

Propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de suelos del sur de Corrientes

Andrea CUMBA¹, Perla IMBELLONE¹ y Daniel LIGIER²

¹ Instituto de Geomorfología y Suelos (UNLP–MAA). Calle 3 N° 584 e/ 43 y 33 (1900) La Plata, Buenos Aires.

E-mail: andrea_c@netverk.com.ar.

² INTA Corrientes.

RESUMEN. Se estudian perfiles modales de Vertisoles (Epiacuertes crómicos, Serie El Ombú; Hapludertes oxiácuicos, Serie La Esperanza) y subgrupos vérticos de Molisoles (Argiudoles vérticos, Serie Santa María) y Entisoles (Udipsamientos lamélicos, Serie Estancia Madre) de los departamentos de Curuzú Cuatiá y Sauce de la provincia de Corrientes. Los suelos se han desarrollado a partir de las Formaciones Solari-Serra Geral (basaltos con intercalaciones de areniscas) y Toropí Yupoi (areniscas pelíticas a pelitas arenosas, de origen lacustre) en clima subtropical húmedo, con temperatura media anual de 19,5 a 20,5 °C, precipitación media anual de 1491 mm (1947-2000), frecuentes excesos hídricos en otoño y a veces en primavera y déficit hídrico estacional de corta duración, y con vegetación de sabana. El objetivo de este trabajo es relacionar el grado de expresión de rasgos vérticos en el perfil con las propiedades del material originario y algunas propiedades físicas y mineralógicas. Los suelos presentan rasgos vérticos con distinto grado de expresión, con microrelieve gilgai, y/o estructuras diapíricas (*mukkara*), y/o grietas superficiales, y/o superficies de deslizamiento y/o agregados cuneiformes. El proceso de vertigénesis está regido por las propiedades texturales y mineralógicas del material originario y la expresión del mismo por las condiciones hídricas de los suelos. Los suelos con rasgos vérticos poseen entre 19,9 y 46,5 % de arcilla total y más del 35 % de expandibles en la masa del suelo desde superficie o 28 % a partir de la base del horizonte A. Limo fino y a veces la arcilla son los intervalos granulométricos modales. Según se observa en el horizonte C de las formaciones citadas, aportan cantidad de arcilla total (más de 30%) y minerales expandibles suficientes (más de 90% de expandibles totales, lo cual representa el 28% de expandibles en la masa del suelo de los intergrados o más del 36% en los Vertisoles) para el desarrollo de rasgos vérticos en el perfil. Los Entisoles poseen elevado contenido de arcilla total en los horizontes B enterrados y la fracción arcilla está casi totalmente constituida por caolinita e illita, aún en los horizontes enterrados donde aquella aumenta. Poseen abundante contenido de arena en todo el perfil, y el intervalo granulométrico modal es arena muy fina, seguido por arena fina, a excepción de los horizontes B enterrados donde la fracción modal es arcilla. Como rasgo heredado del material originario, los suelos con rasgos vérticos del centro sur de Corrientes poseen mayor contenido de minerales expandibles en la fracción arcilla que suelos con características semejantes de las provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, en cuya génesis hay mayor participación de loess de composición illítica.

Palabras clave: *Propiedades vérticas, Vertisoles, Molisoles, Entisoles, Mineralogía, Corrientes.*

ABSTRACT. *Morphological, physical, chemical and mineralogical properties of soils from southern Corrientes province.* Modal profiles of Vertisols (Chromic Epiaquerts, El Ombú Series; Oxiácuic Hapluderts, La Esperanza Series), vertic subgroups of Mollisols (Vertic Argiudolls, Santa María Series) and Entisols (Lamellic Udipsamments, Estancia Madre Series) from Curuzú Cuatiá and Salto departments in Corrientes province were studied. The soils developed from the Solari-Serra Geral (basalts with sandstone intercalations) and Toropí-Yupoi Formations (pelitic sandstones to sandy pelites, of lacustrine origin) under a humid subtropical climate, with annual average temperatures between 19.5 and 20.5 °C, annual average precipitation of 1491 mm (1947-2000), frequent water surpluses in autumn and sometimes in spring, seasonal water deficit of short duration, and with savannah vegetation. The objective was to relate vertic features in the profiles with the parent material and some physical and mineralogical properties. The soils display one or more of the following vertic features, to varying degrees: gilgai microrelief, diapiric-like structures (*mukkara*), surface cracks, slip surfaces and wedge-shaped aggregates. Argillipedoturbation was governed by the textural and mineralogical characteristics of the parent material, while the degree of expression of those features was controlled by the hydrological conditions of the soils. Soils with vertic features have between 19.9 and 46.5% total clay and more than 35% expandable minerals in the mass of the soils from the surface or 28% from the base of the A horizon. Fine silt and sometimes clay are the modal granulometric intervals. The C horizon reveals that those formations provide enough total (over 30%) and expandable clay (over 90 %) for the development of vertic features. The entisols possess high content of total clay in the buried B horizons and their clay fraction is almost totally made up of kaolinite and illite, even in the buried horizons where kaolinite increases. They have abundant content of sand in the whole profile, and the modal fraction is very fine sand, followed by fine sand, except in the buried B horizons where the modal fraction is clay. An inherited feature of the soils with vertic features from south central Corrientes province is their higher amount of expandable minerals as compared with similar soils from Entre Ríos and Buenos Aires Provinces, which show a higher contribution of illite – rich loess.

Key words: *Vertic properties, Vertisols, Mollisols, Entisols, Mineralogy, Corrientes.*

Introducción

Suelos arcillosos oscuros incluyendo Vertisoles y subgrupos vérticos son estudiados por Dudal (1967), Ahmad (1983), Wilding y Puentes (1988), FAO (1990) y Coulombe *et al.* (1996), en diferentes lugares del mundo. En Argentina ocupan aproximadamente 85.000 Km² y los Vertisoles 44.570 Km² distribuidos en las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires, Corrientes, Neuquén, Río Negro y Chubut (INTA, 1990). Entre Ríos es la provincia que registra mayor extensión (38.000 Km²) y es donde los suelos con propiedades vérticas han sido estudiados más detalladamente (Vesco 1985, De Petre y Stephan 1998).

Vertisoles y Subgrupos vérticos están afectados por el proceso de “*vertigénesis*” considerado por Khitrov (1996) como la formación y subsecuente regeneración de deformación, lateral y local, reversible e irreversible de algunos bloques con respecto a otros. Poseen “propiedades vérticas” (*vertic properties*) que son las propiedades que se generan mediante ese proceso (Khitrov, 1996; Bui y Mermut, 1989; Dasog *et al.* 1988). Otro término utilizado para indicar el proceso activo en la formación de Vertisoles es el de “haploidización” por argilopedoturbación (Buol *et al.* 1989). El término Vertisol es globalmente aceptado para designar suelos con textura fina y afectados por fuerte expansión-contracción. El término original del latín *vertere* significa dar vuelta (*to churn* o *to turn over*, Dudal y Eswaran, 1988) y se introdujo con criterio taxonómico como un orden de la 7^a aproximación (*Soil Survey Staff* en 1960).

El término “vértico” (*vertic*) se ha utilizado genéricamente como adjetivo en la denominación de suelos que poseen grietas, caras de presión y superficies de deslizamiento entrecruzadas. También se utiliza para designar, desde la óptica taxonómica, a suelos transicionales a los Vertisoles a nivel de subgrupo en taxonomía de suelos (*Soil Survey Staff* 1999), y en la clave de las denominadas “Unidades de suelos”, como un segundo nivel de abstracción dentro de los “grupos mayores de suelos”, en el sistema de la WRB (1994).

Un “horizonte vértico” (*vertic horizon*) es uno o más horizontes genéticos subsuperficiales con superficies de deslizamiento que se interceptan o agregados cuneiformes inclinados entre 10 y 60°; posee más de 25 cm de potencia y está ubicado a menos de 1 m de profundidad (Mermut *et al.* 1991). El horizonte vértico como horizonte de diagnóstico se introdujo en la clasificación WRB (1994) y entre otras (Baize *et al.* 1990), siguiendo el concepto anterior y agregando la exigencia del contenido de arcilla.

Blockhuis *et al.* (1991) comentando los requerimientos de los Vertisoles en taxonomía de suelos (1987) utiliza el término “estructura vértica” (*vertic structure*) para indicar la presencia de agregados cuneiformes y paralelepípedos y/o presencia de superficies de deslizamiento.

Los factores formadores de suelos que favorecen la formación de rasgos vérticos constituyen una combinación de a) características geomorfológico/climáticas que posibilitan un régimen hídrico contrastante, y b) la capacidad potencial del suelo de desarrollarlas. La misma posición geomorfológica, puede tener distinto impacto en la redistribución de la precipitación atmosférica. Cuando la precipitación es alta, posicio-

nes donde predomina el ingreso de agua (*inflow*) aseguran un prolongado anegamiento y el grado de contraste en el régimen de agua del suelo disminuye como también la posibilidad de desarrollo de rasgos vérticos; en ocasiones la capa freática potencia este efecto. Bajo iguales condiciones climáticas, las posiciones topográficas que distribuyen el agua (*outflow*), favorecen el secado del suelo y el contraste en las condiciones hídricas promoviendo la formación de rasgos vérticos. El efecto de la condición litológica puede estimarse a partir de la capacidad que tiene el suelo de expansión-contracción que se relaciona con la distribución de tamaño de partícula y composición mineral de los filosilicatos arcillosos.

