

## VERTISOLES HIDROMÓRFICOS DE LA PLANICIE COSTERA DEL RÍO DE LA PLATA, ARGENTINA

PERLA IMBELLONE<sup>1</sup> & LILIANA MORMENEO<sup>1,2</sup>

Recibido: 01-11-10

Recibido con revisiones: 07-06-11

Aceptado: 09-06-11

### HYDROMORPHIC VERTISOLS OF THE RIO DE LA PLATA COASTAL PLAIN, ARGENTINA

#### ABSTRACT

Hydromorphic Vertisols are the dominant soils in the coastal plain of the la Plata river, Buenos Aires province, Argentina. Four representative soils in the districts of La Plata, Ensenada and Berazategui were studied. Pedological and sedimentological properties are described and analyzed. The purpose of this contribution is to discuss: a) the grain size distribution and mineralogy of hydromorphic Vertisols in the rio de la Plata «mudflat»; b) the influence of these properties on the generation of morphological features and c) the associated pedogenic processes that take place. The morphology of the soil is related to vertic and hydromorphic features in the upper and middle horizons of the soil. Moderate and strong wedge-shaped and angular aggregates are abundant in the solum, with interpedal slickensides, sometimes striated, visible at various levels of observation. The matrix can be moderately or dominantly anisotropic and shows zones of optical anisotropism that run through the fine material with variegated patterns or anisotropic aureoles surrounding the pores. Hydromorphism is favoured by frequent pluvial flooding, the level landscape and the high water table, which is generally between 0.80 and 1.20 m deep. Therefore, endosa-turation or episaturation can occur at different times of the year. Soils have a variety of redoximorphic features, mainly reduced matrices (2.5Y, 5Y hues; chromas of 2 or less), redox concentrations of manganese and iron as nodules and concretions, surface impregnations of sesquioxides on the peds and some dark subsurface accumulations and ramifications through the matrix; there are also some depleted zones in the matrix. Concretions are hard in hand specimens and occur within the matrix; segregations are soft in hand specimens and they appear in thin sections as impregnations of the matrix with diffuse boundaries. They appear as mottles in the field. Soil textural class is clay. Fine clay markedly predominates over coarse clay. Soils are illitic Vertisols with a very high total clay content which have generated vertic features. The hydromorphic influence is manifested by the type and abundance of redoximorphic features, which are related to the degree of hydromorphism within each profile and the associated properties.

**Key words.** Vertisolization, hydromorphism, sedimentology, Buenos Aires province.

#### RESUMEN

Los suelos predominantes en la Planicie costera del río de La Plata, provincia de Buenos Aires, son Vertisoles hidromórficos. Se estudian cuatro suelos representativos en los partidos de La Plata, Ensenada y Berazategui. Se describen y analizan detalladamente las propiedades pedológicas y sedimentológicas. El objeto de esta contribución es analizar: a- la granulometría y mineralogía de los Vertisoles hidromórficos de la Llanura de fango del río de la Plata; b- su influencia en la generación de los rasgos morfológicos y c- los procesos de pedogénesis asociados. La morfología de los suelos muestra rasgos de vertisolización e hidromorfismo principalmente en los horizontes superiores y medios de los suelos. Son abundantes los agregados cuneiformes y angulares moderados y fuertes en el solum, con superficies de deslizamiento interpedales, a veces estriadas, visibles en distintos niveles de observación. La matriz puede ser moderadamente o marcadamente anisotrópica y muestra zonas de anisotropismo óptico que atraviesan el material fino con patrones variados o aureolas anisotrópicas alrededor de los poros y granos. La hidromorfía es marcada, con anegamientos frecuentes de origen pluvial; la capa freática está a profundidad general entre 0,80 y 1,20 m, por lo que estarían en condiciones de episaturación y endosaturación en distintos momentos del año. Poseen variedad de rasgos redoximórficos, principalmente matrices reducidas (matices de 2,5Y y 5Y e intensidades de 2 o menores), concentraciones redox de hierro y manganeso y pátinas oscuras. La clase textural es arcillosa, con amplio predominio de la arcilla fina sobre la gruesa. Son Vertisoles illíticos, con muy elevado contenido de arcilla total que genera rasgos vérticos. La influencia hidromórfica se manifiesta por la abundancia y color de las pátinas que están relacionadas con el grado de hidromorfía dentro de cada perfil y las propiedades asociadas al proceso.

**Palabras clave.** Vertisolización, hidromorfismo, sedimentología, provincia de Buenos Aires.

<sup>1</sup> Instituto de Geomorfología y Suelos. FCNyM. Universidad Nacional de La Plata. Calle 3 N° 584 (B1902CIX). La Plata. Argentina. Tel.: (0221) 422-9923. 2 CIC. Autor para correspondencia: [micromorfologia@igs.edu.ar](mailto:micromorfologia@igs.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

Los Vertisoles son suelos cuya génesis surge de la granulometría y mineralogía heredada del material originario, sumadas a características geomórficas que aseguran variaciones del contenido de humedad del suelo a lo largo del tiempo. El interés por el conocimiento de las propiedades, génesis y comportamiento de los Vertisoles data desde comienzo del siglo XX (Jensen, 1911) y llega hasta el presente desde distintas ópticas de la Ciencia del Suelo. Son muy estudiados en el mundo con distintos niveles de observación, posiblemente por la importancia de su comportamiento físico en aspectos aplicados de uso y manejo de suelos; estas investigaciones incluyen desde análisis de morfologías macroscópicas, comportamiento físico y replanteos sistemáticos (Stephen *et al.*, 1956; Paton, 1974; Yaalon & Kalmar, 1978; Knight, 1980; Thompson & Beckman, 1982; Isbell, 1991; Wilding *et al.*, 1990, 2002) e impactos sociales (Coulombe *et al.*, 1996), hasta estudios micromorfológicos y submicroscópicos vinculados a las propiedades hídricas de los suelos (Hénin, 1937; McCormack & Wilding, 1973; Tessier & Berrier, 1978; Wilding & Hallmark, 1984; Bruanda & Tessier, 1987).

En la Argentina los Vertisoles se describen y estudian en varias provincias y en diferentes materiales originarios (INTA, 1990; RCA, 2004; Imbellone *et al.*, 2010). Así, en Entre Ríos, De Petre y Stephan (1998), compendian las propiedades de Vertisoles principalmente desarrollados en margas arcillosas de la Formación Hernandarias descripta por Iriondo & Kröhling (2008). En el sur de Corrientes, Cumba *et al.* (2005) estudian las propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de Vertisoles cuyos materiales originarios son las areniscas y basaltos del Grupo Solari-Serra Geral y sedimentitas lacustres de la formación Toropí Yupoi (Ligier *et al.*, 2001). La Manna *et al.* (2004) describen Vertisoles hidromórficos en la provincia del Chubut, en sedimentos glaciafluviales ricos en esmectitas, donde los bosques densos y puros de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) muestran síntomas de deterioro debido a las características de los materiales originarios de los suelos. También se estudian en Neuquén, desarrollados en materiales tobaceos terciarios (Irisarri *et al.*, 1980) y en Buenos Aires en sedimentos loésicos (Imbellone & Giménez, 1990). Estudios microscópicos y submicroscópicos se realizaron en Vertisoles y suelos vertisólicos de Entre Ríos (Jongerius & Bolfils, 1964; Stephan *et al.*, 1983; De Petre, 1988; De Petre & Stephan, 1998), Chaco meridional (Morrás, 1993;

Morrás, *et al.*, 1998) y Buenos Aires (Imbellone & Giménez, 1990).

En la Llanura costera del río de la Plata, provincia de Buenos Aires, las primeras menciones de suelos con características vérticas provienen de Cappannini y Mauriño (1966), formados en sedimentos marino-estuarícos correspondientes al Piso Querandinense de Ameghino. Sin embargo, los trabajos completos con descripciones de los suelos, mineralogía de arcillas y registros difractométricos corresponden a Iñiguez & Scoppa (1970) y Vargas Gil *et al.* (1972). Cumba e Imbellone (2004) describen la organización de arcillas expansivas e Imbellone *et al.* (2009) aportan relaciones geoquímicas de los suelos vinculadas con los factores de formación.

La Llanura costera del nordeste bonaerense constituye un ambiente adecuado para el desarrollo de Vertisoles, que adicionalmente poseen rasgos hidromórficos por sus características topográficas y la naturaleza de los sedimentos. Este ambiente litoral se generó en la etapa evolutiva más reciente del río de la Plata, entre la última glaciación de finales del Pleistoceno y la transgresión holocena. Limita al oeste con la llanura alta loésica, separada por un escalón topográfico labrado durante el máximo transgresivo y al este por la porción subácuea del delta del Paraná. Es una franja de relieve plano-cóncavo, con cotas menores a 5 m s.n.m. La Llanura de fango, geofoma donde se desarrolla este estudio, está ubicada en la parte distal respecto de la línea de costa, cuyo ancho máximo se encuentra en la zona de Punta Lara y se estrecha hacia la zona de Berazategui. Las cotas medias oscilan entre 1,25 y 2,50 m s.n.m. y se encuentra recostada sobre la llanura continental. El clima es húmedo, mesotermal, con bajo a nulo déficit de agua, con precipitación anual de 1.040 mm y temperatura media anual de 16,2°C. Los suelos se desarrollan en la Facies Villa Elisa de la Formación Las Escobas (3.500 a 2.500 años AP) cuyos sedimentos depositados en la etapa regresiva del mar, contienen abundante limo y arcilla. Esta propiedad permitió relacionar los depósitos a un ambiente sometido a acción de mareas en la zona de mezcla de aguas dulces y salobres donde floccularon los sedimentos finos (Cavalloto & Violante, 2005). Así, la naturaleza de los materiales originarios de los suelos como también las características geomorfológicas y climáticas favorecen el desarrollo de suelos vérticos muy hidromórficos (Imbellone *et al.*, 2002).

La diferenciación pedológica de Vertisoles suele ser escasa y los rasgos característicos se generan por la con-

dición física del material del suelo tanto en horizontes superficiales como subsuperficiales. Por ese motivo los Vertisoles clásicos descritos en la literatura poseen perfiles con horizontes A, C ó A, (B), C resultantes de un proceso de argilopedoturbación en vez de horizontación. El proceso de vertisolización genera morfologías características a diversas escalas de observación, como microrelieves y estructuras diapíricas en el paisaje, tipos de estructura del suelo angular y cuneiforme y agregados de esas características en mesoescala, como también fábricas de birrefringencia y estriadas, vacíos planares y organización planar orientada de partículas en microescala. Desde una óptica conceptual, es interesante mencionar que los rasgos y procesos genéticos que tienen lugar en los Vertisoles son una evidencia de apoyo a la teoría genética regresiva de los suelos sustentada en la haploidización, en contraposición con la teoría evolutiva tradicional sustentada por la horizontación (Johnson *et al.*, 1987). Este hecho se manifiesta en suelos del área de estudio donde es posible encontrar horizontes A muy influenciados por la biota y un conjunto de horizontes B muy semejantes.

El objeto de esta contribución es analizar la granulometría y mineralogía de los Vertisoles hidromórficos

de la llanura de fango del río de la Plata y su influencia en los rasgos y procesos de pedogénesis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizan cuatro Natracuertes representativas de la zona, ubicados en los partidos de La Plata, Ensenada y Berazategui (Fig. 1). Se describen y analizan detalladamente las propiedades pedológicas y sedimentológicas. La morfología de los suelos se describió en el campo y en laboratorio se analizaron los parámetros básicos para poder clasificarlos, en este caso, carbono orgánico, pH, resistencia eléctrica y sodio de intercambio, según las normas en vigencia (Soil Survey Staff, 1993, 2006).

Para determinar la distribución detallada de tamaño de partículas de los materiales que forman los horizontes se realiza el análisis granulométrico por tamizado en seco y el método de la pipeta a intervalos de 1 phi ( $\phi$ ), utilizando la escala sedimentológica de Udden-Wentworth.

