7,5	2,9
	LM	5,1	21,7	5,7
	LG	8,9	8,7	4,0
2.Hapludol típico I	A	12,5	49,7	35,8
	LF	8,9	26,7	13,6
	LM	7,3	167,0	7,1
	LG	6,6	6,1	2,0
<i>Sin vidrio volcánico</i>				
3.Hapludol típico-II	A	17,0	45,2	32,2
	LF	6,7	22,0	6,1
	LM	9,0	13,9	5,2
4.Argiudol típico	LG	18,6	6,8	5,3
	A	28,5	38,0	44,1
	LF	23,8	9,4	9,2
	LM	27,1	5,9	6,6
	LG	12,9	3,3	1,7

a: arcilla; LF: limo fino; LM: limo medio; LG: limo grueso. CIC_T = Capacidad de intercambio catiónico total.
a: clay; LF: fine silt; LM: medium silt; LG: coarse silt. CICT: total cation exchange capacity.

y 8%, respectivamente) (Tabla 1) y, en el Hapludol típico II, además, de su mineralogía illítica.

La contribución del LM y del LG a la CIC de los suelos fue similar y relativamente baja: entre 5 y 7% y entre 2 y 5%, respectivamente (Tabla 5). Además, la contribución del LM y del LG a la CIC mineral fue, respectivamente, entre 11 y 12% y entre 3 y 11%.

La contribución de las arcillas a la CIC total fue bastante similar, entre 36 y 38%, en los suelos con diferentes contenidos de material piroclástico (Tabla 5). Las arcillas también contribuyeron de manera similar a la CIC mineral de los suelos, entre un 68 y 69%.

Las fracciones finas de los suelos explicaron entre un 49% y un 62% de la CIC. No obstante, la contribución relativa de los limos a la CIC fue relativamente alta en todos los suelos. Esto permite inferir que las propiedades electroquímicas

de la fracción mineral de los suelos estudiados no son solamente definidas por las arcillas, sino que también por los limos. El origen de las cargas superficiales negativas parece ser diferente en cada tipo de suelo: en los enriquecidos en vidrio volcánico, Haplustol éntico y Hapludol típico I, la CIC parece estar relacionada con la presencia de minerales illita y esmectita (Tabla 2). Aún cuando la cantidad de esmectitas es relativamente baja en estos suelos, de entre 5 y 10%, su contribución a la CIC total del suelo es relativamente alta (Borchardt, 1985). Por el contrario, en los suelos donde el vidrio no fue detectado, Hapludol típico II y Argiudol típico, la CIC parece estar relacionada con la elevada proporción de fracciones finas dentro de sus componentes minerales, principalmente arcillas y limos (Tablas 1 y 2) más que con la presencia de illitas, que aportan relativamente pocas cargas superficiales negativas (Borchardt, 1985).

Tabla 5. Matriz de coeficientes de correlación de Xm y a.b con variables edáficas analizadas. Adaptado de Hepper *et al.* (1996).

Table 5. Matrix of Xm and a.b correlation coefficients with the analyzed edaphic variables. Adapted from Hepper *et al.* (1996).

	Xm	a.b
Arcilla	0,24	0,45
CaCO ₃	0,51*	0,02
pH _w	0,19	0,30
Ca _s	0,65**	0,13
Ca _i	0,74***	0,33
MO	0,57*	0,63**
Feo	0,25	0,56*
Alo	0,77***	0,48
Fep	0,22	0,47
Al _p	0,20	0,47
Feos	-0,10	0,29
Alos	0,63**	0,58*
Feo-Fe _p	0,23	0,34*

CaCO₃: carbonato de calcio; pH_w: pH 1:2,5 suelo:agua destilada; Ca_s: calcio soluble; Ca_i: calcio intercambiable; MO: materia orgánica; Feo: hierro de óxidos amorfos; Alo: aluminio de óxidos amorfos; Fe_p: hierro complejado a la MO; Al_p: aluminio complejado a la MO; Feos: hierro de óxidos cristalinos; Alos: aluminio de óxidos cristalinos.

CaCO₃: calcium carbonate; pH_w: pH 1:2.5 soil:distilled water; Ca_s: soluble calcium; Ca_i: exchangeable calcium; MO: organic matter; Feo: amorphous oxide iron; Alo: amorphous oxide aluminum; Fe_p: organic matter-complexed iron; Al_p: organic matter-complexed aluminum; Feos: crystalline oxide iron; Alos: crystalline oxide aluminum.