Gran parte de los suelos del centro sur de la provincia de Corrientes presentan rasgos vérticos en distinto grado de expresión. Su manifestación topográfica y macromorfológica incluye microrelieve gilgai y/o estructuras diapíricas (*mukkara*, Paton 1974), y/o grietas superficiales, y/o superficies de deslizamiento, y/o agregados cuneiformes, y se describieron y analizaron detalladamente desde la óptica cartográfica (Ligier *et al.* 2001).

El objetivo de este trabajo es relacionar el grado de expresión de rasgos vérticos en el perfil con las propiedades del material originario y algunas propiedades físicas y mineralógicas.

Metodología

Se analizan cuatro pedones representativos (Fig.1) en los departamentos de Curuzú Cuatiá y Sauce: Serie La Esperanza: Ag, Btss1g, Btss2g, 2Bck, 2Ck (Hapluderte oxiácuico), 39°05'52" S y 55°10'27" O; Serie El Ombú: Ag, Bckss1g, Bckss2, Ckss (Epiacuerpe crómico), 39°16'02" S y 54°19'26" O; Serie Santa María: A, BAt, Bt, Btss, Bck, Ck (Argiudol vértico), 39°09'01" S y 54°04'53" O; Serie Estancia Madre: A1, A2, AB (E&Bt?), Eb, 2Btvb (Udipsamente lamélico), 39°20'24" S y 54°16'52" O, éste último incluido con valor comparativo, por sus propiedades totalmente disímiles con los anteriores.

Los suelos se seleccionaron a partir del mapa básico de suelos de la zona, respetando la descripción y clasificación taxonómica original (Ligier *et al.* 2001), de mapas temáticos (Carnevallí 1994), y de las características de los sedimentos (Herbst y Santa Cruz 1985). Se realizan como elementos de control mineralógico, análisis de horizontes B y BC de 1 Vertisol y 5 Subgrupos vérticos (Fig. 1). Asimismo se consideró la variación media de algunas propiedades de 16 Vertisoles, 29 Subgrupos vérticos de Molisoles y 4 Entisoles (Cuadro 3), que muestran sus valores regionales.

Los suelos se describieron en calicatas, trincheras y cortes de caminos y analizaron y clasificaron según las normas de reconocimiento de suelos en vigencia (*Soil Survey Staff* 1999). La expansión libre (EL) se determinó mediante el método de Abete y Sánchez (1970) y se incluye por ser una información útil a los fines tecnológicos. Además, es un ensayo sencillo que permite calcular las constantes de Atterberg (límite líquido, límite plástico y límite de contracción). Los registros difractométricos se realizaron sobre muestras pretratadas con la eliminación de materia orgánica, carbonato de calcio y óxi-

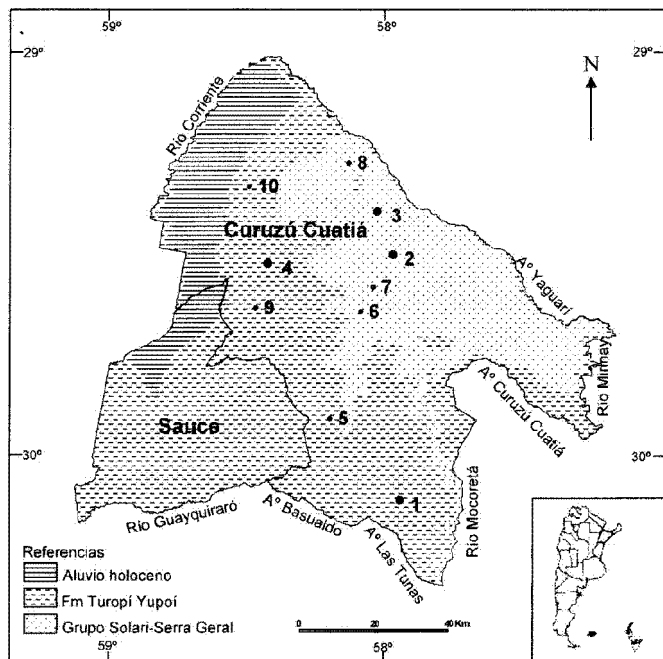


Figura 1: Materiales geológicos y ubicación de perfiles.

Perfiles modales ●: 1: Hapluderte oxiácico (S. La Esperanza), 2: Epiacuerter crómico (S. El Ombú), 3: Argiudol Vértico (S. Santa María) y 4: Udipsamente lamélico (S. Estancia Madre). Perfiles de control ●: 5: Epiacuerter crómico (S. San Agustín), 6: Argiacuol v?Ortico (S. San Antonio), 7: Argiudol vértico (S. San Gregorio), 8: Argiudol vértico (S. Viruta), 9: Argiacuol vértico (S. María Teresita) y 10: Arigudol vértico (S. Potrero 9 Monzón)

dos de hierro en los casos necesarios. La semicuantificación de especies arcillosas se llevó a cabo sobre los registros de submuestras glicoladas y en base al programa *Origin 4.1* con un filtro de suavización de picos del 25%. Adicionalmente se analizaron las propiedades granulométricas de los materiales originarios de los suelos tomando los horizontes C de 5 Vertisoles y 7 subgrupos vérticos de la Formación Serra Geral y 6 Vertisoles y 13 subgrupos vérticos de la Formación Toropí-Yupoí, en cuyo conjunto están incluidos los perfiles modales estudiados. En este caso el número total de Vertisoles analizados (11) es menor que el de Subgrupos vérticos (20) debido a la escasa dispersión de valores hallada en el cuadro 3 para los primeros.

Características del área de estudio

La provincia de Corrientes pertenece a la región central de la unidad geológica denominada Mesopotamia. Los departamentos Curuzú Cuatía y Sauce, se localizan en el centro sur de la Provincia de Corrientes y ocupan 1.160.600 ha (Fig. 2). Son parte de la Región Natural de las Cuchillas Correntino-Enterrianas, con una formación vegetal propia de la Provincia del Espinal, identificada por la abundancia de ñandubay (*Prosopis affinis*), como especie dominante que forma sabanas y praderas arboladas de amplia extensión geográfica (Capurro *et al.* 1985, Carnevali 1994). El estrato herbáceo inclu-

ye diversas gramíneas (*Cynodon* sp., *Sporobolus* sp., *Paspalum* sp., etc). Como se mencionó para Vertisoles de Entre Ríos (Vesco 1985), en Corrientes algunos suelos presentan vegetación hidrófila (ciperáceas) en microdepresiones de los gilgai.

Popolizio (1985) ubica la zona dentro de la gran unidad llanura correntino-misionera en la subdivisión planicie de erosión oriental. Allí, en el sector sur se destaca como rasgo principal la presencia de antiguos pediplanos y pedimentos que generan un paisaje de suaves colinas escalonadas.

Geomorfológicamente la mayor superficie del área corresponde a antiguas llanuras agradacionales localizadas a distinta altitud, hoy definidas como altillanuras fluvioerosionales con gradientes hacia el río Corriente al oeste y el Miriñay al este. En la actualidad, una red de drenaje dendrítica y subdendrítica está transformando la morfología original en un paisaje con pendientes suaves y largas de gradiente medio. En los valles aluviales de ríos y arroyos permanentes (Corriente, Miriñay, Barrancas, etc) la depositación de sedimentos actuales es activa y se modelan terrazas de escasa amplitud.

La historia diastrófica se reduce a movimientos epirogénicos que ocurrieron a partir del Cretácico inferior. La denudación posterior a la etapa tectónica originó una serie de cuencas separadas por dorsales que han tenido un desarrollo geológico independiente. El relleno de estas cuencas está constituido por sedimentitas mesozoicas y brechas calcáreas, calizas y limolitas del Cenozoico.

Los movimientos epirogénicos postpampeanos, intensificaron la acción erosiva dando lugar a la profundización de los valles fluviales y a la generación de depósitos con granulometría variable (Gentili y Rimoldi 1979).

En la zona de trabajo se encuentran tres formaciones que constituyen el material originario de los suelos: Grupo Solari-Serra Geral (Jurásico superior-Cretácico inferior) constituido por areniscas y basaltos. Las areniscas correspondientes a la Formación Solari, son homogéneas, de color amarillento rojizo, bien seleccionadas, finamente laminadas y tienen una distribución más reducida que la de los basaltos con los cuales se intercalan. La Formación Serra Geral son basaltos negros grises de distintas tonalidades hasta rojizos.

La Formación Toropí-Yupoí (Pleistoceno superior-Holoceno) está constituida por sedimentitas lacustres, de colores grisáceo amarillento, castaño claro y anaranjado grisáceo (Herbst y Santa Cruz 1985). La Formación Yupoí está compuesta por areniscas pelíticas hasta pelitas arenosas, gris castaño claro y a veces rojizo; ocasionalmente con intercalaciones muy arcillosas; también se observan nódulos e impregnaciones de manganeso y ocasionalmente nidos de yeso (Herbst 1971). La Formación Toropí compuesta por arenas arcillosas, limos arenosos y en parte arenosa es predominantemente gris en diversos tonos, amarillentas y verdosas. Su distribución está casi siempre relacionada con la Formación Yupoí constituyendo su base.

El clima actual de la provincia de Corrientes es subtropical, muy cálido en verano, con heladas en invierno (temperatura media anual 19,5 a 20,5 °C). Tiene características de clima húmedo con precipitación media anual de 1491 mm (1947-2000), frecuentes excesos hídricos en otoño (marzo a mayo) 180-200 mm y a veces en primavera y déficit hídrico estacional de corta

Cuadro 1: Propiedades seleccionadas de los suelos estudiados.