Hay temas de la Pedología que están estrechamente vinculados a la Geología, como en el caso que nos ocupa: la evolución de suelos en depósitos sedimentarios. De todas maneras hay parámetros que se utilizan específicamente en Pedología

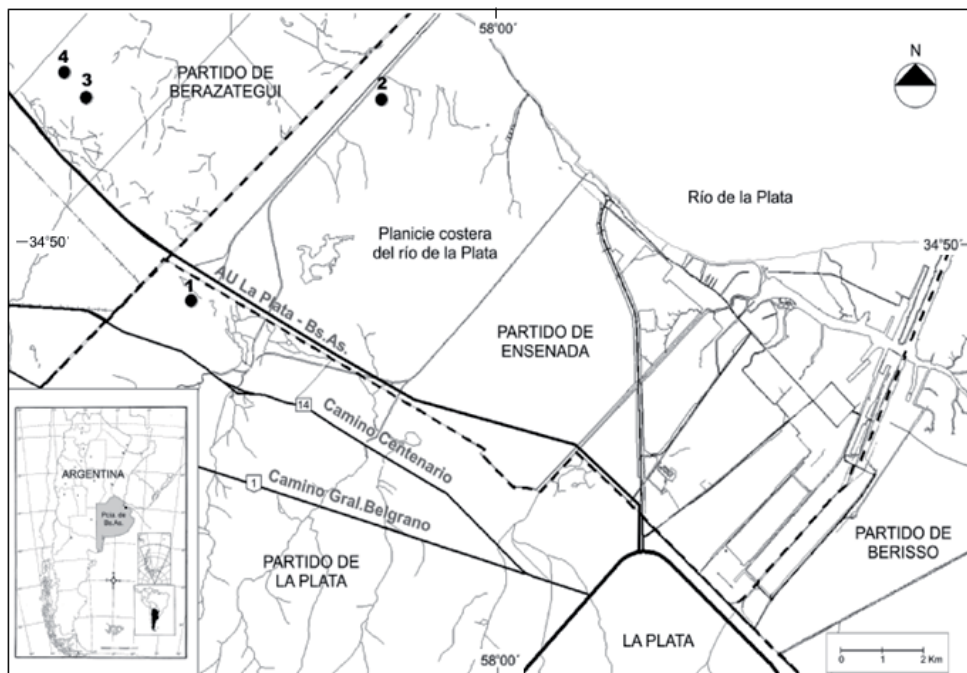


Figura 1. Mapa de ubicación de los Vertisoles. Pedón 1 ( $34^{\circ} 50' 30''$  S;  $58^{\circ} 05' 00''$  O) partido de La Plata; pedón 2 ( $34^{\circ} 48' 10''$  S;  $58^{\circ} 02' 00''$  O) partido de Ensenada; pedones 3 ( $34^{\circ} 48' 15''$  S;  $58^{\circ} 06' 30''$  O) y 4 ( $34^{\circ} 47' 40''$  S;  $58^{\circ} 07' 00''$  O) partido de Berazategui.

Figure 1. Location map of representative Vertisols. Pedon 1 ( $34^{\circ} 50' 30''$  S,  $58^{\circ} 05' 00''$  W) La Plata county, pedon 2 ( $34^{\circ} 48' 10''$  S;  $58^{\circ} 02' 00''$  W) Ensenada county, pedons 3 ( $34^{\circ} 48' 15''$  S,  $58^{\circ} 06' 30''$  W) and 4: ( $34^{\circ} 47' 40''$  S,  $58^{\circ} 07' 00''$  W) Berazategui county.

y que es conveniente respetar. Este es el caso del análisis textural según el USDA que se consigna en la tabla correspondiente. Adicionalmente, la utilización de la escala sedimentológica, en la cual el límite superior de la fracción arcilla es de 4 mm, permite analizar más detalladamente la naturaleza del material del suelo porque incluye mayor cantidad de intervalos granulométricos. También permite calcular los parámetros sedimentarios estadísticos que pueden estar destinados a caracterizar el tamaño medio de grano (medidas de tendencia central: moda, media y mediana) o diferentes aspectos de la distribución de la población con respecto al tamaño medio (selección asimetría y kurtosis). En este trabajo se presenta sólo la media gráfica (Mz), que es el diámetro promedio de todas las partículas que integran el sedimento. Este trabajo está enfocado desde la óptica pedológica, pues se discuten características de procesos de esa índole, no obstante la naturaleza del material originario y en particular sus características en la parte inferior de los suelos muestra estructuras sedimentarias primarias como estratificación plana y laminaciones. Por tanto se considera que es ilustrativo y adecuado utilizar las escalas específicas de ambas disciplinas para caracterizar los materiales. En otra línea de pensamiento, el uso de la escala sedimentológica amplía el espectro de interés de los lectores, particularmente en los suelos tratados aquí donde el componente sedimentario es importante. Se usa la representación gráfica del histograma, en el cual cada una de las barras representa la frecuencia de la clase granulométrica correspondiente.

La dispersión física y química se realizó por métodos convencionales (hexametafosfato de sodio y agitación mecánica). Al efectuar un control óptico de las subfracciones de arena con lupa binocular se observó la persistencia de pseudopartículas limo-arcillosas formando parte de las subfracciones más gruesas, por tanto, se practicó dispersión ultrasónica durante 3 minutos, tratamiento que fue parcialmente exitoso. Luego del tratamiento matemático de los datos de distribución de tamaños (porcentajes y porcentajes acumulados) se construyeron las curvas acumulativas, a partir de las cuales se obtienen los parámetros estadísticos: media, desviación standard, asimetría y kurtosis, de los cuales sólo se presenta la media gráfica (Mz).

Cuando los horizontes poseen estructura laminar, las capas de cada horizonte se pueden identificar en el campo por el color y dependiendo de su espesor, por la textura al tacto; pero las propiedades analíticas se obtienen sobre una muestra representativa del horizonte mezclando las capas, por tratarse de un trabajo pedológico. No obstante, en un caso (pedón 4, horizonte 4CBg2) se realizó el análisis granulométrico de las capas independientemente para comprobar la textura determinada al tacto en el campo.

La mineralogía de arenas se realizó por microscopía óptica (subfracción arena muy fina, 88-125  $\mu\text{m}$ ); más detalladamente se observaron las características de trizas de vidrio volcáni-

co (2 preparados) y de pseudopartículas (2 preparados) mediante microscopía electrónica de barrido; en ambos casos un preparado se realizó con la fracción total y el otro se preparó picando con un estilete numerosas partículas de vidrio y pseudopartículas bajo lupa binocular y pegando las mismas sobre cinta engomada doble faz la que se adhiere al soporte del microscopio electrónico; las especies minerales de arcillas se determinaron por difracción de rayos X en muestras orientadas, saturadas con magnesio al natural, glicoladas y calcinadas, y leídas con programa Origin. La descripción micromorfológica se realizó según Bullock *et al.* (1985).

La fracción gruesa (arena más limo) se recalculó sobre base no arcillosa, considerando la arcilla menor a 2 mm; éste es un método tradicional en Pedología para estimar la fracción inmóvil de los materiales ante la redistribución producida por procesos pedológicos y para verificar la presencia de discontinuidades litológicas propias del sedimento original, habida cuenta que en los suelos analizados la fracción arena es muy escasa, aunque no así el limo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características de los suelos

Los suelos de la Llanura de fango (Tabla 1) se desarrollan en un ambiente de humedal costero del río de la Plata, con *condiciones ácuicas* (Soil Survey Staff, 2006). Las características específicas de estas condiciones son: a) saturación de los horizontes, b) rasgos redoximórficos observables en el perfil del suelo y c) grado de reducción del suelo estimado o medido por métodos físico-químicos. Los suelos del área están afectados por anegamientos frecuentes de origen pluvial y capa freática alta, a profundidad general entre 0,80 y 1 metro y estarían en condiciones de episaturación y endosaturación en distintos momentos del año. Poseen variedad de rasgos redoximórficos, principalmente matrices reducidas con matices de 2,5Y y 5Y e intensidades de 2 o menores y concentraciones redox de hierro y manganeso, con predominancia del segundo.

Las condiciones hídricas, sumadas a la topografía plano-cóncava y la vegetación generan un sistema con marcados procesos de hidromorfía que afecta tanto a Vertisoles como a otros suelos de la planicie costera del río de la Plata.

El espesor de materiales superficiales arcillosos es mayor en el suelo del partido de La Plata (aproximadamente 1 m de potencia) que en los de Ensenada y Bera-

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas seleccionadas de Vertisoles. Planicie costera del río de la Plata.

Table 1. Selected physical and chemical properties of Vertisols. Rio de la Plata Coastal Plain.

Horiz.	Prof. cm	Color Munsell		Estructura tipo; clase; grado	pH	C.O. %	Arena %	Limo %	Arcilla	Clase textural
		seco	húmedo							
<b>Pedón 1</b>										
A	0-10	10YR 6/2	10YR 2/2	bloques ang.; med.; mod.	7,6	4,2	3,9	47,4	48,7	arcillosa
Bssg1	10-31	2,5Y 6/2	2,5Y 3/2	bloques ang.; med.; mod.	8,5	2,0	3,3	39,5	57,2	arcillosa
Bssg2	31-70	5Y 4/1	5Y 3/1	bloques ang.; med.; mod.	8,2	1,0	2,0	29,7	68,2	arcillosa
Bssg3	70-115	5Y 4/1	5Y 3/1	bloques ang.; med.; mod.	7,7	0,4	3,0	26,1	70,9	arcillosa
2Cg1	115-135	7,5YR 8/3	7,5YR 4/4	bloques ang.; med.-fin.; mod.	7,3	0,1	27,4	62,1	10,3	franco limosa
3Cg2	135-145+	7,5YR 8/3 Manchas 5Y 4/1	7,5YR 5/4	bloques ang.; med.- fin.; débiles	7,2	0,1	14,0	67,4	18,5	franco limosa
<b>Pedón 2</b>										
Enlame	0-2	10YR 4/2	10YR 2/2	granular; fin.; mod.	6,1	13,2	5,7	34,0	60,3	arcillosa
A	2-5	10YR 5/2	10YR 2/2	bloques ang.; med.; mod.	5,6	6,8	1,1	35,7	63,2	arcillosa
Bssg1	5-26	10YR 5/2	10YR 2/1	bloques ang. cun.; gr.; fuertes	6,1	3,2	0,8	34,2	65,0	arcillosa
Bssg2	26-58	2,5Y 5/2	2,5Y 3/2	bloques ang. cun.; gr.; fuertes	7,0	0,6	0,4	32,1	67,5	arcillosa
2BCg	58-80	10YR 6/2	10YR 3/1	laminar; med.; mod.	8,1	0,3	11,1	44,1	44,8	arcillosa
3Cg	80-120 +	moteados 7,5YR 6/8	7,5YR 4/2	masiva	8,4	0,1	60,9	24,5	14,6	franco arenosa
		10YR 6/2 moteados 7,5YR 6/8	10YR 4/2 7,5YR 4/2							
<b>Pedón 3</b>										
Enlame	0-4									
Ag	4-20	2,5Y 3/1	2,5Y 3/2	bloques ang. med.-fin.; f.- muy f.	8,3	1,9	2,2	28,8	69,1	arcillosa
Bssg1	20-36	2,5Y 4/2	2,5Y 3/2	bloques ang.; med.-fin.; fuertes	8,3	0,9	2,6	24,2	73,1	arcillosa
2Bssg2	36-57	conc. 7,5YR 5/8 y 10YR 5/6 2,5Y 5/1; mot. 7,5YR 2/1	2,5Y 5/2	bloques ang.; med.-fin.; fuertes	9,1	0,7	0,3	27,8	71,8	arcillosa
2Bssg3	57-80	conc. 7,5YR 5/8 2,5Y 6/1	2,5Y 5/2	bloques ang.; gr.-fin.; fuertes	9,0	0,3	3,4	40,0	56,5	arcillosa
3BCg	80-90	conc. 2,5Y 5/4 capa * 2,5Y 6/3 capa # 2,5Y 4/3	2,5Y 4/3	laminar; bloques ang.; med.- fin.; débiles	9,0	0,2	13,4	43,2	43,5	arcilla limosa
3Cg1	90-100	moteados 2,5YR 5/6 capa * 2,5Y 6/3 capa # 2,5Y 4/3	2,5Y 4/3	laminar; bloques ang.; med.- fin.; fuertes	8,8	0,2	19,3	52,9	27,8	franco arcillosa
4Cg2	100-126	moteados 2,5Y 5/6 capa * 2,5Y 7/2 capa # 2,5 Y 5/2	2,5Y 5/2	laminar; bloques ang.; fin- muy fin.; débiles	9,2	0,1	29,7	39,3	30,9	franco arcillosa
5Cg3	126-136+	capa * 2,5Y 6/2 capa # 2,5Y 5/2	2,5Y 4/2 2,5Y 3,5/2	laminar; bloques ang.; med; débiles	7,8	0,2	10,4	44,3	45,3	arcilla limosa
<b>Pedón 4</b>										
Enlame	0-2									
Ag	2-15	2,5Y 5/2	2,5Y 3/2	bloques ang.; med.; fuertes	6,5	1,8	1,3	36,3	62,4	arcillosa
2Bssg	15-30	2,5Y 4,5/2	2,5Y 3/2	bloques ang.; med.-fin.; mod.	7,7	0,7	5,9	37,8	56,3	arcillosa
2BCg	30-48	capa * 2,5Y 7/3 capa # 2,5Y 4/2	2,5Y 5/2 2,5Y 4/3	laminar; bloques ang.; med.- muy fin.; fuertes	7,7	0,6	5,2	35,5	59,3	arcillosa
3BCg	48-63	moteados 2,5Y 5/6 capa * 2,5Y 6/2 capa # 2,5Y 4/2	2,5Y 5/4	laminar; bl.ang.; me.- fin.; mod. a débiles	7,1	0,3	23,8	45,3	31,0	franco arcillosa
4CBg1	63-70	moteados 2,5Y 7/3 capa * 2,5Y 7/2 capa # 2,5Y 4/2	2,5Y 5/2	laminar; bloques ang.; med.- fin.; fuertes	7,4	0,2	19,5	60,2	20,3	franco limosa
4CBg2	70-80	moteados 2,5Y 7/3 capa * 2,5Y 7/2	2,5Y 4,5/2	laminar; bloques ang.; gr.- fin.; fuertes	6,9	0,2	17,7	60,2	22,1	franco limosa
5Cg	80-90+	capa # 2,5Y 4/1 moteados 2,5Y 7/3	2,5Y 3/1	bloques ang.; med.; mod.	7,6	0,2	36,3	50,9	12,8	franco limosa
		2,5 Y 6/3	2,5 Y 4/3							

Referencias: C.O.: carbono orgánico. A: arena (2 mm – 62 µm), L: limo (62 – 2 µm), a: arcilla (< 2 µm). Estructura: bl: bloques, ang: angulares, cun: cuneiforme; fin.: fino, med.: medio, gr.: grueso; f.: fuerte, mod.: moderado, déb.: débil. \* capa «clara» franco limosa, # capa «oscura» arcillosa.