El limo total contribuyó, en promedio de los cuatro suelos estudiados en Iturri & Buschiazzo (2014), 17% a la CIC total. Los valores de CIC encontrados aquí son algo menores a aquellos hallados por Morrás (1995), Asadu *et al.* (1997) y Soares *et al.* (2005) pero bastante similares a los encontrados por Peinemann *et al.* (2000). Las diferencias pueden estar relacionadas con el tipo de suelo y las fracciones de suelo analizadas en cada caso: Morrás (1995), Asadu *et al.* (1997), y Soares *et al.* (2005) analizaron la fracción limo cuyo diámetro de partícula está comprendido entre 2 y 20 µm, mientras que Peinemann *et al.* (2000), analizó toda la fracción limo (partículas cuyo diámetro está comprendido entre 2 y 50 µm).

El LF contribuyó alrededor de 43% a la CIC de toda la fracción limo en ambos tipos de suelos en

relación a su contenido de material piroclástico. La sumatoria de la contribución del LF y el LM fue 79%. Estos resultados indicaron que tanto la fracción LF como la LM son las que más contribuyen a la CIC. Por lo tanto, en los estudios relacionados con la química de los suelos loésicos agrícolas de Argentina no resultaría necesario analizar separadamente las fracciones limo según su tamaño de partícula.

La mayor o menor abundancia de vidrio volcánico en los horizontes A de suelos agrícolas de Argentina estudiados no afecta la contribución relativa a la CIC, pero si al origen de dicha contribución: en los suelos de baja presencia de vidrio volcánico está más relacionado con la cantidad de fracciones minerales de tamaño fino mientras que en los suelos enriquecidos en vidrio volcánico, con la mayor cantidad de minerales de arcilla negativamente cargados.

Las arcillas son la principal fracción mineral responsable de la CIC de los suelos enriquecidos en ceniza volcánica, el Haplustol éntico y el Hapludol típico I. A su vez, tanto las arcillas como los limos son la fracción mineral responsable de la CIC en los suelos sin abundancia de ceniza volcánica, el Hapludol típico II y el Argiudol típico. Por ello, fenómenos de degradación, como la erosión eólica o la hídrica, los cuales es sabido decrecen los contenidos de ambas fracciones minerales en los suelos (Aimar, 2002; Buschiazzo *et al.*, 2007), afectarán relativamente más la CIC de los suelos donde el vidrio volcánico no fue detectado que la de los suelos enriquecidos en vidrio volcánico de Argentina. Por otro lado, disminuciones porcentuales similares en los contenidos de materia orgánica en el horizonte A afectarán a ambos tipos de suelos de manera relativamente similar, aunque este efecto sería algo menos importante en los Argiudoles, por ser los suelos con los contenidos más altos de materia orgánica (Tabla 1).

En la adsorción de fósforo. El fósforo (P) es un macronutriente esencial para las plantas y su bajo nivel de reposición ha conducido a una pérdida de fertilidad en los suelos de la Región Pampeana. La dinámica de los fosfatos en el suelo está

fuertemente afectada por los niveles de materia orgánica, de carbonatos de calcio y de óxidos de hierro y aluminio. Estos últimos cumplen un rol importante en la dinámica del P en los suelos de la región semiárida. Si bien el material parental presenta una baja proporción de estos compuestos, la meteorización del material secundario de origen piroclástico produce compuestos amorfos de Al que son capaces de adsorber el P y de este modo alterar su disponibilidad. Además, los óxidos de Fe también son también responsables de este fenómeno de retención.