Unidades estratigráficas	Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	Color en seco (Munsell)	M.O. (%)	pH (pasta)	Clase textural (USDA)	C.I.C. (cmol, kg ⁻¹)	Cationes de intercambio (cmol, kg ⁻¹)			
									Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Formación Toropi-Yupoi (areniscas-limolitas)	Hapluderte oxiácuico (Serie La Esperanza)	Ag	0-20	10 YR 4/2	3,6	5,8	fr arc lim	18,7	13,46	3,06	0,22	0,14
		Btss1g	20-39	10 YR 4/1	1,3	6,7	arc lim	31,1	22,84	5,61	0,56	0,17
		Btss2g	39-62	10 YR 4/1	1,4	7,9	arc lim	26,4	26,82	5,30	1,14	0,14
		2Bck	62-86	10 YR 4/1	0,6	8,3	arc lim	29,3	--	--	0,68	0,12
		2Ck	86-115	10 YR 6/3	0,5	8,5	arc lim	25,8	--	--	1,90	0,14
Grupo Solari-Serra Geral (basaltos y areniscas)	Epiacuerite crómico (Serie El Ombú)	Ag	0-21	10 YR 5/2	1,5	6,7	fr arc lim	23,0	17,66	1,83	0,51	0,06
		Bckss1g	21-56	10 YR 4/1	1,3	6,7	fr arc lim	28,7	23,46	3,66	2,27	0,09
		Bckss2	56-75	10 YR 4,5/1	0,8	7,1	fr arc lim	29,1	--	--	2,35	0,15
		Ckss	75-125	10 YR 6/3	0,05	8,4	fr arc lim	26,9	--	--	2,54	0,40
Grupo Solari-Serra Geral (basaltos y areniscas)	Argiudol vértico (Serie Santa María)	A	0-17	10 YR 4/2	3,7	6	fr lim	17,0	11,79	2,28	0,25	0,12
		BAt	17-28	10 YR 3/1	2,5	6,1	fr arc lim	20,8	14,48	2,65	0,34	0,10
		Bt	28-46	10 YR 4/1	1,7	6,4	fr arc	25,9	20,19	4,75	0,51	0,12
		Btss	46-66	10 YR 4/1	1,3	7,2	fr arc	25,9	22,03	4,65	0,60	0,13
		Bck	66-84	10 YR 5/2	0,7	7,8	fr arc	19,0	--	--	0,67	0,14
		Ck	+ 84	10 YR 6/4	0,3	8,3	fr arc	19,0	--	--	0,65	0,15
Formación Toropi-Yupoi (areniscas-limolitas)	Udipsamente lamélico (Serie Ea. Madre)	A1	0-21	10 YR 5/6	0,3	6,4	ar fr	5,4	1,58	0,74	0,04	0,07
		A2	21-50	10 YR 5/6	0,2	6,2	ar fr	8,1	1,32	0,98	0,02	0,07
		AB	50-70	10 YR 6/6	0,06	6,0	ar fr	5,1	1,34	0,62	0,02	0,05
		Eb	70-86	10 YR 7/4	0,03	6,7	ar fr	4,8	0,85	0,68	0,05	0,05
		2Btvb	86-130	10 YR 5/2	0,03	5,5	fr arc ar	15,2	7,70	2,03	0,09	0,17

fr: franca; arc: arcillosa; ar: arenosa; lim: limosa.

duración (diciembre a febrero) 140-160 mm. Los departamentos Curuzú Cuatiá y Sauce corresponden principalmente a la región climática de Thornthwaite B1 B'4 ra' (donde B1: tipo climático húmedo; B'4: región térmica mesotermal; r: índice de aridez nulo o pequeño déficit de agua; a': índice de concentración estival de eficiencia térmica menor al 48% (Fig. 2). Según el sistema de Köppen la clasificación climática es: Cfw'ah, que expresa un clima templado cálido (C), húmedo (f), sin estación seca (w'), veranos muy cálidos con temperaturas superiores a 22 °C (a) y media anual superior a 18 °C (h). El clima edáfico se clasifica como hipertérmico por poseer una temperatura media anual del suelo (a 50 cm) superior a 22 °C y una amplitud térmica anual mayor de 5 °C. El régimen hídrico del suelo puede ser údico o ácuico, y dentro de éste último puede tener episaturación, endosaturación y saturación antrópica (Keys to Soil Taxonomy 1996).

Con respecto al microrelieve gilgai, si bien no existen estudios sistemáticos de cresta y bajo (Wilding *et al.* 2002) en el campo se describen gilgai lineales (Fig. 3), circulares e irregulares según la morfología y características descritas por Hallsworth *et al.* (1955). Los primeros se encuentran en las zonas de "lomeríos" y planicies suavemente onduladas, en posición topográfica de medias lomas y pendientes, con orientación sesgada aproximadamente 60° con respecto a la inclinación de las mismas. Es opinión de uno de los autores (DL) que en esas posiciones topográficas existe mayor contraste en las condiciones de humedad en los periodos secos y húmedos debido al aumento de escurrimiento y menor infiltración. Se observa autoinversión en el perfil del suelo, indicada por el ascenso del material carbonatado (Fig. 4). Los gilgai circulares se encuentran en planicies mesetiformes y bañados de altura y estarían relacionados a condiciones iniciales del suelo desnudo por sobrepastoreo; éste genera mayores contrastes de humedad con respecto a los sitios cubiertos por vegetación de pradera. Los gilgai irregulares carecen de forma y distribución topográfica definida y podrían ser el inicio de los gilgai circulares.

Características de los suelos

Los suelos con régimen údico en las denominadas tierras altas, se desarrollan en una altillanura degradada, bajo proceso fluvio-erosional (Villota 1997, Ligier *et al.* 2001). El régimen ácuico se encuentra en Vertisoles de zonas deprimidas y también en posiciones convexas condicionado por las texturas muy finas y la elevada cantidad de minerales expandibles. Los suelos de las tierras altas ocupan 753.000 ha, donde los Molisoles son los de mayor extensión (503.000 ha), y el 52% corresponden a Argiudoles vérticos. Los Vertisoles se definen en 16 series, que ocupan 154.000 ha y los Hapludertes típicos y oxiácuicos cubren el 58% de la superficie mencionada. Los Entisoles son los suelos de menor extensión, ocupan 8.877,5 ha (1,2%) y se definen en dos subordenos: Acuentes y Psamentes (Ligier *et al.* 2001).

Los Hapludertes oxiácuicos se localizan en cimas convexas en un paisaje de lomas disectadas, con pendientes de 1 a 1,5%; el microrelieve gilgai lineal es muy atenuado, con crestas separadas cada 30 m en una sabana arbolada abierta, con pradera de *Sporobolus sp.*, *Cynodon sp.*, matorrales de chilcas, cardos muy espaciados y árboles aislados de ñandubay.

Los Epiacuerites crómicos se encuentran en planos encharcables de planicies mesetiformes, con microrelieve gilgai circular, de 4 a 6 m de diámetro, separados entre 15 y 20 metros. La vegetación es una sabana arbolada de *Paspalum notatum*, *Rinchospora sp.*, flechillares, ciperáceas aisladas y ñandubay (*Prosopis affinis*).

Los Argiudoles vérticos se presentan en lomadas suavemente onduladas, escalonadas altitudinalmente de oeste a este, desde 65 a 100 m s.n.m. Presentan pendientes de 0,5 a 2%, con medias lomas de 200 a 350 m de longitud y cimas convexas o aplanadas de 150 a 200 m de diámetro. La vegetación es una sabana parque de pradera con *Paspalum sp.*, *Sporobolus sp.*, y *Prosopis affinis* como leñosa.

Los Udipsamentos lamélicos se desarrollan en albardones

Cuadro 2: Propiedades físicas y mineralógicas relacionadas.

Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	Arcilla total (%)	E			I			Expansión Libre %	Rasgos vérticos
				vest.	I <2 ml	C	vest.	I <2 mm	C		
Hapluderte oxiácuico (S. La Esperanza)	Ag	0-20	28,3	vest.	68	32	vest.	20	10	40	Microrelieve gilgai lineal. Grietas superficiales escasas.
	Btsslg	20-39									Raíces aplanadas y sup. de deslizamiento escasas.
	Btss2g	39-62	46,5*	95	vest.	vest.	45	vest.	vest.	80	Sup. de deslizamiento moderadas.
	2Bck	62-86	43,0	95	vest.	vest.	42	vest.	vest.	80	Ausentes.
	2Ck	86-115	44,6	95	vest.	vest.	44	vest.	vest.	90	Ausentes.
Epiacuerte crómico (S. El Ombú)	Ag	0-21	35,0	97	vest.	vest.	35	vest.	vest.	55	Microrelieve gilgai circular. Grietas superficiales cada 10 cm.
	Bckss1g	21-56	34,9	96	vest.	vest.	34	vest.	vest.	70	Grietas rellenas, raíces aplanadas y sup. de deslizamiento abundantes.
	Bckss2	56-75									Sup. de deslizamiento moderadas, grietas rellenas y sup. de deslizamiento escasas.
	Ckss	75-125	37,6*	95	vest.	vest.	36	vest.	vest.	80	Sup. de deslizamiento moderadas, grietas rellenas y sup. de deslizamiento escasas.
Argiudol vértico (S. Santa María)	A	0-17									Ausentes.
	BAt	17-28	19,9*	60	13	27	12	vest.	vest.	50	Ausentes.
	Bt	28-46									Ausentes.
	Btss	46-66	37,5*	90	vest.	vest.	33	vest.	vest.	60	Raíces aplanadas y sup. de deslizamiento escasas.
	Bck	66-84	31,9	97	vest.	vest.	32	vest.	vest.	70	Sup. de deslizamiento escasas.
Udipsamente lamélico (S. Estancia Madre)	Ck	+ 84	30,5	92	vest.	vest.	28	vest.	vest.	75	Ausentes.
	A1	0-21	5,4	10	50	40	vest.	vest.	vest.	nd	Ausentes.
	A2	21-50									Ausentes.
	AB	50-70	4,2*	vest.	38	60	vest.	vest.	vest.	nd	Ausentes.
	Eb	70-86	2,5	vest.	30	60	vest.	vest.	vest.	nd	Ausentes.