References: C.O.: organic carbon. A: sand (2 mm – 62 µm), L: silt (62 – 2 µm), a: clay (< 2 µm). Structure: bl: blocky, ang: angular, cun: wedge-shaped; fin.: fine, med.: medium, gr.: coarse; mod.: moderate; déb.: weak; f.: strong. fr.: loam; \* «light» silt loam layer, # «dark»

zategui (entre 50 y 80 cm). Todos los suelos, en la base, poseen materiales originarios estratificados, pero esta condición es más relevante en Berazategui; donde hay alternancia de capas oscuras y claras de origen sedimentario.

La vegetación de la Planicie costera del río de la Plata constituye una porción de los pastizales pampeanos de la Pampa Deprimida (Vilanova *et al.*, 2006). Las comunidades vegetales principales de la planicie costera son: praderas saladas, hunquillares, espartillares, praderas húmedas, juncuales, pajonales, duraznillares, talares y pastizales psamófilos. Particularmente, en la Llanura de fango se encuentran: 1) pradera salada: comunidad halófila de suelos y pantanos salinos y alcalinos (*Distichlis spicata*, *Distichlis scoparia* y *Sarcocornia perennis*); 2) pradera húmeda: comunidad de suelos húmedos, terrenos bajos e inundables y bordes de lagunas (*Carex bonariensis*, *Eleocharis* sp., *Cyperus* sp., y *Panicum* sp.); 3) juncuales, pajonales y duraznillares: comunidades de hidrófilas (*Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, *Eryngium* sp. y *Solanum glaucophyllum*).

Es de destacar que los suelos 1 y 2 se encuentran en posición topográfica relativamente más baja que los 3 y 4, con mayor abundancia de vegetación hidrófila, a diferencia de los últimos que ocupan posiciones planas con mayor proporción de especies menos adaptadas a condiciones de anoxia prolongadas. Las comunidades vegetales de la zona plana son transicionales, con mayor o menor variedad de especies según la microtopografía del terreno que genera diferencias locales en algunas propiedades de los suelos (pH, salinidad, alcalinidad, etc.). Así, en las zonas planas alternan localmente especies indicadoras de alta salinidad (*Salicornia* sp.) con otras indicadoras de pH moderado (*Solanum glaucophyllum*, «duraznillo»). En cambio en las depresiones se encuentran especies más hidrófilas, con comunidades de juncuales y pajonales, como en los suelos 1 y 2. Diferentes tonos en las fotografías aéreas muestran la variabilidad espacial de la vegetación en función de pequeñas variaciones de relieve. La vegetación no se considera un factor activo en la génesis de los Vertisoles (Coulombe *et al.*, 1996), pero en los suelos en estudio adquiere importancia por el carácter hidromórfico de los mismos que favorece la acumulación de materia orgánica.

La inundación y saturación causa cambios en el suelo que afecta el crecimiento y vida de las plantas. Al saturarse el suelo cambia la estructura durante los prime-

ros días de saturación, especialmente en suelos arcillosos, por expansión de los coloides, hecho más marcado en suelos salinos que en suelos calcáreos o ácidos. La expansión hace que los suelos arcillosos se transformen casi en impermeables, generando la acumulación de agua en la superficie por períodos importantes después de las lluvias y generando estrés hídrico en las plantas. También la alternancia de ciclos húmedos y secos produce fuerte agrietamiento que afecta el crecimiento de las raíces, restringe su penetración y las comprime. Además, los suelos alcalinos cuando están inundados tienden a bajar el pH (Ponnamperuma, 1972). Algunas plantas no pueden vivir cuando el ambiente es deficitario en oxígeno en algún período durante el año, en cambio otras desarrollan diversas adaptaciones para vivir en suelos saturados o con otras características como suelos muy arcillosos. Entre las adaptaciones morfológicas están aquellas que permiten optimizar el intercambio de gases como es el desarrollo del tejido denominado *aerénquima*. Este sistema interno de grandes espacios llenos de aire está destinado a transportar oxígeno atmosférico a las raíces y de esa manera se crea un ambiente oxidante alrededor de las raíces (rizósfera oxidada) y viven aeróbicamente en un medio de crecimiento anaeróbico (Tiner, 1999). Este autor discute y aporta referencias acerca de adaptaciones vegetales en medios anaeróbicos.

La morfología de los suelos muestra claros rasgos de vertisolización. No se observa microrrelieve gilgai ni estructuras diapíricas intrusivas (*mukkara*), término vernáculo australiano que significa «dedo» (Paton, 1974), como en Vertisoles de Entre Ríos y Corrientes (Ligier *et al.*, 2001) y Punta Piedras en Buenos Aires (Ferrer *et al.*, 1971), en cambio son muy abundantes las superficies de deslizamiento interpedales, a veces estriadas, y visibles en distintos niveles de observación, desde megascópico hasta microscópicamente. Estos rasgos, denominados también barnices de tensión; forman la superficie de los agregados cuneiformes, angulares moderados y fuertes en los horizontes superiores y medios de los suelos (A: A, A1, Ag; B: Bssg1, Bssg2, Bssg3). Esta porción de los suelos adquiere condiciones de humedad entre mojado y saturado con casi nula permeabilidad durante la mayor parte del año; en cambio durante el período de déficit hídrico estival, que tiene lugar durante los meses de diciembre, enero y febrero, pueden estar húmedos y excepcionalmente secos. Durante un período de dos años de observación mensual, sólo una vez en el mes de febrero el suelo estuvo seco desde la superficie con grietas superficiales

de hasta 1 cm de ancho. Cuando la variación de humedad es marcada, la contracción del material genera un drenaje preferencial (tipo «by pass») interpedal y en el espacio de la franja de adsorción entre las paredes de las raíces y la masa mineral. Algunos de los factores que afectan la contracción y expansión de material son: alto contenido de arcilla fina, máximo cambio en contenido de humedad, bajo contenido de sales de sodio entre otros (Wilding, 2004). En nuestro caso, el primer parámetro se cumple y el grado de desecación es variable, ya que los suelos de las zonas más bajas (perfil 1 y 2) se encuentran saturados la mayor parte del año, en cambio, los de la zona plana pueden tener menor humedad los meses de verano. Algunos horizontes con alto contenido de sodio se encuentran en profundidad y pueden tener escasa influencia en el comportamiento de conjunto del suelo.

Los suelos presentan características variables en relación al contenido y distribución de materia orgánica (MO) y pH. Con respecto a la MO, cuando la saturación del suelo es prolongada la mineralización de la misma se hace más lenta pues la actividad microbiana es menos eficiente. Las condiciones anaeróbicas impiden la oxidación de los restos orgánicos generando la acumulación de MO. Si el contenido de la misma no es suficientemente alto para formar horizontes o capas orgánicas, los suelos húmedos pueden tener horizontes minerales superficiales espesos y oscuros, como en algunos de los suelos presentados. Analizando el contenido y distribución del carbono orgánico (CO) se observa un elevado tenor en superficie con disminución progresiva en profundidad, diseño típico generado por vegetación de estepa. Los suelos 1 y 2 poseen abundante CO en los horizontes A y Bssg1, en un espesor de 30 cm aproximadamente, en cambio, en los pedones 3 y 4, sólo el horizonte A es rico en CO y el espesor se reduce a 20 cm. Estas propiedades se vincularían con la posición en el terreno de cada suelo que influye en la evolución de los componentes orgánicos. Cabe señalar que muchos suelos poseen un enlame superficial con contenidos de CO muy altos constituidos por restos orgánicos semidescompuestos y parcialmente enterrados por el pisoteo del ganado vacuno. El contenido de MO de los Vertisoles es variable, desde menos de 2 a 8% (Wilding, 2004). En los suelos estudiados el contenido de CO es más alto que en los Vertisoles de Entre Ríos (De Petre & Stephan, 1998), particularmente en los horizontes superficiales debido a la influencia de las condiciones hidromórficas.

No hay patrón definido de distribución del pH, el cual es variable, aunque los horizontes superficiales son más

ácidos. Los valores más altos están en: suelo 1: (pH 8,5) entre 10 y 30 cm; suelo 2: (pH 8,4) a mayor profundidad, entre 58 y 120 cm; suelo 3: (pH 9,2) entre 36 y 126 cm de profundidad; suelo 4: (pH 7,7) a distintas profundidades, entre 15 y 48 cm y entre 80 y 90 cm.

Con respecto a las variables hidromórficas de los suelos de la Llanura de fango se tiene información para el suelo 1 solamente, aunque pueden tomarse como referencia para otros suelos de la zona con condiciones genéticas similares. El valor medio del Eh del horizonte A es 321 mV, con valores menores en otoño e invierno, en el Bssg1 el valor promedio es más alto, 442 mV y los menores también en invierno. El suelo se encuentra en una depresión alimentada por agua pluvial que favorece el anegamiento, que sumado a la baja permeabilidad hace que la hidromorfia sea más intensa en los horizontes superiores. Este hecho se refleja en la mayor cantidad de  $Fe^{2+}$  y  $Mn^{2+}$  solubles en esos horizontes: A, Fe 1,75 mg  $kg^{-1}$ , Bssg1 1,00 mg  $kg^{-1}$ ; A, Mn 72,2 mg  $kg^{-1}$ , Bssg1 93,9 mg  $kg^{-1}$ . A pesar del estado de alta humedad durante la mayor parte del año los valores del Eh no descienden lo suficiente como para aumentar la cantidad de Fe soluble. Mayor discusión se encuentra en Imbellone *et al.*, 2009.

Las reacciones de oxidación-reducción de compuestos fácilmente reducibles en suelos saturados son procesos biogeoquímicos y están regulados por la circulación de aire en los poros del suelo y el consumo de oxígeno por los microorganismos. El cambio del estado oxidado al estado reducido está asociado con la presencia de Fe y Mn soluble y pH ácido. El Fe y Mn son más fácilmente reducibles en el suelo a pH neutro que alcalino. Muchos de los indicadores morfológicos de estados reducidos del suelo provienen de la transformación, pérdida y translocación de compuestos de Fe y Mn que son insolubles cuando están oxidados y solubles cuando están reducidos. Esta transformación es microbiológicamente inducida y también influenciada por factores ambientales, como la temperatura, la fuente de energía microbiana, cantidad de materiales reducibles y pH (Bell & Richardson, 1997). Además la acción microbiológica sobre la materia orgánica produce dióxido de carbono, que en solución libera iones hidrógeno aumentando las formas intercambiables de Fe, Mn, Al, Ca y Mg. Como se dijo, los suelos en estudio poseen pH variable en el momento de muestreo, adicionalmente el suelo 1 posee pH variable a lo largo de sucesivas lecturas en más de una unidad, particularmente para el horizonte A donde hay abundancia de

CO (variaciones de pH entre 7 y 8,5, en 21 medidas) y los estados reducidos se manifiestan principalmente por el Mn. Durante las observaciones mensuales que se efectuaron sistemáticamente durante dos años, en la depresión donde se desarrolla el Pedón 1, en una oportunidad, se percibió un intenso olor a ácido sulfídrico. También se detectó reacción positiva al  $\alpha$   $\alpha$  dipiridil en el horizonte A de manera discontinua temporalmente. Estos dos temas requieren una investigación sistemática.