Hepper *et al.* (1996) evaluaron los procesos de adsorción de P en una climotoposecuencia de suelos de la región semiárida pampeana por medio de la ecuación de Langmuir y Freundlich analizando la máxima capacidad de adsorción (X_m) y la capacidad del suelo para suministrar P, asociada con la inversa del producto $a \cdot b$ de la ecuación de Freundlich, en relación con otras propiedades edáficas. La variable X_m se correlaciona significativamente ($p < 0,001$) con los contenidos de A_{lo} ($R = 0,77$) y calcio intercambiable ($R = 0,74$) (Tabla 5), mientras que $a \cdot b$ se correlaciona positivamente con el contenido de materia orgánica ($R = 0,63$), aunque también es afectada por A_{lo} ($R=0,58$) y el Feo ($R = 0,56$). Por ello, a mayor contenido de materia orgánica y A_{lo} , menor es la capacidad de los suelos de liberar P hacia la solución. Considerando los coeficientes de regresión parciales para explicar las variables X_m y $a \cdot b$, concluyeron que en los suelos estudiados la adsorción de P está principalmente condicionada por el contenido de óxidos amorfos, y que la materia orgánica regula el suministro de P a la solución del suelo. Sin embargo, en un estudio de Hevia *et al.* (2000), encontraron que los contenidos de óxidos de hierro y aluminio, tanto amorfos como cristalinos, fueron las variables que mayormente afectaron el equilibrio de solubilidad del P, incrementando el P adsorbido y reduciendo la capacidad buffer respecto al P. Independientemente de la cantidad de estos óxidos en el suelo, la energía de adsorción del P fue similar.

En otro estudio llevado a cabo por Buschiazzo *et al.* (1998) se analizaron los patrones de distri-

bución del vidrio volcánico, su estado de meteorización, los cambios mineralógicos y su efecto en la retención de P en suelos de la región semiárida Pampeana. Para ello evaluaron 16 perfiles en una climosecuencia, desde Hapludoles énticos hasta Haplustoles énticos, presentando los primeros un mayor contenido de cenizas en el horizonte superficial mientras que los últimos, en profundidad. La presencia de alofano fue inferior al 0,8% en todos los suelos. Para los suelos del extremo norte de esta región concluyeron que las cenizas volcánicas no tendrían efecto sobre la dinámica de los fosfatos, debido al limitado tiempo de meteorización, no alcanzando a producir minerales con alta capacidad de adsorción de P. Sin embargo, la adsorción de P sí podría verse comprometida en los horizontes subsuperficiales de los Haplustoles, donde el material de mayor tiempo de meteorización se estaba transformado a materiales amorfos. De aquí que fuera deducido un mayor efecto de la edad de los materiales piroclásticos que de las condiciones climáticas para los suelos estudiados. Con respecto al contenido de A_{lo} , este explicó un 52% de la variabilidad del P adsorbido y sólo un 36% del P fijado.

Prüß *et al.* (1992), encontraron que la dinámica del agua en el paisaje afecta el P total de los suelos. El A_{lo} incrementa con la profundidad, particularmente en lomas y pendientes, y tiene la tendencia contraria en depresiones, lo que puede deberse a diferentes condiciones de lixiviación del silicio. La meteorización del vidrio volcánico es controlada entonces en gran medida por el régimen de humedad, de manera que en regiones semiáridas la distribución de los compuestos amorfos de aluminio se debería a las diferencias en el régimen endopercolativo que presentan las distintas posiciones del paisaje. En contraste con el A_{lo} , el Feo está asociado a la distribución de la materia orgánica y la fracción arcilla. Los valores de P extractable según Bray-Kurtz I estuvieron altamente correlacionados con el Fe ($R = 0,74$, $p < 0,001$), probablemente por la disolución de Feo por el extractante.

Por último, en un trabajo de Buschiazzo *et al.* (2000) estudiaron el efecto de la agricultura sobre la adsorción de P en suelos de la Región Pampeana

con más de medio siglo de agricultura. El aumento en el pH provocó una disminución en el contenido de Al así como en la cantidad de cargas variables positivas de estos en condiciones alcalinas. Este proceso resulta en una reducción en la adsorción de P que desencadena una menor disponibilidad de P para las plantas, puesto que la adsorción de esa forma P es fácilmente reversible (Prüeß *et al.*, 1992).

En la capacidad *buffer*. Las sustancias *buffer* actuantes en los suelos pueden ser de origen mineral u orgánico. Entre las de origen mineral, se cuentan el tipo y la cantidad de arcillas, las sustancias inorgánicas más reactivas encontradas normalmente en los suelos. Por ello, se ha evaluado si los diferentes contenidos de vidrio volcánico en los horizontes superficiales afectan la proporción de cargas superficiales, modificando la capacidad neutralizante de la acidez de los suelos.