E: minerales expandibles; I: Illita; C: caolinita. S: Serie. vest: vestigios (tenor de arcilla < 5%). nd: no determinado. *: muestra compuesta de los horizontes Btss1g-Btss2g; Bckss2-Ckss; A-BAt; Bt-Btss; A2-AB.

constituidos por lomadas suaves en posición de cimas convexas, en terrazas altas. La vegetación predominante es monte de yatay, pindó, yuquerí, molle, etc. En los cuadros 1 y 2 se muestran las propiedades de suelos representativos.

Serie La Esperanza (Hapludertes oxiácuicos): El horizonte superior es moderadamente estructurado, pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2), con abundante materia orgánica, reacción débil al α , α' -dipiridil en el horizonte superior el cual puede estar estacionalmente saturado con agua. A partir del horizonte B el suelo posee elevado contenido de arcilla y está fuertemente estructurado. Posee concreciones ferromangáníferas negras (10 YR 2/1) en la parte media del perfil y concreciones de carbonato de calcio aproximadamente a partir de los 60 cm, blancas (10 YR 8/1) que constituyen 15 a 20% de la matriz distribuidas en bolsones. Existen indicadores morfológicos de movimientos internos desde la base del horizonte A. El pH es moderadamente ácido en superficie y alcalino en profundidad. El complejo de intercambio está saturado con Ca^{++} .

Serie El Ombú (Epiacuerter crómicos): Presentan un horizonte superior pardo grisáceo (10 YR 5/2), fuertemente estructurado, con moderada materia orgánica, signos de hidromorfia superficial, evidenciada por concreciones de hierro y manganeso gris muy oscuro (10 YR 3/1) que constituyen el 1% de la matriz, moteados y reacción moderada al α , α' -dipiridil. En superficie se observan grietas cada 10 cm que en profundidad alcanzan los 50 cm. El horizonte B, gris oscuro (10 YR 4/1), muy plástico y muy adhesivo posee fuerte estructura prismática, asociada en partes a estructura masiva. Evidencia super-

ficies de deslizamiento y restricción al crecimiento radicular. Aproximadamente a partir de 20 cm de profundidad se observan concreciones de carbonato de calcio blancas (10 YR 8/1) que constituyen 20 a 30% de la matriz y se hacen abundantes en los horizontes C y en las microlomas afloran como concreciones grandes (el perfil modal está descrito en una microdepresión). En los horizontes C hay grietas rellenas de material de horizontes suprayacentes y superficies de deslizamiento escasas. El contenido de arcilla es uniformemente alto en todo el perfil al igual que la capacidad de intercambio. El complejo de intercambio está saturado con Ca^{++} . El pH es ligeramente ácido en superficie y alcalino en profundidad.

Serie Santa María (Argiudol vértico): El horizonte A es profundo, con abundante materia orgánica, pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2), moderadamente estructurado y poroso con excelentes condiciones físicas para desarrollo de cultivos anuales; presentan horizonte argílico de 35 a 50 cm de espesor, con evidencias de vertigénesis escasa. Además, concreciones ferromangáníferas a partir de la base del horizonte A y carbonato de calcio aproximadamente a partir de los 70 cm. El complejo de intercambio está saturado con Ca^{++} y el pH es ligeramente ácido en superficie y alcalino en profundidad.

Serie Estancia Madre (Udipsamentes lamélicos): Poseen un horizonte A espeso, de hasta 70 cm, con escasa materia orgánica, pardo grisáceo pálido (10 YR 5/6), escasamente estructurado, poroso, con apreciable actividad biológica de micro y mesofauna, evidenciada por abundantes crotovinas. En la base del horizonte A a veces hay moteados rojizos y

Cuadro 3: Distribución de algunas propiedades de Vertisoles, subgrupos Vérticos de Molisoles y Entisoles de los Departamentos de Curuzú Cuatía y Sauce, provincia de Corrientes.

Suelos	Vertisoles			Subgrupos vérticos			Entisoles	
	media aritmética (desvío estándar)			media aritmética (desvío estándar)			media aritmética (desvío estándar)	
Horizontes	A	B	C	A	B	C	A	B
Arcilla (%)	35,0 (2,6)	42,4 (4,6)	41,0 (5,4)	24,9 (6,3)	38,0 (6,2)	34,9 (6,1)	7,0 (3,4)	31,1 (2,8)
Limo (%)	51,2 (7,1)	44,6 (6,9)	50,7 (5,9)	45,3 (13,0)	41,3 (10,8)	47,4 (14,1)	10,5 (3,0)	11,3 (1,1)
Arena (%)	13,7 (6,5)	12,9 (7,8)	8,2 (5,1)	24,9 (6,3)	19,8 (12,1)	17,4 (13,6)	82,8 (10,8)	57,5 (2,1)
C orgánico (g kg ⁻¹)	1,9 (0,5)	0,7 (0,4)	0,2 (0,1)	1,7 (0,4)	0,7 (0,3)	0,3 (0,18)	0,26 (0,1)	0,16 (0,1)
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	25,7 (4,8)	31,6 (4,7)	27,5 (4,4)	20,4 (5,2)	26,3 (6,2)	23,7 (2,9)	7,1 (1,4)	18,3 (1,5)
pH (1:1 en agua)	6,1 (0,6)	8,2 (0,2)	8,2 (0,3)	5,7 (0,5)	7,0 (0,9)	8,0 (0,6)	6,0 (0,4)	6,0 (0,2)

Datos calculados a partir de 52 suelos (29 Molisoles, 16 Vertisoles, 4 Entisoles). Formados a partir de:

- Grupo Solari-Serra Peral. 15 Molisoles: Argiudoles vérticos Series Aeropuerto, Aguay, San Gregorio, San Juan, Santa María, Santa Victorina, Tres Marias y Viruta; Argiudol acúerico: Serie Rincón del Yaguari; Paleudoles vérticos Series Albardón y San Luis; Argiacuoles vérticos Series Centinelli, Las Rosas, San Antonio y Sarli II; 6 Vertisoles: Epiacuerte típico Serie Carumbé Alto; Hapluderte crómico Serie Don Deolindo; Epiacuertes crómicas: Series El Ombú, San Agustín y La Encarnación; Hapluderte léptico Serie Miriñay; 1 Entisol: Endoacuente lítico Serie Gonsalves.
- Formación Toropi-Yupoi. 16 Molisoles: Argiudoles vérticos Series Arroyo Cupipi, La Correntina, María Teresita, Paraje Francisco Gómez, Portillo, Potreo 9 Monzón, San Ignacio y San José; Natracul vértico Serie Arroyo Guayabal; Argiacuoles vérticos Series Curbelo y Don Hilario; Argiudol oxiácico vértico Serie El Naranjito; Argiudol acúerico Serie María Isabel; Argiudol acúerico Serie Nandubay; Argiudol oxiácico vértico Serie Pedro Díaz Colodredo; Paleudol vértico Serie Santa Teresita. 10 Vertisoles: Hapludertes típicos Series Aguay Rincón, Bañadero, Buena Vista, Don Luis y El Abandono; Epiacuertes crómicas Series Cangrejal y Conti; Hapludertes oxiácicos Series La Esperanza y Ñapina; Epiacuerte típico Serie Pairiri. 3 Entisoles: Udipsamente lamélico: Serie Estancia Madre, Udipsamientos acúicos: Series La Perlina y Tarugo Cue.
- Aluvio holoceno. 1 Molisol: Natracul vértico Serie Camelit.

amarillentos, puentes de arcilla y lamelas. Por debajo suele encontrarse un suelo enterrado que comienza con un horizonte álbico, pardo muy pálido (10 YR 7/4), con puentes de arcilla incipientes. Infrayaciendo se encuentra un horizonte B argílico moderadamente estructurado, pardo grisáceo (10 YR 5/2), con abundante plintita (15 a 30% de la matriz) rojo oscuro (2,5 YR 3/6) y algunas lentes de hierro y manganeso que indican hidromorfia subsuperficial estacional. A diferencia de los suelos mencionados precedentemente los colores poseen alta intensidad, muy escaso tenor de materia orgánica y pH ligeramente ácido en superficie y moderadamente ácido en profundidad. También el tenor de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico y las bases de intercambio son muy bajas en el suelo actual y aumentan moderadamente en el horizonte B enterrado. Los perfiles enterrados bajo un manto arenoso son frecuentes en albardones actuales y la presencia de rasgos de madurez pedológica como barnices de iluviación indicarían un estado de estabilidad del paisaje mayor que la presente.