### Granulometría

El rasgo más distintivo es la clase textural arcillosa (USDA, 1993) o fangosa (Folk, 1954) que presenta la sección superior y media de los suelos (Tabla 1, Tabla 2, Fig. 2), correspondiendo a materiales de origen marino estuárico. En el Pedón 1 (partido de La Plata), la base del perfil, de textura franco limosa, corresponde a sedimentos loésicos de la Formación Pampeano y en los Pedones 2 (partido de Ensenada), 3 y 4 (partido de Berazategui) la base presenta laminación, con alternancia de capas «oscuras» arcillosas y capas «claras» de textura más gruesa, ambas de origen estuárico. La arena es la fracción minoritaria y la moda se encuentra en arena muy fina (AMF). El limo varía entre 26 y 47% en los horizontes superiores, con predominio de las subfracciones finas, y hacia la base oscila entre 43 y 67% con predominio de las subfracciones gruesas. Como se manifestó, hay una inexactitud en el tenor de las subfracciones por la presencia de pseudopartículas en las fracciones gruesas. Si bien por un lado esta condición arroja un error en las proporciones relativas de las subfracciones granulométricas, por otro lado muestra el comportamiento físico real de las partículas del material de los suelos.

La fracción arcilla es dominante en el solum (entre 48 y 71%) y disminuye notablemente (10 a 45%) hacia la base de los suelos. La arcilla fina (menor a 1 mm) es mucho más abundante que la gruesa (4-1 mm), pero se debería a una condición litogénica, ya que no hay evidencias de movilización de arcilla fina, por pedogénesis.

El patrón de distribución granulométrico que se repite en todos los pedones con pequeñas diferencias en cada uno de ellos, queda manifestado tanto por la clase textural como por el contenido de cada subfracción (Fig. 2). Además, considerando los valores de tamaño promedio o Mz (Fig. 3), en la porción superior y media de los perfiles se observa que en general, hay mayor proporción de materiales finos (valores de Mz entre 9 y 10,5  $\emptyset$  que

corresponden a limo muy fino y arcilla) e incremento de tamaño de partículas hacia la base (valores de Mz entre 5 y 6,7  $\emptyset$  correspondientes al tamaño limo grueso-limo mediano); este patrón sugiere una disminución general de la energía del agente de transporte hacia la superficie. Una tendencia semejante también se observa en los valores de las fracciones gruesas recalculadas eliminando la arcilla, a partir de las cuales quedan verificadas las discontinuidades litológicas del sedimento original. Estas, son mejor expresadas por las subfracciones arena muy fina y limo grueso con variaciones que marcan los cambios granulométricos de los diferentes depósitos del ambiente estuárico. En el Pedón 1 este cambio se atribuye a la transición hacia los sedimentos loésicos que se encuentran en el sustrato. El mismo es bien marcado en el perfil por su cercanía a la zona del «escalón» que separa el ambiente de influencia continental y marino en el litoral del NE bonaerense. En los Pedones 2, 3 y 4 la tendencia se repite hasta los horizontes Bssg; en cambio, hacia la base de los suelos, cuando presentan estratificación fina o muy fina (hasta 10 cm de espesor) y laminación muy fina, mediana a gruesa (hasta 30 mm de espesor), el valor de Mz pierde exactitud. Esto se debe a que el muestreo por horizonte hace que se mezclen los sedimentos de más de una capa o lámina; entonces cualquier parámetro textural es engañoso; contrariamente, si se analiza cada capa por separado, claramente se identifica cada una con valores de Mz correspondientes al sedimento original, como se muestra en el horizonte 4CBg (Pedón 4), constituido por 2 capas y donde cada una posee valores de Mz correspondientes a tamaño arcilla y limo mediano, respectivamente.

La relación arcilla gruesa/arcilla fina es una relación indirecta que permite inferir procesos de movilización diferencial por tamaño de partículas, por procesos pedológicos, cuando va acompañada por la presencia de rasgos de iluviación. En suelos cuyos horizontes poseen fuerte dinamismo estacional la identificación de revestimientos texturales se ve dificultada debido a la incorporación y o destrucción de los mismos. En los suelos estudiados, la evidencia granulométrica no muestra enriquecimiento de arcilla fina en ningún horizonte o porción de los perfiles. Por ese motivo, los rasgos de vertigénesis se generarían por las propiedades del material originario y hay que evitar confundirlos con rasgos de ilimerización.

En la información granulométrica se presentan parámetros indicadores de procesos sedimentarios y pedológicos. Las fracciones gruesas pueden considerarse poco afectadas por reorganización pedológica, por tanto su-



Tabla 2. Composición granulométrica de Vertisoles de la Llanura costera del río de Plata, según la escala sedimentológica de Udden-Wentworth.  
Table 2. Grain-size distribution of Vertisols. Río de la Plata Coastal Plain. Using the Udden-Wentworth sedimentological scale.

µm	2000/1000	1000/500	500/250	250/125	125/62	62/31	31/16	16/8	8/4	4/2	2/1	< 1	Textura Folk (1954)	Mz arc.g <sup>(1)</sup> /arc.f <sup>(2)</sup>	Fración gruesa sin arcilla arena <sup>(3)</sup> %	limo <sup>(4)</sup> %	
φ	-1 - 0	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	< 10		φ			
<b>Pedón 1</b>																	
A	0.1	0.3	0.3	0.8	2.5	5.5	9.3	10.8	11.9	9.9	8.2	40.4	fango	9	0.4	9.6	90.4
Bssg1	0.0	0.7	0.4	0.6	1.6	5.7	8.2	3.6	12.0	10.0	5.0	52.2	arcilla	9.6	0.3	10.1	89.9
Bssg2	0.0	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	4.6	6.2	9.7	8.8	8.1	60.2	arcilla	10.3	0.3	8.7	91.3
Bssg3	0.0	0.9	0.7	0.7	0.7	3.6	0.3	3.7	13.0	5.5	5.5	65.4	arcilla	10.4	0.2	12.7	87.3
2Cg1	0.0	1.6	4.6	6.7	14.6	22.1	18.7	10.0	6.7	4.7	4.0	6.3	limo arenoso	5.4	1.4	32.4	67.6
3Cg2	0.0	0.3	0.9	2.4	10.4	17.9	18.2	13.3	10.4	7.6	7.4	11.2	limo arenoso	6.5	1.3	19.0	81.0
<b>Pedón 2</b>																	
Enlame	0.0	0.0	0.1	4.0	1.5	2.0	5.1	8.4	10.4	8.1	5.3	55.1	arcilla	9.9	0.2	17.8	82.2
A	0.0	0.0	0.1	0.1	0.9	3.9	1.0	13.0	9.7	8.2	4.9	58.2	arcilla	10.1	0.2	3.8	96.2
Bssg1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.5	2.4	2.8	13.7	5.5	9.9	4.9	60.0	arcilla	10.2	0.2	3.2	96.8
Bssg2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.1	4.1	10.9	3.0	13.1	8.1	59.4	arcilla	10.2	0.4	1.5	98.5
2BCg	0.0	0.0	0.1	0.2	10.7	13.4	8.3	9.3	0.2	13.0	6.3	38.5	fango arenoso	8.5	0.5	26.1	73.9
3Cg	0.0	0.0	0.0	2.7	58.2	16.0	2.6	2.9	0.2	2.8	2.4	12.2	arena fangosa	5.2	0.4	73.7	26.3
<b>Pedón 3</b>																	
Ag	0.1	0.7	0.5	0.4	0.5	1.5	0.8	4.0	12.4	10.1	10.0	59.0	arcilla	10.3	0.3	10.5	89.5
Bssg1	0.9	0.7	0.3	0.3	0.4	0.6	1.2	2.2	8.2	12.0	11.4	61.7	arcilla	10.5	0.4	17.6	82.4
2Bssg2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.6	1.3	5.5	10.0	10.4	10.0	61.9	arcilla	10.4	0.3	1.7	98.3
2Bssg3	0.0	0.2	0.0	0.1	3.1	4.1	9.6	8.8	7.9	9.6	9.0	47.6	arcilla	9.4	0.4	10.2	89.8
3BCg	0.0	0.9	0.2	0.8	11.5	12.1	11.8	4.9	8.2	6.3	5.0	38.4	fango arenoso	8.2	0.3	26.5	73.5
3Cg1	0.1	0.1	0.1	0.5	18.6	26.0	10.5	6.8	5.1	4.6	4.0	23.7	fango arenoso	6.8	0.4	28.6	71.4
4Cg2	0.0	0.0	0.0	0.7	29.0	21.0	7.3	2.9	3.6	4.5	4.0	26.9	fango arenoso	6.7	0.3	46.1	53.9
5Cg3	0.0	0.0	0.0	0.3	10.1	17.5	8.5	5.2	6.2	6.9	4.9	40.4	fango arenoso	8.3	0.3	21.8	78.2
<b>Pedón 4</b>																	
Ag	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	3.6	5.8	5.8	9.7	11.4	10.0	52.4	arcilla	9.9	0.4	4.7	95.3
2Bssg	0.0	0.2	0.3	0.4	5.0	9.3	4.9	6.2	7.4	10.0	9.0	47.3	arcilla	9.1	0.4	17.4	82.6
2BCg	0.0	0.2	0.1	0.2	4.7	2.1	12.7	4.7	8.3	7.7	6.9	52.4	arcilla	9.4	0.3	15.9	84.1
3BCg	0.0	0.1	0.1	0.7	22.9	28.1	4.6	4.8	3.9	3.9	3.0	28.1	fango arenoso	6.8	0.2	36.4	63.6
4Cg1	0.0	0.0	0.0	0.4	19.1	10.6	35.1	8.3	2.9	3.3	1.7	17.2	limo arenoso	6.5	0.4	25.5	74.5
4Cg2 *	0.0	0.0	0.0	0.3	17.4	25.7	17.1	9.0	5.4	3.0	2.6	19.5	limo arenoso	6.5	0.3	23.5	76.5
4Cg2 #	0.0	0.0	0.0	0.2	5.7	7.5	9.5	3.5	10.0	8.7	8.2	46.7	fango	9.2	0.4	16.0	84.0
5Cg	0.0	0.0	0.0	0.7	35.6	37.1	8.0	0.5	3.0	2.3	2.1	10.7	limo arenoso	5.1	0.4	42.7	57.3

Referencias: \* capa limo arenosa; # capa arcillosa; <sup>(1)</sup> arcilla gruesa 4 - 1 µm; <sup>(2)</sup> arcilla fina < 1 µm; <sup>(3)</sup> arena 2 mm - 62 µm; <sup>(4)</sup> limo 62 - 4 µm. Mz: Media gráfica.

References: \* sandy silt layer # clayey layer; <sup>(1)</sup> coarse clay 4 - 1 µm; <sup>(2)</sup> fine clay < 1 µm; <sup>(3)</sup> sand 2 mm - 62 µm; <sup>(4)</sup> silt 62 - 4 µm. Mz: Graphical Mean.

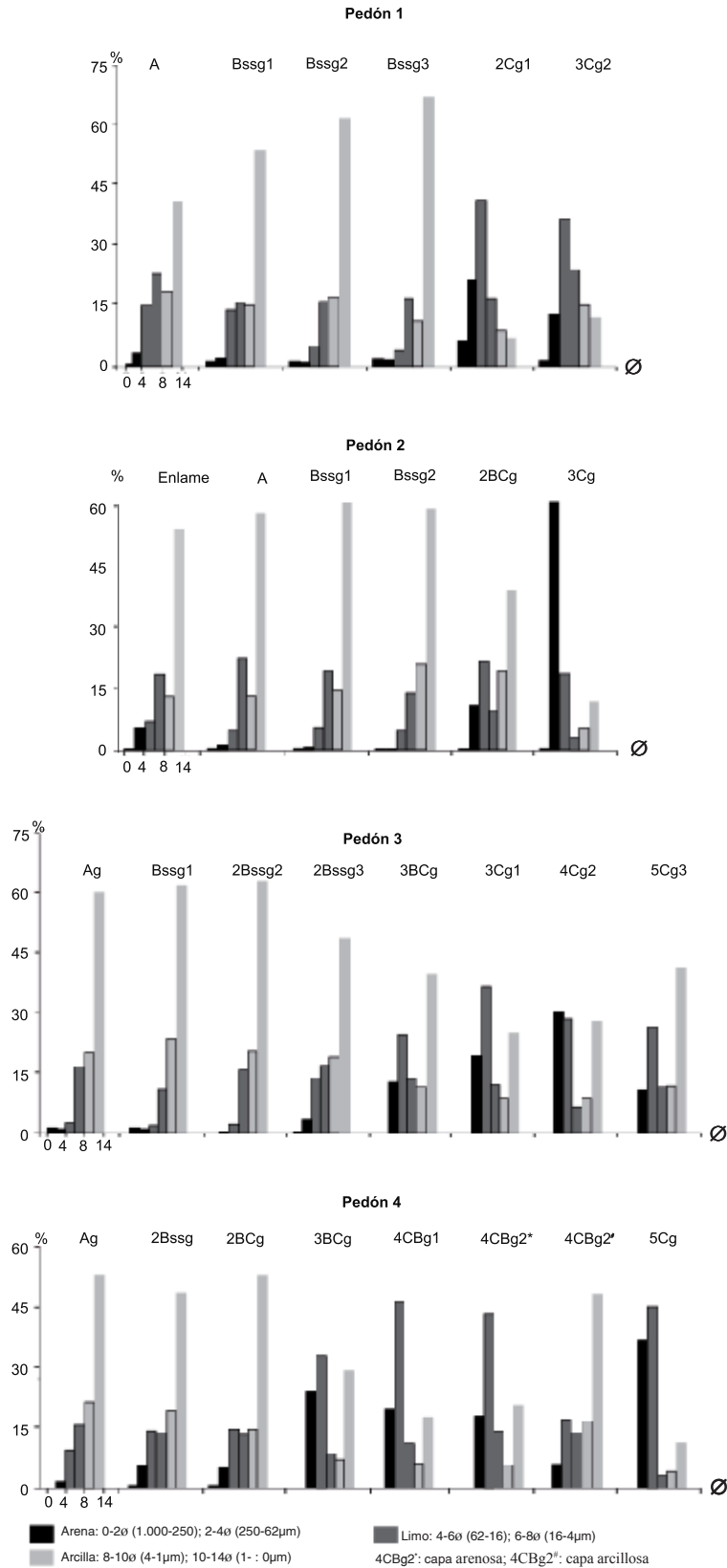


Figura 2. Histogramas de distribución granulométrica. Representación a intervalos de 2 φ, salvo la última columna que abarca 4 φ.