Se mencionó anteriormente que las illitas de las fracciones arcilla y limo de suelos donde el vidrio volcánico no fue detectado presentaron una baja contribución a la CIC total, mientras que las esmectitas pobremente cristalizadas de los suelos enriquecidos en vidrio volcánico presentaron una elevada contribución. De aquí que estudios de la reacción de los suelos de la Región Pampeana (Iturri & Buschiazzo, 2016 y 2018) presentaron que aquellos con predominio de minerales esmectíticos provenientes, aparentemente, de la meteorización del vidrio volcánico, presentarían una menor susceptibilidad a ser degradados química y mineralógicamente por acidificación que los suelos con predominio de illita, Argiudoles y Hapludoles. Esto es debido a la mayor proporción de cargas negativas por unidad de superficie de los minerales esmectíticos que de los illíticos, los cuáles le confieren más sitios de intercambio. A su vez, los Argiudoles resultarían suelos menos susceptibles a la acidificación que los Hapludoles. Los Argiudoles son los suelos que cuentan con más sustancias y/o sistemas con capacidad neutralizante de la acidez, dados por sus contenidos elevados no sólo de fracciones finas, arcilla y limo, no obstante, su mineralogía illítica, con menos cargas negativas

por unidad de superficie y, por ende, menos sitios disponibles para el intercambio de cationes, sino de materia orgánica. Por lo tanto, y de acuerdo a lo mencionado previamente, los suelos más vulnerables a experimentar cambios en su reacción serían los Hapludoles, por ser suelos de textura gruesa y con bajos contenidos tanto de arcillas del tipo 2:1 como de materia orgánica (**Tabla 1**).

En general, los suelos de textura gruesa poseen menores contenidos de sustancias y/o sistemas con capacidad neutralizante de la acidez, debido a su menor proporción de fracciones finas, arcilla y limo. Por otro lado, los suelos con predominio de fracciones finas en su composición textural resultarán menos susceptibles a ser degradados química y mineralógicamente por acidificación, dado su mayor aporte a la capacidad de intercambio catiónico. Pero, además, en virtud de lo anteriormente mencionado en el presente capítulo, la presencia de cantidades variables de vidrio volcánico en el material parental, modificaría el origen, pero no la magnitud de las sustancias y/o sistemas con capacidad neutralizante de la acidez presentes en los suelos loésicos agrícolas de Argentina. El origen de la contribución de las fracciones finas, particularmente de las arcillas, a la CIC de los suelos, fue modificado debido a la aparente transformación del vidrio volcánico en esmectitas. Sin embargo, la presencia o ausencia de vidrio volcánico no determinó la magnitud del aporte de las fracciones finas a la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, dado que éstas contribuyeron de manera similar tanto en suelos libres como enriquecidos en ceniza volcánica.

CONCLUSIONES

Los suelos de la Región Pampeana tienen proporciones variables de material piroclástico que determinan algunas de sus propiedades mineralógicas y químicas.

El horizonte superficial de Haplustoles y Hapludoles de ambientes más secos presentan abundancia de vidrio volcánico mientras que su presencia no fue detectada en los de los Argiudoles y Hapludoles de ambientes más húmedos.

Las fracciones limo grueso de los suelos donde no se detectó material piroclástico están dominadas por granos de cuarzo preservados e illitas cristalinas. El vidrio volcánico, cuando estuvo presente, se encontró con signos de alteración parcial.

Los minerales esmectíticos de los Haplustoles, aparentemente provenientes de la meteorización del vidrio volcánico, poseen mayor capacidad neutralizante de la acidez que la de los minerales illíticos de Hapludoles y Argiudoles. Esto se debe a la mayor proporción de cargas negativas, i.e. mayor CIC en asociación con una mayor superficie específica, de los minerales esmectíticos que los illíticos.

Los óxidos amorfos de Al y Fe, producto de la meteorización del vidrio volcánico, son determinantes de los procesos de adsorción de fósforo, principalmente, en los horizontes subsuperficiales de los suelos de ambientes más secos, donde el ma-

terial de mayor tiempo de meteorización se transformaría a materiales amorfos.

Futuras líneas de investigación

Evaluar en detalle el origen de las cargas que presentan fracciones de diferente tamaño del limo, el que se pudo comprobar posee cierta CIC y propiedades electroquímicas similares a las partículas de diámetro inferior a 2 μm en los suelos estudiados.

Cuantificar el grado de meteorización del vidrio volcánico y su posible transformación en minerales del tipo 2:1.