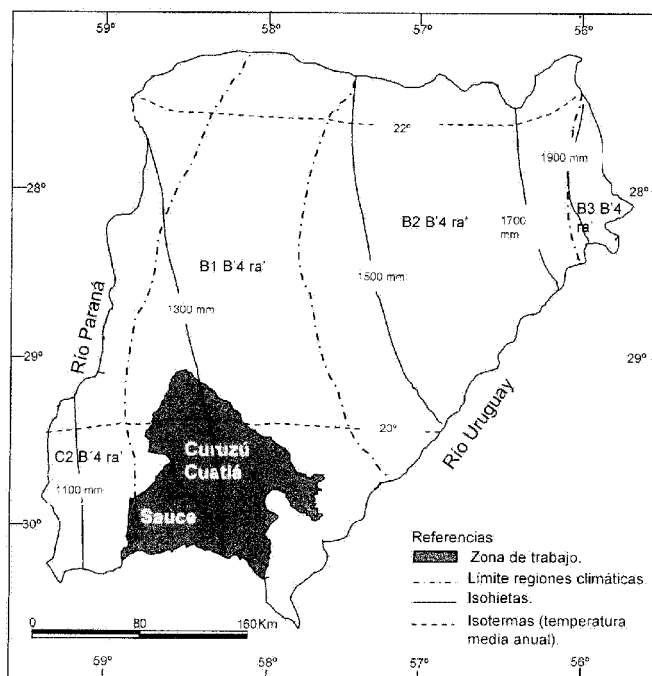
Las concreciones carbonáticas solo aparecen en suelos con texturas finas: Vertisoles (Series La Esperanza y El Ombú) y Molisoles (Serie Santa María). El carbonato se encontró a profundidades variables aproximadamente desde los 20 cm en microdepresiones encharcables y a mayores profundidades en perfiles desarrollados en lomadas. En estos últimos, aparece alrededor de los 60 cm en suelos con texturas muy finas (arcillo-limosas, Serie La Esperanza) y a mayor profundidad (aproximadamente 70 cm) en perfiles de texturas con menor predominio de finos (franco-arcillosas, Serie Santa María). En cambio, no se encontraron concreciones carbonáticas en los Entisoles (Serie Estancia Madre) asociados a las geofomas más jóvenes y con granulometrías predominantemente arenosas.

La CIC de los suelos estudiados evidencia saturación del complejo de cambio con catión calcio, aunque con valores absolutos bajos a medios (7,7 a 26,8 c mol_c kg⁻¹) en la mayoría de los suelos y muy bajos (alrededor del 1 c mol_c kg⁻¹) en los horizontes arenosos.

Los mayores contenidos de materia orgánica (3,6 y 3,7%) se presentan en los horizontes eluviales de las Series La Esperanza y Santa María respectivamente.

La mayor actividad biológica de micro y mesofauna, evidenciada por abundantes crotovinas, solo se presenta asociada a texturas gruesas de los Entisoles (Serie Estancia Madre).

Los suelos estudiados presentan uno o más indicios de hidromorfismo (concreciones ferromanganíferas y/o moteados y/o reacción al α , α' -dipiridil) determinados por relieves encharcables (Serie El Ombú), altos contenidos de arci-

**Figura 2:** Ubicación de la zona de trabajo y mapa climático.

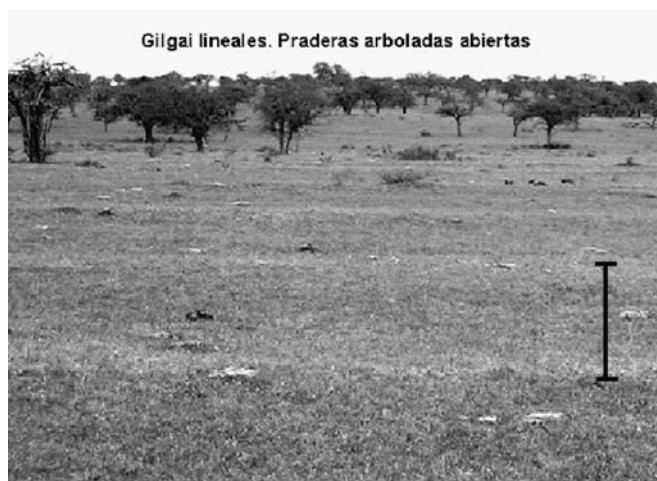


Figura 3: Fotografía de microrelieve gilgai lineal desarrollado en medias lomas y pendientes. Hapluderte oxiácuido (Serie La Esperanza). Barra: ~30 m

lla (texturas arcillo-limosas en Serie La Esperanza) o presencia de horizontes con texturas más finas que los horizontes suprayacentes (Serie Estancia Madre). La reacción al α , α' -dipiridil indicaría procesos de gleización activos, a diferencia de otros Vertisoles de provincias cercanas donde se mencionan síntomas de gleización fósil (Vesco 1985).

Considerando la variación media de algunas propiedades de suelos de los departamentos de Curuzú Cuatiá y Sauce (Cuadro 3), se observa que la fracción arcilla de los Vertisoles de la zona estudiada presenta menor dispersión que en los Subgrupos vérticos de Molisoles y el valor medio es menor que el encontrado en los Vertisoles de Uruguay (Lugo-López *et al.* 1985). Poseen valores medios de arena semejantes, son más limosos y menos arcillosos que Vertisoles de distintos lugares del mundo (Coulombe *et al.* 2000). Tanto en Vertisoles como subgrupos vérticos el contenido de arcilla es menor en los horizontes A, el pH es neutro a moderadamente ácido en superficie y alcalino en profundidad, el carbono orgánico alcanza valores cercanos a 2% sólo en el horizonte A en Vertisoles y subgrupos vérticos, la capacidad de intercambio catiónico de todos los horizontes es moderada, muy variable y siempre menor que la encontrada en Vertisoles seleccionados del mundo (Coulombe *et al.* 2000). Los Entisoles poseen elevados tenores de arena y muy variable contenido de arcilla entre los horizontes A y B.

Granulometría

La distribución granulométrica muestra variación entre las subfracciones de los suelos estudiados (Fig. 5).

En la Serie La Esperanza se observa un interesante fenómeno de pedoturbación con aumento de la cantidad de arenas hacia la superficie del suelo, encontrado en algunos Vertisoles (Yaalon y Kalmar 1978). En efecto, el horizonte más arenoso es el Ag (12,5% de arena) y disminuye en los horizontes Btss1g, Btss2g 2BCK (7,4%; 7,8% y 7,0% respectivamente) y más aún en el 2Ck (5,2%). Las subfracciones de arena no superan el 5% del total del suelo en todo el perfil, con predominancia de arena gruesa en el Ag, arena media en Btss1g,

Btss2g y 2BCK y arena fina en el 2Ck. El limo es la fracción predominante (Ag: 59,2%; Btssg1: 42,2%; Btss2g: 49,7%; 2BCK: 50,0% y 2Ck: 50,0%) o escasamente superado por la arcilla, excepto en el horizonte Ag donde la diferencia entre limo y arcilla es notoria. La fracción limo fino (2-20 μ m) supera marcadamente al limo grueso (20-50 μ m), principalmente en la zona media del perfil (Btss2g y 2BCK) donde este último está casi ausente. La arcilla se encuentra entre 40 y 50% a partir del horizonte Btss1g. La moda principal en los horizontes Ag, Btss2g y 2BCK es limo fino, en cambio en los horizontes Btss1g y 2Ck es arcilla.

La Serie El Ombú posee uniformidad textural de las subfracciones granulométricas en todo el perfil. Las subfracciones de arena gruesa (1000-500 μ m), media (500-250 μ m), fina (250-100 μ m) y muy fina (100-50 μ m), son muy escasas y ninguna de ellas excede el 5% del total del suelo. El limo es predominante, con tenores mucho mayores de limo fino (2-20 μ m), entre 40 y 50%, que de limo grueso (20-50 μ m), el cual excepcionalmente excede el 10%. La arcilla fluctúa entre 30 y 50%. La moda principal es tamaño limo fino y la secundaria es arcilla a excepción del horizonte C donde la arcilla supera levemente al limo fino.

En la Serie Santa María existe mayor variación granulométrica entre los horizontes del perfil aunque los horizontes de la parte media y base pertenezcan a la misma clase textural (franco arcillosa). En conjunto hay mayor participa-

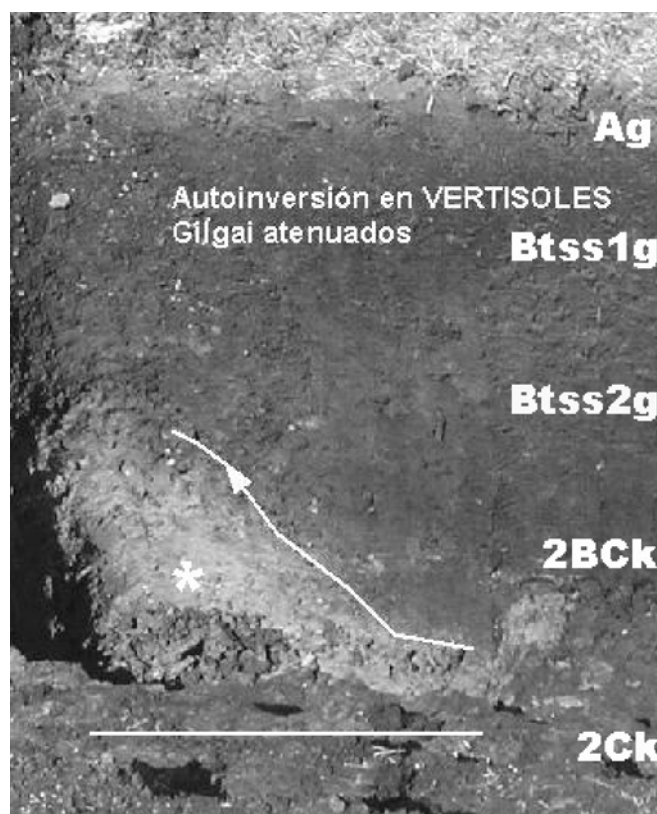


Figura 4: Fotografía de estructura diapírica (mukkara) en gilgai lineal. Hapluderte oxiácuido (Serie La Esperanza). Ag: 0-20 cm, Btss1g: 20-39 cm, Btss2g: 39-62 cm, 2BCK: 62-86 cm, 2Ck: 86-115 cm. *Acumulación de carbonato de calcio. Barra ~1 metro.