Figure 2. Grain-size distribution histograms. Columns represent 2 φ intervals, except the last column which represents 4 φ.

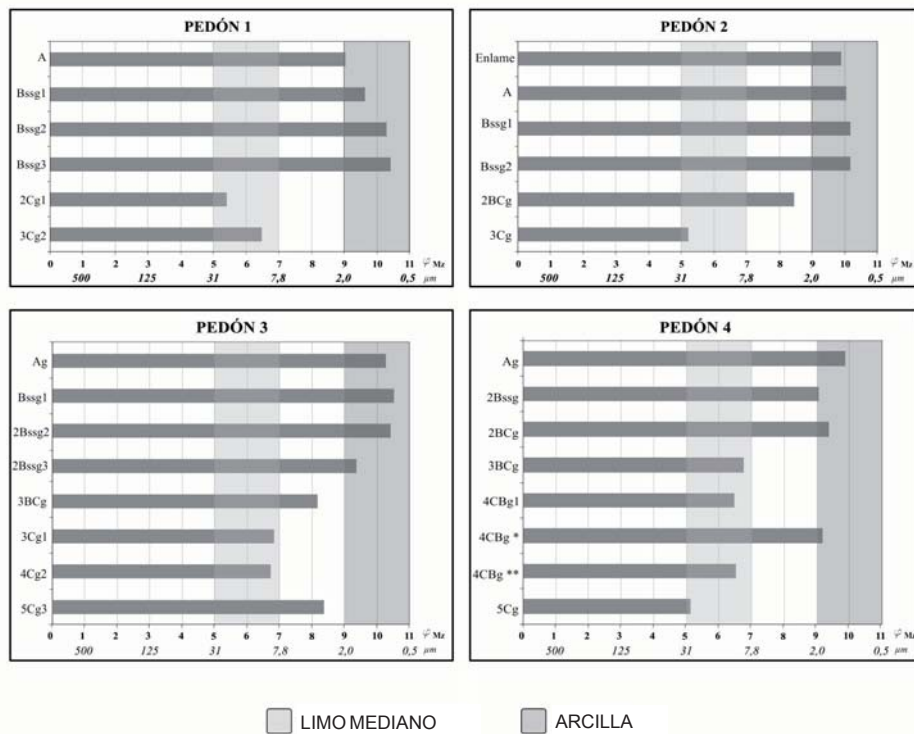


Figura 3. Media gráfica (Mz) de la distribución granulométrica.  
Figure 3. Graphical mean values of the grain size distribution.

gieren la presencia de cambios depositacionales que se registra principalmente en la base de los suelos. Tomando con indicadores de diferencias sedimentarias a las fracciones gruesas se observa que las fracciones arena muy gruesa (AMG), arena gruesa (AG) y arena media (AM) tienen poca influencia en la caracterización del sedimento original por su escasa presencia. En cambio, la AMF, junto con las subfracciones limo grueso (LG) y limo medio (LM) marcarían diferencias depositacionales, particularmente entre los horizontes superiores e inferiores de los suelos. Igualmente estas diferencias quedan señaladas por los contenidos totales de arena y limo sin arcilla.

Considerando como posibles indicadores de evolución pedológica a las fracciones más finas se observa que hay cierta linealidad en profundidad del contenido de las subfracciones de arcilla, con algunas variaciones que acompañan a los indicadores sedimentarios, hecho que también surge de la relación arcilla gruesa/arcilla fina. Esta relación no registra variaciones en profundidad que indiquen una concentración de origen pedológico de partículas más finas en horizontes iluviales, como ocurre en numerosos suelos de la Región Pampeana evolucionados

en sedimentos loésicos. Basta mencionar que el desarrollo evolutivo de muchos de los suelos pampeanos se manifiesta por la redistribución del material fino en el perfil generando horizontes Bt. Este hecho no acontece en los suelos estudiados y queda verificado por: a) la tendencia de las funciones profundidad de parámetros texturales y b) la muy escasa presencia de rasgos de iluviación en secciones delgadas. Sólo en una oportunidad se encontró un rasgo de iluviación destacado. Restaría hacer un estudio exhaustivo para registrar la presencia de rasgos de iluviación y discutir la posible utilización del símbolo «t» en estos suelos, donde la presencia del proceso no se descarta, pero su envergadura podría ser limitada extensivamente. El clima húmedo y la variabilidad local en condiciones y tiempo de saturación haría posible el proceso de iluviación de arcilla, pero extensivamente la iluviación está dificultada por la textura de los materiales originarios y el estado permanente de humedad de los suelos. Por lo expuesto, en los suelos estudiados la fracción arcilla también sería un indicador sedimentario.

Para analizar las características vérticas de los suelos hay que tener en cuenta que el contenido de arcilla total

en el solum de todos los suelos supera el 50% y la arcilla fina ( $< 1 \mu\text{m}$ ) a veces supera el 90% de la fracción arcilla. La mayor proporción de cambios de volumen de suelos con elevado tenor de arcilla fina se atribuyen a cambios en la microestructura y porosidad a nivel submicroscópico. Numerosos estudios muestran la influencia de la microestructura de la arcilla, Tessier (1984) y Wilding & Tessier (1988) entre otros. La arcilla fina tiene gran cantidad de espacios interparticulares en los agregados de partículas denominados «dominios» y «casicristales» en el caso de la illita y las esmectitas, respectivamente. El ordenamiento en estas unidades deja gran cantidad de poros entre los componentes de la organización del material (porosidad interparticular) y/o dentro del «casicristal» (porosidad intraparticular). El fenómeno de expansión/contracción ocurre debido a las fuerzas capilares de las inter e intrapartículas con una porosidad de 1-3  $\mu\text{m}$ . Además, el contenido de humedad afecta la organización estructural mencionada de las partículas de arcilla muy fina, ya que a 0,03 bars de tensión presentan una estructura esponjosa, a 1 bar de tensión las paredes de los vacíos colapsan y a 10 bars de tensión se produce un solapamiento de las paredes de las partículas (Wilding & Tessier, 1988). Algunos de estos fenómenos se han ensayado en el suelo 1 donde el horizonte Bssg1 tiene contenido de agua retenido a 0,3 bares de 62,1%, registrando 90% de expansión libre y en el Bssg2 ese contenido es de 65,7% con 190% de expansión libre. Con respecto al tamaño de los poros predominan los ultramicroporos donde el tamaño medio del eje mayor de los poros es de 0,2  $\mu\text{m}$  (ul-

tramicroporos: 5-0,1  $\mu\text{m}$ , Brewer, 1964). Por lo expuesto, los suelos en estudio son ideales para enfocar este tipo de investigaciones escasamente abordadas en el país (Morrás, 1993; Cumba & Imbellone, 2004).

### Mineralogía

El análisis de grano suelto de las fracciones gruesas reviste algunas particularidades en relación a los procesos pedológicos que acontecen en los suelos y a propiedades del sedimento original. La composición mineral de los cristaloclastos de la fracción arena tiene muy poca influencia en el proceso de vertisolización que afecta a los suelos debido su mínima representación en la masa total del suelo. En cambio, la presencia de nódulos ferromangáníferos evidencia el proceso de hidromorfismo generalizado en el área. Además, la observación microscópica permite identificar la naturaleza vítrea (Fig. 4a) de algunas capas intercaladas en el sedimento estuárico y la presencia de pseudopartículas (Figs. 5a y 5b), que en forma indirecta indica la naturaleza arcillosa del material de origen.

*Fracción arena mayor a 250  $\mu\text{m}$ :* todos los suelos poseen menos del 2% de granos minerales, entre 20 y 30% de agregados no dispersos y tosquillas epigénicas y más del 60% de nódulos ferromangáníferos. Estos últimos están constituidos por agregados de partículas de la matriz del suelo cementadas con óxidos ferromangáníferos. Todos poseen abundante contenido de hierro en proporciones variables entre 10 y 40%, acompañado por compuestos de manganeso entre 1 y 15% (Imbellone y Mor-

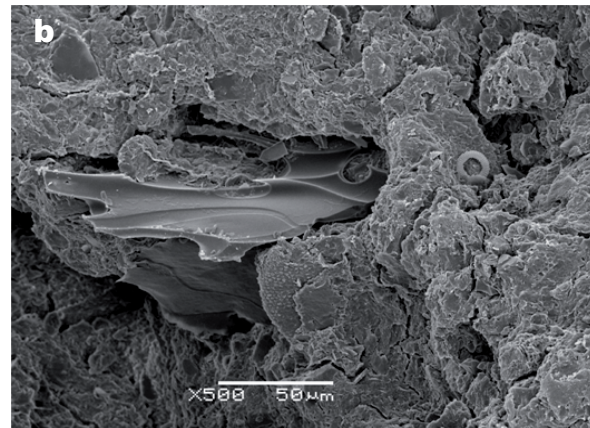
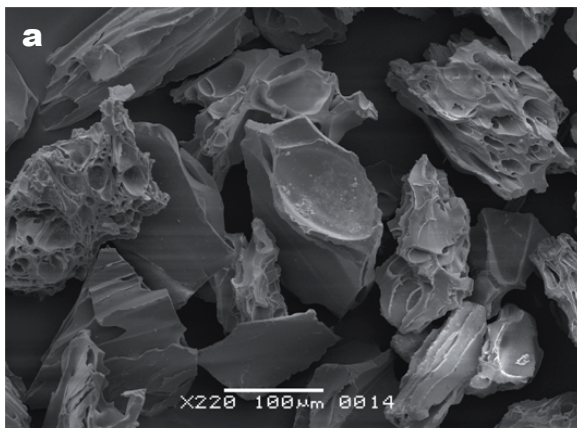


Figura 4. Vitroclastos en la fracción 88-125  $\mu\text{m}$ , horizonte 4Cg2, Pedón 3. MEB (a) y Vitroclasto en un nódulo cementado con sesquióxidos, horizonte Btssg3, Pedón 3. MEB (b)

Figure 4. Glass shards in the 88-125  $\mu\text{m}$  fraction, 4Cg2 horizon, Pedon 3. SEM (a) and Glass shard in a sesquioxidic nodule, Btssg3 horizon, Pedon 3. SEM (b).

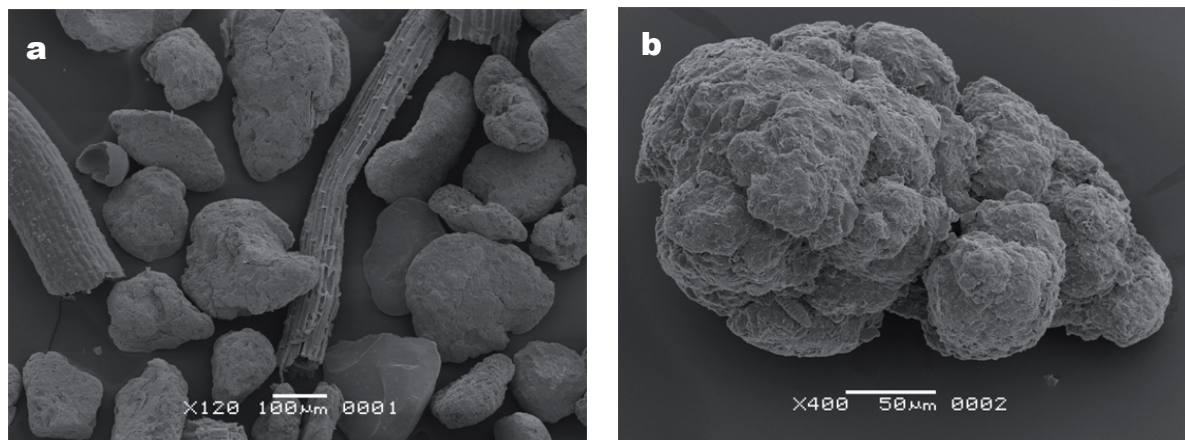


Figura 5. Microagregados (pseudopartículas) y restos vegetales de la fracción mayor a  $250 \mu\text{m}$ , horizonte Bssg1, Pedón 1. MEB (a) y Detalle de un microagregado (pseudopartícula) de la fracción  $125\text{-}250 \mu\text{m}$ , horizonte Bssg1, Pedón 1. MEB (b).