Evaluar el efecto en la capacidad de retención de agua y algunas propiedades físico-químicas del horizonte superficial y suprayacente a una capa de ceniza volcánica conservada en suelos poco disturbados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aimar, SB. 2002. Estimaciones cualitativas y cuantitativas de pérdidas por erosión eólica en suelos de la región semiárida pampeana central. Tesis de Magister Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Asadu, CLA; J Diels y B Vanlauwe. 1997. A comparison of the contributions of clay, silt and organic matter to the effective CEC of soils of Sub-Saharan Africa. *Soil Sci.* 162 (11): 785-794.
- Bayat H; E Ebrahimi y S Ersahin; En: Hepper; DN Singh; AM Amer; Y Yukselen-Aksoy. 2015. Analyzing the effect of various soil properties on the estimation of soil specific surface area by different methods. *Appl. Clay Sci.* 116: 129-140.
- Borchardt, G. 1985. Montmorillonite and other smectite minerals. En: Dixon, JB; SB Weed; JA Kittrick; MH Milford; JI White (Eds). *Minerals in soil environments*. Vol. 1. 1era edn. Pp. 293-330. *Soil Sci. Soc. Am.* Madison, USA.
- Buschiazzo, DE. 1988. Estudio sobre la tosca. Parte II: evidencias de un movimiento descendente del carbonato en base a la interpretación de características micromorfológicas. *Cienc. Suelo* 6: 44-48.
- Buschiazzo, DE; SA Abascal y T Zobeck. 2007. Wind erosion in tillage systems in the semiarid Pampa of Argentina. *J. Arid Environ.* 69: 29-39.
- Buschiazzo, DE; GG Hevia; AM Urioste y EN Hepper. 2000. Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess-soils of Argentina. *Soil Sci.* 5: 427-436.
- Buschiazzo, DE; GG Hevia. 1998. En: Hepper, K Stahr, KH Papenfuß. Contents and weathering state of volcanic ashes and their effects on phosphate sorption in soils of the Semiarid Pampa of Argentina. *Arid Soil Res. Rehab.* 12: 15-27.
- Buschiazzo, DE; V Taylor. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la región Semiárida Pampeana Argentina. *Cienc. Suelo* 10: 46-53.
- Camilión, MC. 1993. Clay mineral composition of pampean loess (Argentina). *Quat. Int.* 1: 27-31.
- Georgoulas, FA; NK Moustakas. 2010. Exploration of soils developing on volcanic materials on the island of Milos, Greece. *Catena* 81: 41-53.
- 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. *Asociación Geológica Argentina XX* (1): 67-148.
- González Bonorino, F. 1966. Soil clay mineralogy of the Pampa plains. *J. Sediment. Petrol.* 36(4): 1026-1035.