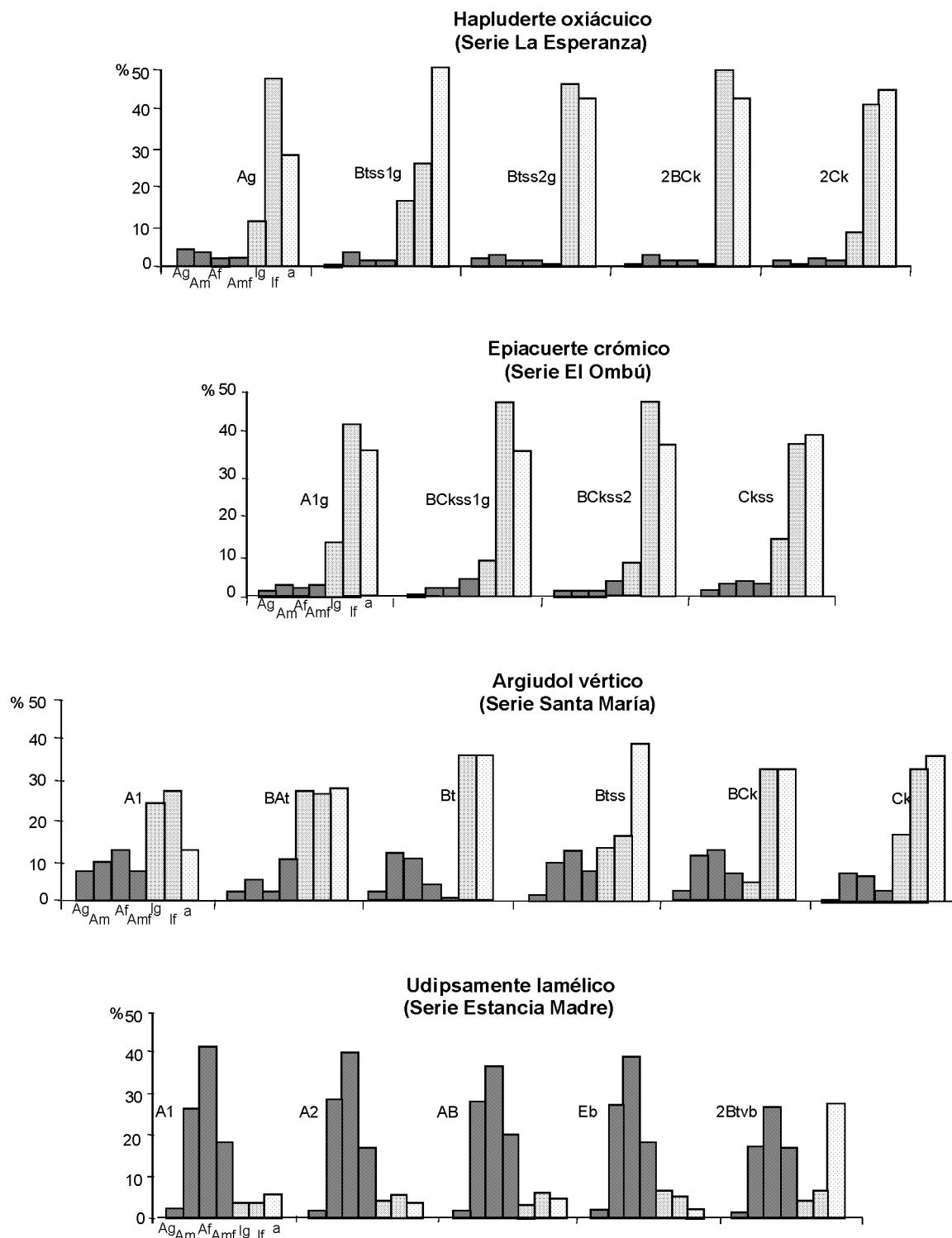


Figura 5: Histogramas de distribución granulométrica. Ag: arena gruesa. Am: arena media. Af: arena fina. Amf: arena muy fina. Ig: limo grueso. If: limo fino. a: arcilla.

ción de la fracción arena que en los suelos descriptos, con contenidos variables (A: 36,7%; BAt: 19,2%; Bt: 28,4%; Btss: 31,7%; BCK: 32%; Ck: 17,6%). Las subfracciones de arena poseen contenidos variables menores del 15 % con predominancia de arena fina y media en todo el perfil excepto

en el BAt donde predomina la arena muy fina. El limo fino (2-20 μm) supera o es semejante al grueso (20-50 μm) también con tenores variables en los distintos horizontes. La arcilla es el intervalo modal a excepción del horizonte A donde es limo fino.

Cuadro 4: Valores comparativos de la mineralogía de arcillas, para algunos Vertisoles del centro este de la Argentina.

	%Arcilla	% Expandibles		% Illita		% Caolinita		
		Total	Total	Suelo	Total	Suelo	Total	Suelo
Corrientes ⁽¹⁾	28 - 47	vest. - 97	vest - 45	vest - 68	vest - 20	vest - 32	vest - 10	
Entre Ríos ⁽²⁾	31 - 52	43 - 85	13 - 41	15 - 57	7 - 20	vest - vest	vest - vest	
Buenos Aires	zona continental ⁽³⁾	28 - 58	35 - 55	13 - 23	45 - 65	12 - 35	vest - vest	vest - vest
	zona marina ⁽⁴⁾	59 - 80	13 - 52	5 - 37	33 - 74	6 - 44	7 - 20	vest. - 15

⁽¹⁾ Valores máximos y mínimos tomados de todo el perfil. ⁽²⁾ Este trabajo; ⁽³⁾ De Petre y Stephan, 1998; ⁽⁴⁾ Imbellone y Giménez, 1990; ⁽⁵⁾ Imbellone *et al.* 2001.

La Serie Estancia Madre posee en los cuatro horizontes superiores del perfil una distribución similar cuya moda está en arena fina (250-100 μm) seguida por arena media (500-250 μm); en cambio el horizonte B del suelo enterrado posee un marcado incremento de arcilla aunque manteniendo elevados tenores de arena.

El material originario de los suelos en las Series El Ombú y Santa María es el Grupo Solari-Serra Geral y en las Series La Esperanza y Estancia Madre es la Formación Toropí-Yupoí (Ligier *et al.* 2001). A fin de analizar la influencia textural del material originario en la evolución del solum se discute más detalladamente la granulometría del horizonte C, de Vertisoles y Subgrupos vérticos de Molisoles de la zona de trabajo. La arcilla total en los Vertisoles supera el 30%, variando entre 30 a 40% (X: 36%, σ : 3,4) en los suelos desarrollados en materiales provenientes del Grupo Solari-Serra Geral, y entre 30 a 50% (X: 44%, σ : 6,4) los provenientes de la Formación Toropí-Yupoí.

El tenor de arcilla en los subgrupos vérticos también es elevado, aunque más variable en cada formación de origen. En los suelos provenientes de Solari-Serra Geral, el 80% posee más del 30% de arcilla (entre 30 y 45%; X: 37%, σ : 5,8), y el resto es igualmente alto entre 20 y 30%. En los materiales de la Formación Toropí Yupoí el 60% de los horizontes C poseen entre 30 y 50% de arcilla (X: 34%, σ : 16,5) y el resto entre 25 y 30%.

Los valores mencionados precedentemente demuestran que tanto el Grupo Solari-Serra Geral como la Formación Toropí-Yupoí aportan un tenor de arcilla total semejante en la evolución de los suelos de los departamentos de Curuzú Cuatí y Sauce.

Según se observa en el cuadro 2 los horizontes C de las Series El Ombú y Santa María (Epiacuerte crómico y Argiudol vértico) que evolucionan a partir del Grupo Solari-Serra Geral tienen entre 36 y 28% de argilominerales expandibles en el suelo, por tanto estos suelos poseen potencial vértico congénito.

El horizonte C es altamente limoso en Vertisoles y subgrupos vérticos de Molisoles ya sea que se hallan desarrollados en el Grupo Solari-Serra Geral o Formación Toropí-Yupoí. Los Vertisoles poseen valores medios de 52% (σ : 8,6) y 49% (σ : 4,3) para los suelos provenientes del Grupo Solari-Serra Geral y Formación Toropí-Yupoí respectivamente. En los subgrupos vérticos de Molisoles, los tenores medios de limo son de 51% (σ : 8,8) y 47% (σ : 17) respectivamente para los materiales originarios mencionados.

En Vertisoles los valores medios de arena alcanzan 11% (σ 7,9) y 6% (σ 4,9) en los materiales del Grupo Solari-Serra y Formación Toropí-Yupoí; en subgrupos vérticos de Molisoles es 11% (σ : 7,3) y 19% (σ : 12) respectivamente para los materiales mencionados.

La clase textural de los horizontes C de las Series El Ombú y Santa María es franco arcillo limosa (35% arcilla, 55% limo y 10% arena), y franco arcillosa (35% arcilla, 32,5% limo y 37,5% arena), respectivamente, y concuerda con la granulometría descrita para la Formación Toropí-Yupoí, caracterizada como areniscas limo-arcillosas y limos areno-arcillosos por Herbst *et al.* (1985). En la Serie la Esperanza el horizonte C pertenece a la clase textural arcillo limosa (50% arcilla, 45% limo y 5% arena). El Miembro Solari de la Formación Serra Gerral presenta areniscas cuarzosas, finas y medias, por tanto los suelos de la Serie mencionada podrían asignarse tanto al Grupo Solari como a porciones meteorizadas de los basaltos de la Formación Serra Geral.

Mineralogía de arcillas y propiedades físicas

En la figura 6 y en el cuadro 2 se muestra la relación entre la composición semicuantitativa de argilominerales en la fracción arcilla (menor a 2 μm), en la fracción tierra fina seca al aire (menor a 2 mm) y propiedades físicas asociadas.