Figure 5. Microaggregates (pseudoparticles) and plant remains in the fraction coarser than  $250 \mu\text{m}$ , Bssg1 horizon, pedon 1. SEM (a) and detail of a microaggregate (pseudoparticle) in the  $125\text{-}250 \mu\text{m}$  fraction, Bssg1 horizon, Pedon 1. SEM.

meneo, 2010). Estos componentes serían principalmente de segregación pedológica y serán objeto de otro trabajo.

*Fracción arena entre 88 y 125  $\mu\text{m}$ :* posee una mineralogía simple, con escasa diversidad mineral en todos los suelos. Sin embargo, hay cambios cuantitativos de vitroclastos, que a veces coinciden con los granulométricos, e indican discontinuidades litológicas del sedimento original. La proporción de pseudopartículas y alteritas es muy elevada, a veces alcanzando el 70% excepto en las capas vítreas. El componente más variable es el vidrio volcánico que se encuentra en la matriz del suelo (Fig. 4a) y también en los nódulos impregnativos (Fig. 4b). En oquedades de los nódulos se encontraron minerales euedrales posiblemente de neoformación. En todos los suelos hay frústulos de diatomeas.

En el suelo del partido de La Plata (Pedón 1) hay cambios mineralógicos entre el material de origen estuárico y el material loésico continental que forma la base del perfil y en los de Ensenada (Pedón 2) y Berazategui (Pedones 3 y 4) hay marcados cambios porcentuales. En todos los suelos, los minerales livianos son: plagioclasas, cuarzo, microclino, ortoclasa, litoclastos de pastas felsíticas y pilotácicas, con máximos en los horizontes A, vidrio volcánico, alteritas (incluidas las pseudopartículas), opacos y minerales pesados como hornblenda, augita, epidoto, biotita y granate.

En el Pedón 1, los horizontes A y Bssg1 presentan 40% de vidrio volcánico y en los subyacentes (Bssg2, Bssg3), desciende hasta 5% acompañado por gran cantidad de

alteritas. Aquí, casi todos los clastos están recubiertos por pátinas rojizas y hay granos de óxidos posiblemente de origen pedogenéticos, opacos, negros y con bordes marmelonados. En la base (2Cg1, 3Cg2) el vidrio volcánico es escaso y casi todos los granos están recubiertos por pátinas opacas que dificultan su identificación. En los horizontes superiores del Pedón 2 (A, Bssg1, Bssg2), no hay variaciones marcadas y están presentes vidrio volcánico, plagioclasas, microclino, cuarzo, alteritas, pastas cuarzo-feldespáticas y menos del 1% de pesados (epidoto, hornblenda, circón y granate). Con la profundidad la cantidad de cristales translúcidos disminuye por la presencia de pátinas sesquioxídicas pardo anaranjadas, generadas por intenso hidromorfismo; hay escaso vidrio volcánico, plagioclasa y cuarzo. En los suelos de Berazategui hay variaciones porcentuales relativas de vidrio volcánico y alteritas. El vidrio volcánico se encuentra como clastos en la matriz del suelo, incluso en las zonas cementadas por óxidos. En el Pedón 3, hasta el horizonte 2Bssg2 hay escaso vidrio volcánico y abundantes opacos y alteritas, relación que se invierte, hasta alcanzar en los horizontes C más del 90% de vidrio. En el Pedón 4 el vidrio volcánico aumenta progresivamente desde superficie (Ag: 45%, 2Bssg: 75%) hasta superar el 95% en la base del suelo (2BCg a 5Cg). El vidrio volcánico varía entre 96 y 98% en todos los horizontes C, incluso en las láminas del horizonte 4CBg2 analizadas en forma independiente, por lo tanto la diferencia estructural se relaciona principalmente con la composición granulométrica del sedimento.

Es interesante mencionar las características del vidrio volcánico que se encuentra en la AMF en capas de pocos centímetros de potencia. Por la abundancia de vitroclastos en la fracción arena muy fina y la pureza del depósito poseerían características de un depósito piroclástico. Como se observa en la Figura 4a, la morfología de las trizas presenta variado grado de vesicularidad: compactas, escasa a alta vesicularidad y vesicularidad fluidal. La observación de aproximadamente 50 partículas montadas en la preparación y de la totalidad del material de una capa, muestra que no hay evidencias de desvitrificación sino que las superficies son lisas y lustrosas. Estas propiedades sugerirían que provienen de aerosoles. También en

la matriz del suelo hay partículas de las características mencionadas mezcladas con otras que poseen material fino dentro de las vesículas, posiblemente depositadas en el sedimento fangoso del estuario proveniente, tanto del material aportado por aerosoles como de materiales retrabajados por los cursos de agua desde el área continental como los traídos por el río Paraná. Unas y otras se habrían depositado como capas o mezcladas con otros materiales en un ambiente estuárico de baja energía, con un régimen de flujo muy bajo a intermedio al considerar el agente de depositación (Spalletti, 1980).

*Fracción arcilla menor a 2  $\mu$ m.* Los minerales de la fracción arcilla (Tabla 3 y Fig. 6) están constituidos por:

Tabla 3. Mineralogía de arcillas de Vertisoles de la Llanura costera del río de la Plata. Análisis semi-cuantitativo de la composición mineralógica de arcillas en las fracciones < 2  $\mu$ m y de la masa total del suelo < 2 mm.

Table 3. Clay minerals of Vertisols. Río de la Plata Coastal Plain. Semi-quantitative analysis of the mineralogical composition of the clay in fractions < 2  $\mu$ m and the total mass of soil < 2 mm.

Horizonte	Fracción < de 2 mm			Fracción < de 2 $\mu$ m		
	C	I	E	C	I	E
	%					
<b>Pedón 1</b>						
A	6	36	6	13	74	13
Bssg1	11	34	11	19	60	20
Bssg2	14	22	33	20	32	48
Bssg3	14	30	27	20	42	38
2Cg1	1	6	3	8	62	32
3Cg2	1	9	8	7	49	44
<b>Pedón 2</b>						
Enlame	11	37	12	19	61	20
A	9	34	20	15	54	31
Bssg1	11	29	24	17	45	37
Bssg2	12	23	31	18	34	46
2BCg	8	17	21	17	37	46
3Cg	2	5	8	12	36	52
<b>Pedón 3</b>						
Ag	10	33	26	14	48	38
Bssg1	9	33	32	12	45	44
2Bssg2	9	32	31	13	45	43
2Bssg3	7	17	33	13	29	58
3BCg	5	11	27	11	26	62
3Cg1	3	7	18	10	26	64
4Cg2	5	9	18	15	28	57
5Cg3	6	9	30	13	20	67
<b>Pedón 4</b>						
Ag	6	29	27	9	47	44
2Bssg	7	17	32	13	31	57
2BCg	8	23	29	13	38	48
3BCg	4	7	20	14	23	63
4CBg1	2	3	16	9	13	78
4CBg2 *	11	16	28	19	29	52
4CBg2 #	3	5	15	12	22	66
5Cg	1	2	10	7	12	80

Referencias: \* capa limo arenosa; # capa arcillosa. C: caolinita; I: illita; E: expandibles (esmectitas e interestratificados illita-esmectita).  
References: \* sandy silt layer, # clayey layer; C: kaolinite, I: illite, E: expandables (smectite and interstratified I/S).

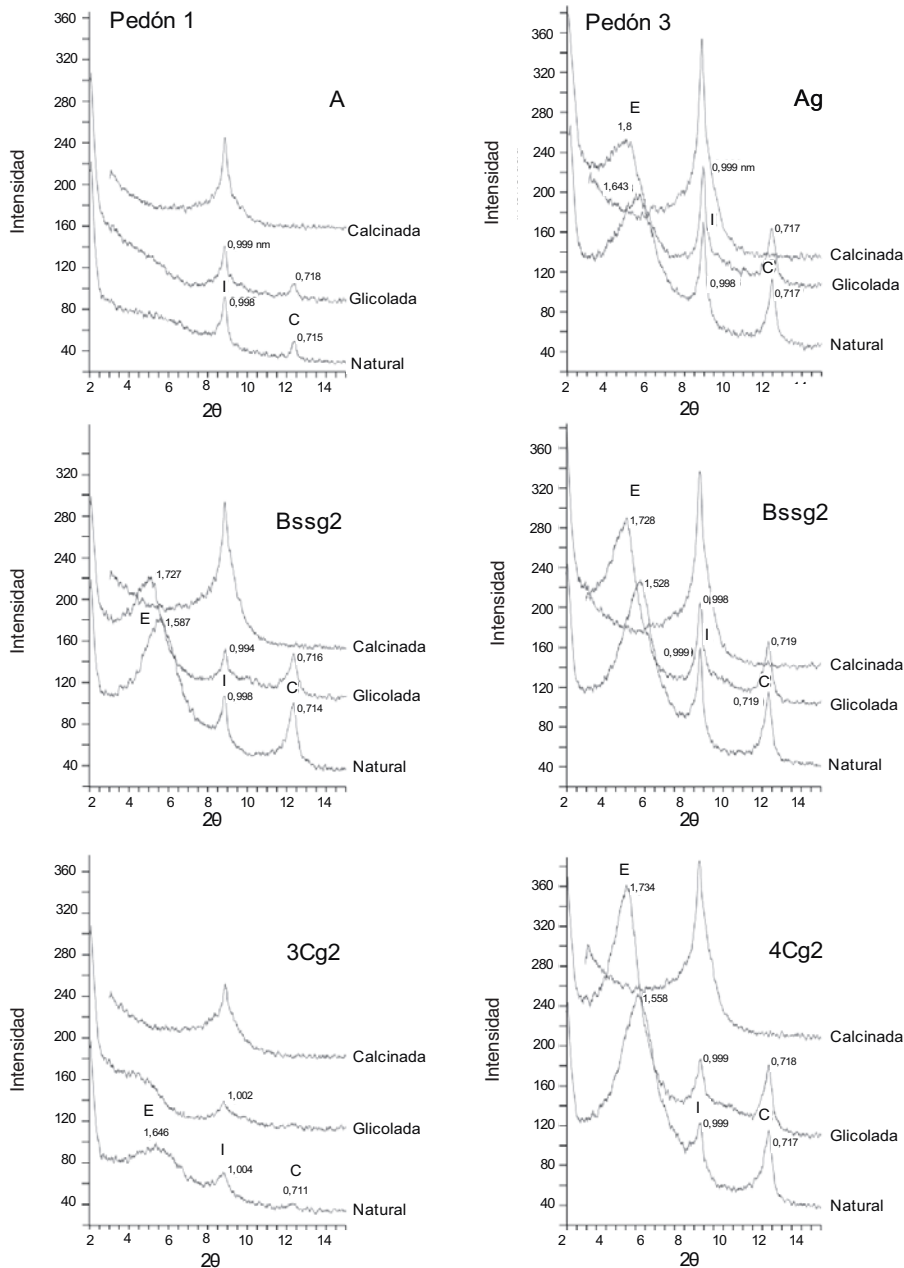


Figura 6. Registros difractométricos de la fracción arcilla  $< 2 \mu\text{m}$ , Pedones 1 y 3.

Figure 6. X-Ray diffractograms of clay fraction  $< 2 \mu\text{m}$ , Pedons 1 and 3.

illita, «expansivos» (considerados en conjunto esmectitas e interstratificados esmectita/illita) y caolinita, con predominancia de los primeros. La abundancia relativa entre ambos es variable; en los suelos de La Plata y Ensenada hay predominancia general de illita sobre expansibles, relación que se hace más irregular en los suelos de Berazategui. La illita, a veces acompañada por caolinita, tiende a disminuir hacia la base de los suelos, indicando

que los aportes sedimentarios más modernos se fueron enriqueciendo en éste último mineral a medida que los sedimentos se hacían más finos. La distribución de expansibles en profundidad es más variable. Los porcentajes y tipos de las especies arcillosas encontradas coinciden con las informadas en un trabajo pionero (Cappannini *et al.*, 1964) donde se estudia un suelo cuyo horizonte superficial posee aproximadamente 70% de illita y los más pro-

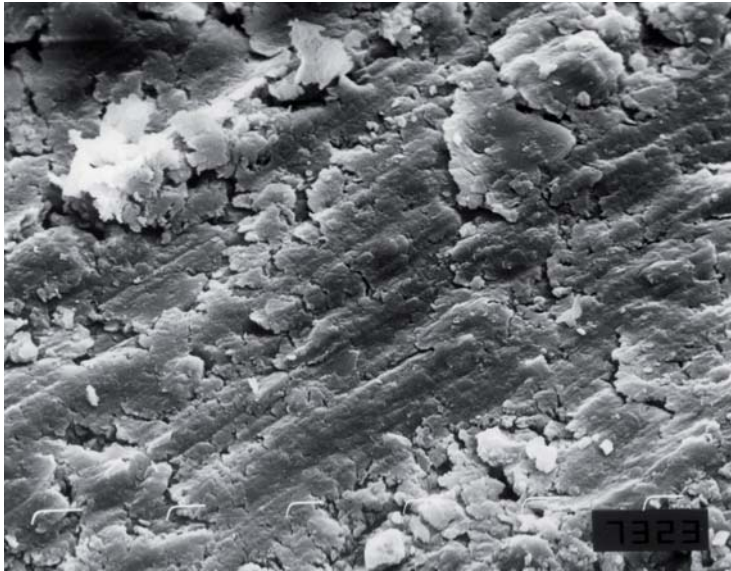


Figura 7. Morfología de una superficie de deslizamiento en un agregado cuneiforme. Pedón 1 horizonte Bssg2. MEB, barra 10  $\mu\text{m}$ .