- Hepper, EN; DE Buschiazzo; GG Hevia; AM Urioste y L Antón. 2006. Clay mineralogy, cation exchange capacity and specific surface area of loess soils with different volcanic ash contents. *Geoderma* 135: 216-223.
- Hepper, EN; GG Hevia y DE Buschiazzo. 1996. Adsorción de fósforo y su relación con los parámetros edáficos en una climotoposecuencia de la región semiárida pampeana central Argentina. *Agrochimica* XXXVII: 19-26.
- Hevia, GG; EN Hepper; DE Buschiazzo y N Peinemann. 2000. Factors affecting phosphorus-sorption in loess soils of the semiarid Argentina. *Agrochimica* XLIV (3-4): 81-88.
- Imbellone, PA; C Camilión. 1993. Characterization of a buried tephra layer in soils of Argentina. *Pédologie* XXXVIII: 155-171.
- Imbellone, PA; M Teruggi. 1993. Paleosols in loess deposits of the Argentine Pampas. *Quat. Int.* 17:49-55.
- Iturri, LA & DE Buschiazzo. 2014. Cation exchange capacity and mineralogy of loess soils with different amounts of volcanic ash. *Catena* 121: 81-87.
- Iturri, LA & DE Buschiazzo. 2018. Agricultural loess soils along a climosequence evidenced different susceptibility to acidification by simulated N-fertilization. *Catena* 171: 565-579.
- Iturri, LA & DE Buschiazzo. 2016. Light acidification in N-fertilized loess soils along a climosequence affected chemical- and mineralogical properties in the short-term. *Catena* 139: 92-98.
- Iturri, LA. 2015. Evidencias de acidificación de suelos loésicos agrícolas de Argentina. Tesis de Doctorado en Agronomía. Universidad Nacional del Sur. 198 pp.
- Jahn, R. 1988. Böden Lanzarotes. Hohenheimer Arbeiten. Eugen Ulmer, Stuttgart, Alemania.
- Larsson, W. 1936. Vulkanische asche vom Ausbruch des chilenischen Vulkans Quizapú (1932), in Argentinien gesammelt. Eine studie über äolische differentiation. *Bulletin Geologischen Institutes* 26: 27-52.
- Martel, YA; CR De kimpe y MR Laverdie. 1978. Cation exchange capacity of clay-rich soils in relation to organic matter, mineral composition and surface area. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 764-767.
- Martín-García, JM; G Delgado; JF Párraga; E Gámiz y R Delgado. 1999. Chemical, mineralogical and (micro) morphological study of coarse fragments in Mediterranean Red Soils. *Geoderma* 90: 23-47.
- Mekaru, T. G Uehara. 1972. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 36: 296-300.
- Morrás, HJM. 1995. Mineralogy and cation exchange capacity of the fine silt fraction in two soils from the southern Chaco Region (Argentina). *Geoderma* 64: 281-295.
- Morrás, HJM. 1999. Geochemical differentiation of Quaternary sediments from the Pampean region based on soil phosphorus contents as detected in the early 20th century. *Quat. int.* 62: 57-67.
- Parfitt, RL; JM Kimble. 1989. Conditions for formation of allophane in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 971-977.
- Peinemann, N.; NM Amiotti; P Zalba y MB Villamil. 2000. Minerales de arcilla en fracciones limo de horizontes superficiales de suelos de diferente mineralogía. *Cienc. Suelo* 18(1): 69-72.
- Prudêncio, M.; MA Sequeira Braga; H Paquet; JC Waerenborgh; LCJ Pereira y MA Gouveia. 2002. Clay mineral assemblages in weathered basalt profiles from central and southern Portugal: climatic significance. *Catena* 49: 77-89.
- Prüeß, A; DE Buschiazzo; E Schlichting y K Stahr. 1992. Phosphate distribution in soils of the central Argentinian Pampa. *Catena* 19: 135-145.
- Singer, A; M Zarei; FM Lange y K Stahr. 2004. Halloysite characteristics and formation in the northern Golan Heights. *Geoderma* 123: 279-295.
- Soares, MR; LRF Alleoni; P Vidal-Torrado y M Cooper. 2005. Mineralogy and ion exchange properties of the particle size fractions of some Brazilian soils in tropical humid areas. *Geoderma* 125: 355-367.
- Teruggi, ME. 1957. The nature and origin of Argentina loess. *J. Sediment. Petrol.* 27: 322-332.
- Thompson, ML; H Zhang; M Kazemi, M y JA Sandor. 1989. Contribution of organic matter to cation exchange capacity and specific surface area of fractionated soil material. *Soil Sc.* 148: 250-257.
- Tricart, J; A Cailleux. 1967. Le modèle des régions périglaciaires. *Traité de géomorphologie*. 2da edn. SEDES. París, Francia.

Material piroclástico en suelos de la Región Pampeana Argentina y sus efectos sobre propiedades físico-químicas

- Vidales, JLM; JL Sanz; J Guijarro; MA Hoyos y J Casas. 1985. Smectite origins in the volcanic soils of the Calatrava region (central Spain). 5th Meeting of the European clay groups. Praga, República Checa.
- Wada, K. 1977. Allophane and imogolite. En: Dixon, JB & SB Weed (Eds). Minerals in soil environments. Vol. 1. 1era edn. Pp. 603-638. Soil Sci. Soc. Am. Madison, USA.
- Zárate, MA. 2003. Loess of South America. *Quat. Sci. Rev.* 22: 1987-2006.
- Zárate, MA; A Blasi. 1991. Late Pleistocene and Holocene deposits of the southeastern Buenos Aires province, Argentina. *Geojournal* 24(2): 211-220.
- Zárate, MA; A Blasi. 1993. Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the southern Buenos Aires Province, Argentina: a preliminary model. *Quat. Int.* 17: 15-20.