En la Serie la Esperanza los minerales expandibles están casi ausentes en el horizonte superior con abundancia de caolinita e illita, en correspondencia con baja expansión libre (EL) y escasez de rasgos vérticos. Los horizontes medios e inferiores del suelo poseen cantidades altas de minerales expandibles en el suelo, con EL más alta que en la Serie El Ombú y evidencias de vertigénesis en el perfil excepto en el horizonte 2Ck. Los horizontes inferiores del solum y el material originario poseen más de 95% en la fracción menor a 2 μm de minerales expandibles, que sumado a la elevada cantidad absoluta en el suelo, produce elevada EL, aunque en el horizonte 2Ck no se registran rasgos vérticos. Este hecho se debería a la escasa variación en el contenido de humedad en esa porción del perfil. La mayor plasticidad se relacionaría con el tipo y cantidad de los filosilicatos presentes en la masa del suelo.

En la Serie El Ombú la fracción arcilla está casi totalmente constituida de minerales expandibles, en todo el perfil, con tenores moderados en el suelo. Illita y caolinita se encuentran en cantidades mínimas. El perfil muestra rasgos de vertigénesis bien marcados, y la evolución del suelo está estrechamente ligada a la granulometría y mineralogía de material originario,

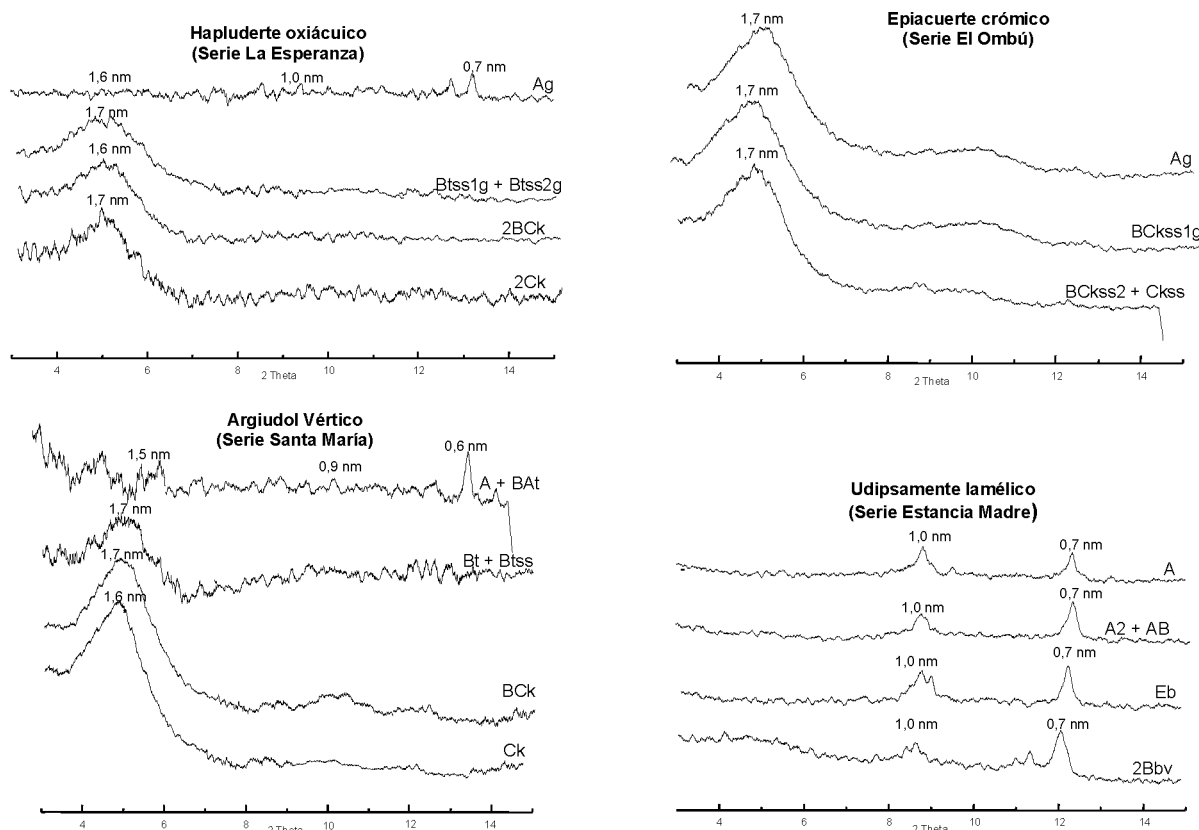


Figura 6: Registros difractométricos de la fracción menor a 2 μm . Muestras glicoladas con etilenglicol.

como también a las variaciones de humedad del suelo evidenciada por la presencia de rasgos redoximórficos.

La Serie Santa María posee aproximadamente 60% de minerales expandibles en la fracción menor de 2 μm de los horizontes superiores y EL baja. En cambio, los horizontes sub-superficiales poseen más del 90% de los mismos, mayor contenido de expandibles en fracción menor a 2 mm, con EL mayor que el horizonte A. Los únicos horizontes en los que se registran rasgos vérticos con escaso grado de expresión son Btss y BCK.

Los tres suelos mencionados precedentemente poseen estructura vértica en el sentido de Blockhuis *et al.* (1991) ya sea en todo el perfil (Serie El Ombú) o donde el contenido de minerales expandibles en el suelo y las características de humedad lo permiten. En los horizontes inferiores de la Serie La Esperanza el tenor de minerales expandibles en el suelo es muy elevado, pero al encontrarse generalmente saturados con agua no se generan rasgos vérticos.

La Serie Estancia Madre merece consideraciones particulares por tratarse de un suelo totalmente distinto a los anteriores. En primer lugar es un perfil compuesto, con muy escaso tenor de arcilla total en el suelo actual. Además, difiere de los otros suelos en que la mayor parte de la fracción arcilla está constituida por caolinita, con mayor participación de illita y expandibles en el horizonte A. El aumento de illita y caolinita en el horizonte B del suelo enterrado es concordante con un aumento importante del contenido de arcilla total en ese horizonte.

Comparando la EL de la Serie Santa María y la Serie La Esperanza se observa que la misma se relaciona con la clase textural, ya que en la primera es menor (clases francas) que en la segunda (clases arcillosas). Esta relación no se cumple para la Serie El Ombú. En la Serie Santa María el grado de expresión de los rasgos vérticos es débil, y aunque el contenido absoluto de argilominerales expandibles es alto, la presencia de grava posiblemente atenúa la movilidad del material. En cambio, en la Serie La Esperanza el grado de expresión de los rasgos vérticos es marcado debido a la cantidad de minerales expandibles en la masa del suelo, la textura más fina y la ausencia de fragmentos gruesos.

En ambos suelos hay evidencia de procesos de óxido-reducción estacional generados por una condición de humedad variable, la cual posibilita la generación de rasgos vérticos mejor expresados en los sectores del perfil donde el potencial de expansión es adecuado.

Excepto en el Entisol arenoso y los horizontes A de algunos Vertisoles y Molisoles estudiados (Series La Esperanza y Santa María respectivamente) el contenido absoluto de argilominerales expandibles supera el 20%, valor indicado por Bullock y Thompson (1985) como mínimo necesario para la generación de rasgos vérticos en el suelo.

Consideraciones finales

Los suelos con rasgos vérticos poseen elevado contenido

de filosilicatos expandibles en la fracción arcilla, típicamente representados por la Serie El Ombú. Los suelos de las Series El Ombú y La Esperanza poseen rasgos redoximórficos en alguna parte del perfil que aseguran la presencia de condiciones hídricas favorables para la generación de los mismos como estados de oxidación-reducción contrastantes, al punto que en algún momento del año el suelo posee elementos en estado reducido. La generación de rasgos vérticos, aunque es un proceso físico también necesita de las condiciones mencionadas. Por ese motivo, la base de las Series La Esperanza y Santa María carece de ellos, hecho que se debería a la influencia de la capa freática ocasionalmente elevada. En los horizontes eluviales de las series mencionadas los rasgos vérticos son muy escasos o están ausentes ya que poseen escasa cantidad de minerales expandibles. La mínima expresión de rasgos vérticos se encuentra en la Serie Santa María donde la mayor participación de la fracción arena y, posiblemente la presencia de gravillas, atenúan la vertigénesis.

La presencia de microrelieve gilgai se encuentra típicamente expresada en la Serie El Ombú que posee altos tenores de argilominerales expandibles desde la superficie. En cambio, en la Serie La Esperanza este relieve se encuentra muy atenuado, en relación a las propiedades minerales intrínsecas del material del horizonte superficial y su respuesta a la dinámica geomórfica.

En los Vertisoles y subgrupos vérticos estudiados y como se mencionó para Vertisoles de la provincia de Buenos Aires (Imbellone y Giménez 1990) y de la provincia de Entre Ríos (Stephan *et al.* 1983), la movilidad física del material del suelo no afectaría la curva de variación normal de distribución de materia orgánica, la cual decrece suavemente con la profundidad según se observa en el cuadro 1. Para verificar esta suposición, sería necesario realizar estudios de variabilidad espacial entre los tres elementos del gilgai (microloma, micropendiente y microdepresión), ya que en el campo y en la Fig. 3 se observan estructuras diapíricas, indicadas claramente por ascenso de carbonatos, que evidencian un proceso de autoinversión.