Figure 7. Morphology of a slickenside on a wedge-shaped ped. Pedon 1, Bssg2 horizon. SEM, bar 10  $\mu\text{m}$ .

fundos cerca de 50% (entendidas como porcentajes de fracción < a 2  $\mu\text{m}$ ). Los argilominerales corresponderían al conjunto sedimentario que se formó durante la transgresión holocena que acompañó al descenso del nivel del mar. En la interfase de aguas fluviales y marinas se produjo la floculación y depositación que constituyen los materiales originales de los suelos en estudio. En ese ambiente los materiales provendrían del aporte de «sedimentos pampeanos» con abundancia de illita y descargas del río Paraná superior y medio y Paraguay superior con esmectitas y caolinita (Cavaloto, 1995).

El comportamiento dinámico del material se relaciona con la elevada cantidad de arcilla illítica y esmectítica en la masa total del suelo (Tabla 3). El comportamiento mencionado ocurre en casi todos los suelos de textura arcillosa, principalmente esmectítica, aunque recientemente se identifican Vertisoles con abundante caolinita (Wilding, 2004), o como en estos suelos, que son Vertisoles illítico-esmectíticos, con predominancia del primer mineral en la mayoría de los horizontes o cantidades semejantes. Los rasgos de vertisolización con distinto grado de expresión se encuentran en la porción superior y media de los suelos donde la variación de humedad estacional es más marcada. La condición intrínseca del material queda caracterizada por los valores de expansión libre que en la mayoría de los casos supera el 100% (Sunensen, 2000). Esta condición de los suelos es generada por la presencia de minerales arcillosos litogénicos de origen sedimentario.

### Micromorfología

La observación micromorfológica de los horizontes con rasgos vérticos muestra que la microestructura está formada por bloques angulares con superficies planas parcialmente acomodadas entre sí y superficies estriadas con vacíos interpedales muy pequeños, que se cortan en ángulo recto. La relación gruesos a finos (g/f) es aproximadamente 30/70, límite 50  $\mu\text{m}$ , o sea que la mayor parte del material es fino, esta relación también puede observarse en la superficie de la fractura de un agregado (Figs. 8 a y b). La composición de la fracción gruesa se detalló previamente; posee fábrica al azar excepto en los horizontes inferiores (C y algunos BC) de los pedones que presentan fábrica sedimentaria laminar subparalela.

La fábrica de birrefringencia del material fino muestra un patrón de extinción puntual (stipple-speckled) por la abundancia de la fracción limo y estriada (striated-b-fabric); la fracción fina es tan abundante que posee una fábrica de birrefringencia casi isotropa por partes y estriada, biestriada, granoestriada, poroestriada con fuerte orientación paralela general, estriada reticular con conjuntos birrefringentes en ángulos rectos a reticular por partes (Fig. 9), tanto en la matriz como en torno a granos minerales de tamaño arena; la fuerte orientación de la fracción fina evidencia comportamiento dinámico del material durante procesos de contracción y expansión estacional en los horizontes que en el campo se designaron con los subíndices «ss» (Fig. 7). En la nomenclatura de los horizontes se privilegió el proceso pedológico



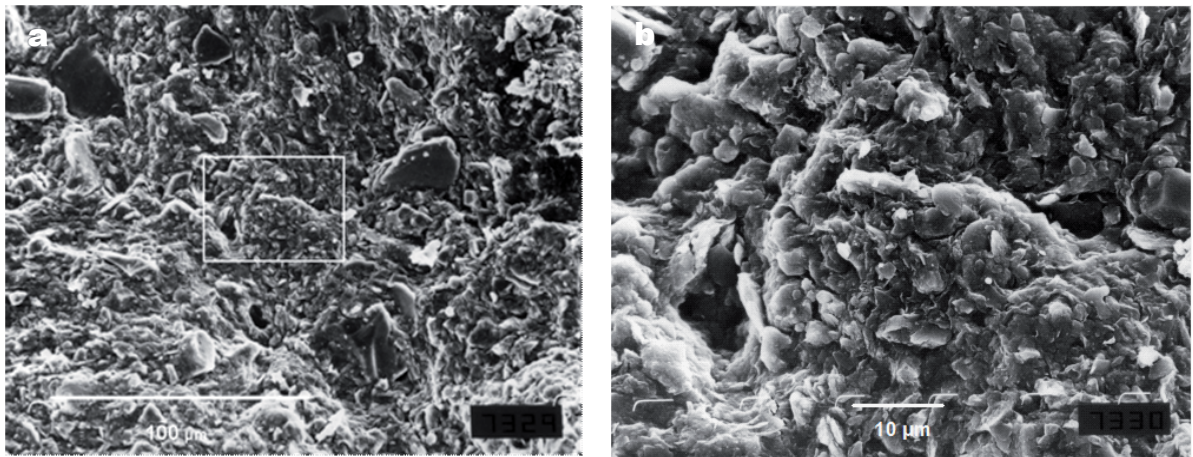


Figura 8. Morfología de la fractura de un agregado mostrando escasas partículas gruesas inmersas en una matriz fina, MEB, X500, barra 100  $\mu\text{m}$ , horizonte Bssg2, Pedón 1 (a) y Morfología superficial de la fractura de un agregado. Detalle de la zona central de la anterior (a), mostrando el ordenamiento de partículas finas. MEB, X2000, barra 10  $\mu\text{m}$  (b).

Figure 8. Morphology of the fresh fracture of an aggregate showing few coarse particles embedded in a fine matrix, MEB, X500, bar 100  $\mu\text{m}$ , Bssg2 horizon, Pedon 1 (a) and surface morphology of the fracture of an aggregate. Detail of the central area of the former (a), showing the arrangement of fine particles. SEM, X2000, bar 10  $\mu\text{m}$  (b).

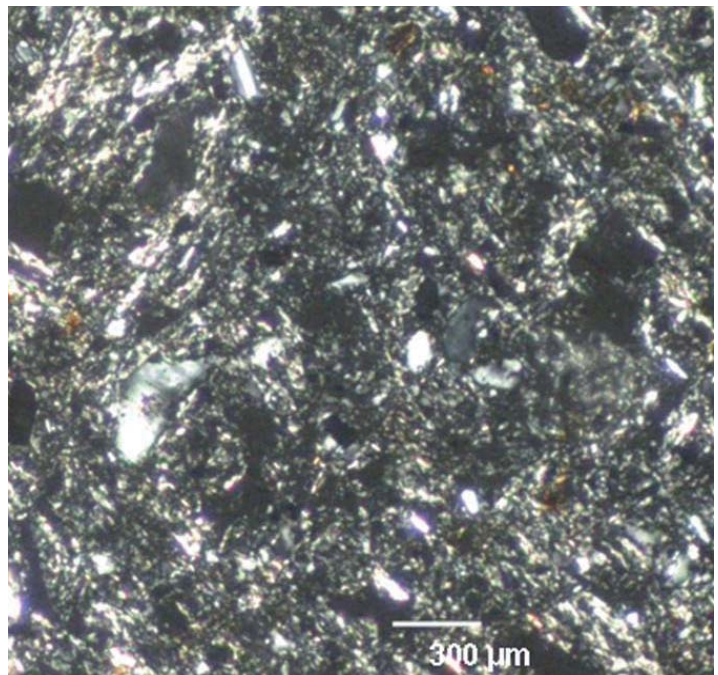


Figura 9. Sección delgada de la matriz del suelo mostrando la fábrica de birrefringencia punteada y por partes estriada en torno a los granos de arena, horizonte Bssg1, Pedón 1. Microscopía óptica.

Figure 9. Thin section showing the soil matrix with b-fabric stipple-speckled b-fabric and striated-b-fabric. Small patches of oriented clay are randomly distributed and sets of birefringent steaks occur in subparallel sets, horizonte Bssg1, Pedón 1. Optical microscopía.

dominante ya que la participación del proceso de illimezación es mínima. Además del reordenamiento estructural de la matriz indicado por la fábrica de birrefringencia, hay otros rasgos pedológicos: a) abundantes nódulos de sesquióxidos, de diversos tamaños, invadiendo la matriz del suelo, de posible formación autógena, b) con-

creciones con estructura concéntrica de la misma naturaleza. Son abundantes las secciones de raíces vivas de plantas (Figs. 10 a, b y c) con órganos adaptados a la respiración en un medio con escasa provisión de oxígeno, sobre todo en los horizontes superficiales que se describieron previamente.

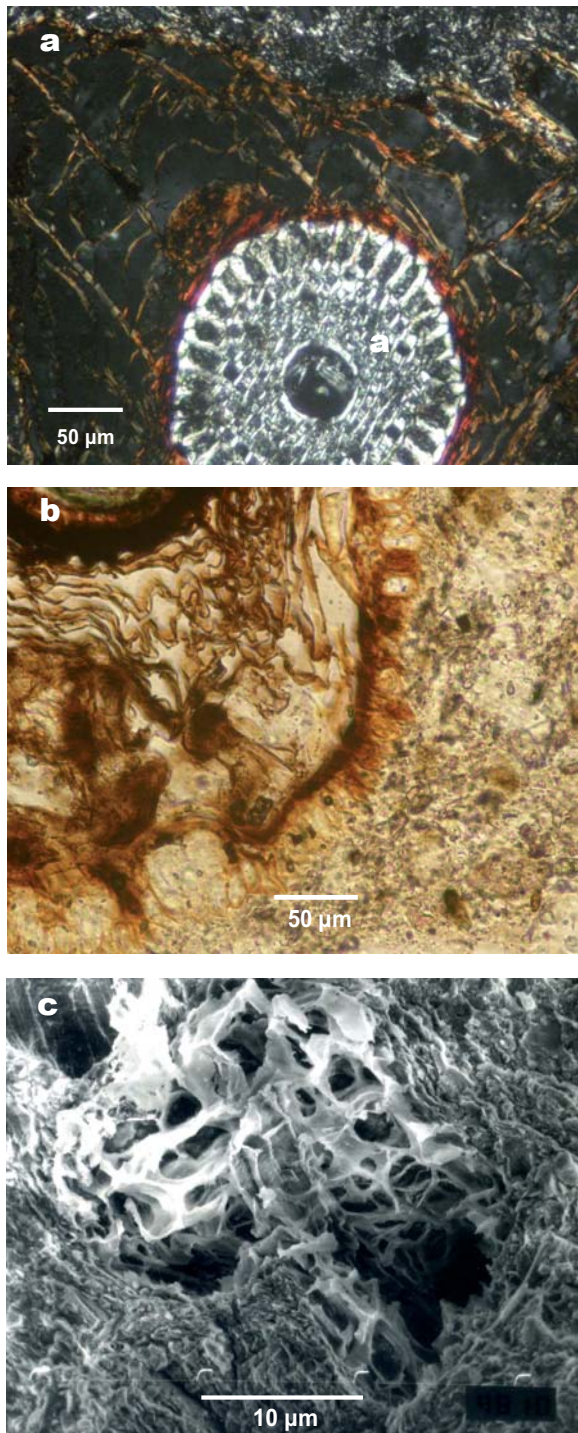


Figura 10. Sección delgada mostrando la estructura de una raíz con aerénquima y en la parte superior la matriz del suelo, horizonte A (a); Sección delgada mostrando parte de la estructura de una raíz con aerénquima deformado y pelos radiculares alcanzando la matriz del suelo, horizonte A (b); y Morfología de la fractura de un agregado mostrando las paredes celulares de una raíz en la masa del suelo. Note la orientación del material fino alrededor de la raíz, horizonte A, Pedón 1. MEB, X 1500, barra 10 μm (c).

Figure 10. Thin section showing a root cell structure with aererenchyma. In the upper part the fine matrix of the soil, A horizon (a); Thin section showing part of a root cell structure with deformed aererenchyma and root hairs, A horizon (b); and Morphology of the fracture of an aggregate showing the cell walls of a root in the soil mass. Note the oriented fine material around the root, Bssg1, Pedón 1. SEM, X 1500, bar 10 μm (c).