Comparando algunas propiedades de los suelos estudiados con los de otras zonas del país se observan variaciones posiblemente debidas a la naturaleza de los materiales originarios (Cuadro 4). La capacidad de intercambio catiónico de los Vertisoles del sur de Corrientes escasamente alcanza el valor de 30 cmol kg^{-1} (Cuadro 3) y es menor que en suelos de Entre Ríos (De Petre y Stephan 1998). En el cuadro 4 se observa que el contenido de arcilla total es ligeramente menor, en cambio, el contenido de minerales expandibles de la fracción arcilla es mayor que en suelos de Entre Ríos. El contenido de illita en la fracción arcilla en el sur de Corrientes es muy escaso (menos del 5%) a excepción del horizonte A del Hapluderte oxiácuico (68%, Cuadro 2), pero en general mucho menor que en Entre Ríos (15 - 57%, Cuadro 4) donde se considera que hubo contaminación loésica. La cantidad de caolinita en la fracción arcilla de los suelos estudiados es en general escasa y presenta mayores variaciones que en Entre Ríos, ya que en el horizonte A de un Vertisol y el subgrupo vértico hay aumento importante de caolinita. Tanto en Vertisoles de Corrientes como de Entre Ríos los minerales expandibles son predominantes (Cuadro 4).

Los suelos con rasgos vérticos del sur de Corrientes también difieren en el contenido de especies mineralógicas con aquellos del área continental de la provincia de Buenos Aires (Imbellone y Giménez 1990), donde el material originario es loess pampeano. Aquí, la presencia de rasgos vérticos en Vertisoles y subgrupos vérticos de Molisoles se relaciona más con el alto tenor de arcilla total que con la composición mineralógica de la fracción arcilla, ya que la especie predominante es illita con sólo trazas de caolinita. Los rasgos vérticos se manifiestan en los horizontes donde el contenido de minerales expandibles en el suelo está entre 20 y 30% debido al elevado contenido de arcilla total (28-58%; Cuadro 4). También en los Vertisoles evolucionados en sedimentos marino-estuarinos de la planicie costera del río de La Plata (Imbellone *et al.* 2001), las arcillas son principalmente illíticas; los minerales expandibles en el suelo no superan el 37% y el contenido de arcilla total del material originario es más elevado que en Buenos Aires (zona continental), Entre Ríos y Corrientes.

Agradecimientos

A los Licenciados Jorge Maggi y Néstor Canesa del Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-Facultad de Ciencias Naturales y Museo) por la realización de los difractogramas de rayos X. Particular reconocimiento al geólogo José Ferrer y a un anónimo revisor por sus acertadas sugerencias.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Abete, J. y Sánchez, M. 1970. Relación entre las constantes de Atterberg y su estimación rápida mediante el ensayo de Expansión Libre. Memoria de la Primera Reunión Argentina de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones: 241-250.
- Ahmad, N. 1983. Vertisols. En Wilding, L.P., Smeck, N.E. y Hall, G.F. (Eds.) Pedogenesis and Soil Taxonomy, II: The Soil Orders: 91-123. Elsevier Publishers, Amsterdam.
- Baize, D., Girard, M. C., Boulaire, J., Cheverry, C. y Ruellan, A. 1990. Référentiel Pédologique. Pubis par l'Association Française pour l'Etude du Sol, 203 p., Plaisir.
- Blockhuis, W. A., Wilding, L. P. y Kooistra, M. J. 1991. Classification of vertic intergrades: macromorphological and micromorphological aspects. En Kimble J. M. (ed.) Proceedings Sixth International Soil Correlation Meeting USDA. SCS. National Soil Survey Center. Lincoln, NE.: 1-7.
- Buol, S. W., Hole, F.D., McCracken, R.J. y Southard, R.J. 1997. Soil Genesis and Classification, Iowa State University Press/Ames: 527 p.
- Bui, E. N. y Mermut, A. R. 1989. Orientation of planar voids in Vertisols and soils with vertic properties. Soil Science Society of America Journal 1(53): 171-178.
- Bullock, P. y Thompson, L., 1985. Micromorfología de Alfisoles. En Douglas L. A. y Thompson M.L. (eds.) Soil Micromorphology and Soil Classification. Soil Science Society of America. Special Publication 15: 17-48.
- Capurro, R., Escobar, E. H. y Carnevali, R. 1985. Regiones Naturales de Corrientes. EEA INTA Corrientes, Recursos Naturales, 47 p.
- Carnevali, R., 1994. Fitogeografía de la provincia de Corrientes. Gobierno de la provincia de Corrientes-INTA, 324 p.
- Coulombe, C.E., Wilding, L. P. y Dixon, J. 1996. Overview of Vertisols:

- Characteristics and Impacts on Society. *Advances in Agronomy* 57: 289-375.
- Coulombe, C. E., Wilding, L. P. y Dixon, J. B. 2000. Vertisols. En M. Summer (Ed.) *Handbook of Soil Science*, CRPress, E-269-283, Washington.
- Dasog, G. S., Acton, D. F., Mermut, A. R. y De Jong, E. 1988. Shrink-swell potential and cracking in clay soils of Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* 68: 251-260.
- De Petre, A. y Stephan, S. 1998. Características pedológicas y agronómicas de los Vertisoles de Entre Ríos. Argentina. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Entre Ríos, 65 p., Entre Ríos.
- Dudal, R. 1967. Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales. Cuadernos Fomento Agropecuario. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 83, 170 p, Roma.
- Dudal, R. y Eswaran, H. 1988. Distribution, properties and classification of Vertisols. En L.P. Wilding y R. Puentes (Eds.) *Vertisols: Their distribution, properties, classification and management*. Texas A&M Printing Center. Technical Monograph 18: 1-22, College Station. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1990. Soil Map of the World. Revised Legend. *World Soil Resources Report* 60, 119 p., Roma.
- Gentilli, C. A. y Rimoldi, H. V. 1979. Mesopotamia. En Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1: 185-223, Córdoba.
- Hallsworth, E. G., Robertson, G. y Gibbons, F. 1955. Studies in pedogenesis in New South Wales 7. The "gilgai" soils. *Journal Soil Science*, 6: 1-31.
- Herbst, R., y Santa Cruz, J. N. 1985. Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. D' Orbigniana 2: 1-50.
- Imbellone, P y Giménez, J. 1990. Propiedades físicas, mineralógicas y micromorfológicas de suelos con características vérticas del partido de la Plata (Provincia de Buenos Aires), *Ciencia del Suelo* 8: 232-236.
- Imbellone, P., Giménez, J., Sunesen, P. y Cumba, A. 2001. Suelos con régimen ácuico del litoral del Río de la Plata. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Actas electrónicas.. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Escalas 1:500.000 y 1:1.000.000. Taller imprenta La Paz, 1: 731 p., Wilde.
- Khitrov, N. B. 1996. A procedure for evaluating the combinations of soil-forming factors that favor the development of vertic properties in soils. *Eurasian Soil Science* 1: 1-10.
- Ligier, H. D. Kurtz, D., Matteio, H., Perucca, R. y Vallejos, O. 2001. Suelos y vegetación de los departamentos de Curuzú Cuatiá y Sauce, provincia de Corrientes, Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, 282 p., Corrientes.
- Lugo-López, M. A., Carnelli J.P. y Acevedo, G. 1985. Morphological, physical and chemical properties of major soil from Calagua in northwestern Uruguay. *Soil Science Society American Journal* 49: 108-113.
- Mermut, A. R., Acton, D. F. y Ternocai, C. 1991. A review of recent research on swelling clay soils in Canadá. En J. M. Kimble (ed.) *Characterization, Classification, and Utilization of Cold Aridisols and Vertisols*. USDA. Soil Conservation Service. National Soil Survey Center, 112-121, Lincoln.
- Paton, T. R. 1974. Origin and terminology for gilgai in Australia. *Geoderma* 11: 221-242.
- Popolizio, E. 1985. Geomorfología. En Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. D' Orbigniana, 4: 7 – 10.
- Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. United State Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 326 p., Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. USDA Agriculture Handbook 18. United State Department of Agriculture. U.S. Government Printing Office, 328p., Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agriculture Handbook N° 436. United States of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Second edition, 869 p., Washington, D.C.
- Stephan, S., Berrier, J., De Petre, A.A., Jeanson, C., Kooistra, M. J., Scharpensell, H.W. y Schiffman, H. 1983. Characterization of in situ organic matter constituents in Vertisols from Argentina, using submicroscopic and cytochemical methods – First report. *Geoderma* 30: 21 – 34.
- Vesco, J. J. 1985. Inventario de los suelos. Estado actual, problemática y proyección en la provincia de Entre Ríos. Primeras Jornadas Regionales de Suelos. Región Pampeana Norte. Estación Experimental Regional Agropecuaria INTA, 13- 44, Rafaela.
- Villota, H. 1997. Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica de terreno. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Centro de Investigaciones en Percepción Remota, Serie 1: Docencia, 1-27, Santa Fe de Bogotá.
- WRB. 1994. World Reference Base for Soil Resources. ISSS-AIS-IBG, ISRIC, FAO. Compiled and edited by O. C. Spaargaren, 161p., Wageningen.
- Wilding, L. P. y Puentes, R. (eds) 1988. *Vertisols: Their distribution, properties, classification, and management*, Texas A&M University Printing Center, 193 p., College Station.
- Wilding, L.P., Kovda, I.V., Morgun, E.G. y Williams, D. 2002. Reappraisal of the pedon concept for Vertisols: consociations or complexes?. 17th World Congress of Soil Science. Paper 872: 1-12, Bangkok.
- Yaalon, D.H. y Kalmar, D. 1978. Dynamics of cracking and swelling clay soils: Displacement of skeletal grains, optimum depth of slickensides and rate of intra-pedonic turbation. *Earth Surface Processes* 3: 31-42.

Recibido: 27 de diciembre, 2004

Aceptado: 1 de marzo, 2005