## CONCLUSIONES

Los Vertisoles de la planicie costera del río de La Plata son un ejemplo típico de un sistema pedológico cuyas propiedades son el resultado de factores naturales como topografía y clima que aseguren variaciones en el contenido de humedad del suelo y el material originario con potencial intrínseco de contracción y expansión. En este caso los factores principales en la génesis de los suelos son las características del material originario que sumado a la topografía y a la vegetación dan lugar a suelos dominados por los procesos de vertisolización e hidromorfismo.

Las variaciones mineralógicas de las fracciones gruesas y finas muestran rasgos heredados del material originario y además influencia de la pedogénesis. La asociación mineral es la de los sedimentos «pampeanos» con escasos minerales de origen distinto, como biotita. Los sedimentos aportados a la Llanura de fango durante la formación del estuario habrían tenido un doble origen, por un lado los aportados por las corrientes provenientes del área continental loésica y por otro los aportados desde la cuenca del río Paraná.

Granulométricamente los sedimentos holocenos son arcillosos. En la zona de Berazategui habría una selección mineral densimétrica originada en un ambiente ácuico de baja energía, evidenciada por la presencia de depósitos con distinto grado de laminación. La composición vitroclástica de algunas de ellas sugerirían ese origen y/o aportes piróclásticos adicionales. El análisis de Mz muestra que el tamaño medio del sedimento posee escasas variaciones desde los horizontes A y Bssg, con marcado aumento de tamaño de grano hasta la base de los suelos.

Los suelos de la Llanura de fango del río de la Plata son Vertisoles illíticos con muy elevado contenido de arcilla total que genera rasgos vérticos. La influencia pedogenética se manifiesta por la abundancia y color de

las pátinas y presencia de nódulos y concreciones cuyas características están relacionadas con el grado de hidromorfia de cada suelo. Los rasgos macro y micromorfológicos de los suelos muestran influencia conjunta de procesos de vertisolización e hidromorfismo, ambos vinculados a las características de los materiales originarios y la dinámica del estado de oxidoreducción a que están sujetos los suelos temporalmente. Los rasgos micromorfológicos más destacados son: la orientación del material fino y la presencia de rasgos pedológicos amorfos y criptocristalinos de sesquióxidos. Si bien se observan superficies de deslizamiento bien definidas, posiblemente las características hidromórficas hacen que las variaciones de humedad sean menos pronunciadas favoreciendo la estabilidad del material y atenuando la intensidad de los fenómenos mecánicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bell, JC & JL Richardson. 1997. Aquic conditions and hydric soil indicators for Aquolls and Albolls. *In*: MN Vepraskas & SW Sprecher (eds.). Aquic conditions and hydric soils: the problems soils. Soil Science Society of America Inc., Madison, WI, Pub. N° 50, pp 23-40.
- Bruanda, A & D Tessier. 1987. Étude de l'organisation d'un matériau argileux en microscopie: modifications intervenant lors de la deshydratation. *In*: N Fedoroff, LM Bresson y MA Court (eds.). Micromorphologie des Sols. Association Française pour l'Étude du Sol. Paris, pp. 31-35.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. Wiley & Sons, Inc., Sydney, 470 pp.
- Bullock, P; N Fedoroff; A Jongerius; G Stoops & T Tursina. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research, 152 pp.
- Cappannini, D; E Baamonde & A Asensio. 1964. El perfil del suelo desarrollado sobre la arcilla Querandinense de la terraza baja costera de la provincia de Buenos Aires. *IDIA* 85: 1-14.
- Cappannini, D & V Mauriño. 1966. Suelos de la zona litoral estuárica comprendida entre las ciudades de Buenos Aires al norte y La Plata al sur. INTA. Colección Suelos, Buenos Aires, 45 pp.
- Cavallotto, JL. 1995. Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 237 pp.
- Cavallotto, JL & RA Violante. 2005. Geología y Geomorfología del Río de La Plata. *En*: RE de Barrio, RO Etcheverry, MF Caballé y E Llambías (eds.). Relatorio del XVI Congreso. Geológico Argentino. La Plata, pp 237-253.
- Coulombe, CE; LP Wilding & JB Dixon. 1996. Overview of Vertisols: Characteristics and Impacts on Society. *Advances in Agronomy* 57: 289-375.
- Cumba, A & PA Imbellone. 2004. Organización de arcillas expansivas en Vertisoles. Planicie costera del Río de la Plata. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. Resumen pág. 444, trabajo en CD-ROM.
- Cumba, A; P Imbellone; & D Ligier. 2005. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de suelos del sur de Corrientes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 579-590.
- De Petre, AA. 1988. Contribución al conocimiento de los Vertisoles argentinos con énfasis en los de la provincia de Entre Ríos. Génesis, clasificación, cartografía y micromorfología. *Relatos. 2as Jornadas de Suelos de la Región Pampeana*. La Plata, pp 69-92.
- De Petre, A & S Stephan. 1998. Características pedológicas y agronómicas de los Vertisoles de Entre Ríos, Argentina. Universidad Nacional de Entre Ríos, 65 pp.
- Ferrer, J; R Sánchez & S Luque. 1971. Características de un microrrelieve gilgai en Punta Piedras (provincia de Buenos Aires). *Actas 6a. Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo*. Córdoba, pp 87-93.
- Folk, RL. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal Geology* 62(4): 344-359.
- Hénin, S. Rendues de. 1937. Asymétrie et orientation des micelles argileuses. *Comptes l'Académie des Sciences* 204: 1498-1501.
- Imbellone, PA & JE Giménez. 1990. Propiedades físicas, mineralógicas y micromorfológicas de suelos con características vérticas del partido de La Plata (provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 8: 231-237.
- Imbellone, PA; JE Giménez & B Guichón. 2002. Eh, Fe<sup>+2</sup> and Mn<sup>+2</sup>. *In*: Wetland soils of the Plata River coastal plain, Argentina. Symposium, 17th World Congress of Soil Science. Bangkok, Tailandia, 25: 613-621, CD-ROM.
- Imbellone, PA; B Guichón & JE Giménez. 2009. Hydromorphics soils of the Río de la Plata coastal plain. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 16: 3-18.
- Imbellone PA & L Mormeneo. 2010. Morfología y composición de segregaciones de hierro y manganeso en un Natracuert. Provincia de Buenos Aires. *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Resumen pág. 257, trabajo en CD-ROM.
- Imbellone, PA; JE Giménez & JL Panagatti. 2010. Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación. INTA, Buenos Aires, 230 pp.
- INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. CIRN, Instituto de Suelos. Castelar. Tomo I. 731pp.
- Iriondo, MH. & D Kröhling. 2008. Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay desde dos millones de años hasta el presente. Ediciones Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. 358 pp.

- Irisarri, J; E López Cerero; E Mussini; P Schmid & H Bianco. 1980. Los suelos del Departamento Minas, Provincia de Neuquén. Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná, pp 1049-1055.
- Iñiguez, AM & CO Scoppa. 1970. Los minerales de arcilla de los suelos «zonales» ubicados entre los ríos Paraná y Salado (provincia de Buenos Aires). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. INTA. Serie VII: 1-41.
- Isbell, RF. 1991. Australian Vertisols. In: JM Kimble (ed.). Characterization, classification and utilization of cold Aridisols and Vertisols. Proc. VI ISCOM, USDA-SCS. National Soil Survey Center, Lincoln NB, pp 73-80.
- Jensen, HI. 1911. The nature and origin of gilgai country. *Proceedings of The Royal Society of New South Wales* 45: 337-358.
- Jongerius, A & G Bonfils. 1964. Micromorfología de un suelo negro grumosólico de la provincia de Entre Ríos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Serie 3, 2: 33-53.
- Johnson, DL; D Watson-Stegner & DN Johnson. 1987. Proisotropic and proanisotropic processes of pedoturbation. *Soil Science* 143: 278-292.
- Knight, MJ. 1980. Structural analysis and mechanical origins of gilgai at Boorook, Victoria, Australia. *Geoderma* 23: 245-283.
- La Manna, L; CG Buduba; JA Irisarri & MF Valenzuela. 2004. Vertisoles en los bosques de *Austrocedrus chilensis*. *Revista Científica Agropecuaria* 8: 73-78.
- Ligier, HD; D Kunz; H Matteio; R Perucca & O Vallejos. 2001. Suelos y vegetación de los departamentos de Curuzú Cuatiá y Sauce. Provincia de Corrientes. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, 282 pp.
- McCormack, DE & LP Wilding. 1973. Proposed origin of lattiseptic fabric. In: GK Rutherford (ed.). *Soil Microscopy*. 4th International Working Meeting on Soil Micromorphology. The Limestone Press. Kingston, Ontario, pp 761-771.
- Morrás, HJM. 1993. Caracterización submicroscópica de arcillas de suelos del Chaco Meridional Argentino. Caracterización morfológica. Resúmenes XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, pp 411-412.
- Morrás, HJM; J Benayas; R Ateiro & G Cruzate. 1998. Micromorfometría comparativa en un suelo Vertisol de Entre Ríos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba, pp 303-304.
- Paton, TR. 1974. Origin and terminology for gilgai in Australia. *Geoderma* 11: 221-242.
- Ponnamperuma, F. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-96.
- RCA. 2004. Revista Científica Agropecuaria, Número especial. Segundo Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos 8: 1-120. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA. Agriculture Handbook 18. United State Department of Agriculture. U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 437 pp.
- Soil Survey Staff. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Traducción de la 10a. edición (2006) de Keys to Soil Taxonomy. U.S. Dep. of Agriculture. Washington D.C. 331 pp.
- Spalletti, L. 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. Asociación Geológica Argentina Serie «B» Didáctica y Complementaria N°8, 175 pp.
- Stephan, S; J Berrier; AA De Petre; C Jeanson; MJ Kooistra; HW Scharpenseel & H Schiffmann. 1983. Characterization of in situ organic matter constituents in Vertisols from Argentina, using submicroscopic and cytochemical methods. First report. *Geoderma* 30: 21-34.
- Stephen, I; E Bellis & A Muir. 1956. Gilgai phenomena in tropical black clays of Kenya. *Journal of Soil Science* 7: 1-9.
- Sunesen, P. 2000. Pedología y sedimentología de la zona costera del río de la Plata. Villa Elisa y alrededores. Informe Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. Inédito. 112 pp.
- Tessier, D. 1984. Étude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Dr.Sc. Thesis Université de Paris VII. INRA. Versailles Publisher, 360 pp.
- Tessier, D & J Berrier. 1978. Observation d'argiles hydratées en microscopie électronique à balayage, importance et choix de la technique de préparation. En: M Delgado (ed.). *Micromorfología de Suelos*. España, pp 117-135.
- Thompson, CH & GG Beckmann. 1982. Gilgai in Australian black earths and some of its effects on plants. *Tropical Agriculture* 59: 149-156.
- Tinner, RW. 1999. Wetland indicators: A guide to wetland identification, delineation, classification, and mapping. Lewis publishers. Boca Raton, Florida, 392 pp.
- Vargas Gil, JR; CO Scoppa & AM Iñiguez. 1972. Génesis de los suelos de la región norte de la Bahía de Samborombón. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, INTA. Serie 3, 9: 29-52.
- Vilanova, I; A Prieto & S Stutz. 2006. Historia de la vegetación en relación con la evolución geomórfica de las llanuras costeras del este de la provincia de Buenos Aires durante el Holoceno. *Ameghiniana* 43:1-11. Versión on line ISSN 1851-8044.
- Vertisols genesis, classification, distribution and management. *Revista Científica Agropecuaria* 8: 45-54.
- Wilding, LP & CT Hallmark. 1984. Development of structural and microfabric properties in shrinking and swelling clays. In: J Bouma & PAC Raats (eds.). *Proceedings of the International Soil Science Symposium on Water and Solute Movement in Heavy Clay Soils*. ILRI Pub. 37, Wageningen, The Netherlands, pp 1-22.

- Wilding, LP & D Tessier. 1988. Genesis of Vertisols: shrink-swell phenomena. (4) Pp. 55-81. *In*: Wilding, LP and R Puentes (eds.). Vertisols. Their distribution, properties, classification and management. Texas A & M University Printing Center. College Station, TX, 192pp.
- Wilding, LP; D Williams; W Millar; T Cook & H Eswaran. 1990. Close interval spatial variability: a case study in Texas. *In*: JM Kimble (ed.). Proceedings of the Sixth International Soil Correlations Meeting (VIISCOM): Characterization, Classification, and Utilization of Cold Aridisols and Vertisols. USDA, Lincoln, NE. pp 232-247.
- Wilding, LP; IV Kovda; EG Morgue & D Williams. 2002. Reappraisal of the pedon concept for Vertisols: consociations or complexes. 17th World Congress of Soil Science. Thailand, 872: 1-12.
- Yaalon, DH & D Kalmar. 1978. Dynamics of cracking and swelling clay soils: Displacement of skeletal grains, optimum depth of slickensides, and rates of intra-pedonic turbation. *Earth Surface Processes* 3: 31-42.