

NOTA TÉCNICA**Contribución al estudio de los suelos “Algorta”**

Califra, A.^{1,2}; Ruiz, A.²; Alliaume, F.² y Durán, A.²

¹ *División de Suelos y Aguas (MGAP), Av. Gral. Eugenio Garzón 456. Montevideo, Uruguay.*

Correo electrónico: acalifra@fagro.edu.uy

² *Dpto. Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Av. Gral. Garzón 780. CP 12900. Montevideo, Uruguay.*

Recibido: 21/2/2006 Aceptado: 3/5/2007

Resumen

La unidad Algorta de la Carta de Reconocimiento del Uruguay (CRSU) ocupa 135.000 ha en los departamentos de Río Negro y Paysandú (centro oeste de Uruguay). Los suelos dominantes de esta asociación son Argisoles y Planosoles Dísticos Ocrícos, arenosos (Hapludalfes Típicos y Arénicos). Como asociados ocurren Brunosoles Subéutricos y Dísticos Típicos y Lúvicos (Argiudoles Abrúpticos), arenosos. En este trabajo se sistematiza y discute información morfométrica y analítica de estos suelos, con el objetivo de profundizar el conocimiento sobre su caracterización y taxonomía. La clasificación de algunos de los suelos considerados fue revisada y ahora se clasifican como Luvisoles (Hapludalfes Arénicos); se sugiere incluirlos como accesorios en la unidad. Se propone la definición de tres Series de suelos en esta unidad: “Piedras Coloradas”, integrada por Planosoles Dísticos Ocrícos arenosos, fase hidromórfica; “Quebracho”, integrada por Argisoles Dísticos Ocrícos/Melánicos, Albícos, Abrúpticos/Típicos, familia arenosa; y “Menafrá”, integrada por Luvisoles Ocrícos (Albícos, Abrúpticos y Típicos), familia arenosa.

Palabras clave: caracterización de suelos, Orden Saturados Lixiviados, Planosoles, Argisoles, Luvisoles

Summary**Contribution to the study of “Algorta” soils**

The Algorta mapping unit extends over than 135.000 ha in the Departments of Rio Negro and Paysandú (central-western Uruguay). Dominant soils are Argisoles and Planosoles Dísticos Ocrícos, sandy family (Typic and Arenic Hapludalfs); associated soils are Brunosoles Subéutricos or Dísticos Típicos or Lúvicos (Abruptic Argiudolls) of the same textural family. Morphometric and analytical information is compiled and discussed in this paper and a data base is created, with the purpose of improving the knowledge about characterization and classification of these soils. The classification of some profiles included in the study is revised and they are now classified as Luvisoles (Arenic Hapludalfs). It is suggested to include them as accessory soils in the Algorta soil mapping unit. It is also proposed to define three soil Series: «Piedras Coloradas», with Planosoles Dísticos Ocrícos, sandy family, hydromorphic phase; «Quebracho», with Argisoles Dísticos Ocrícos or Melánicos, Albícos, Abrúpticos or Típicos, sandy family; and «Menafrá», with Luvisoles Ocrícos (Albícos, Abrúpticos y Típicos), sandy family.

Key words: soil characterization, leached-saturated order, Alfisols

Introducción

La asociación de suelos Algorta, ocupa unas 135.000 ha en los departamentos de Río Negro y Paysandú (0.8% del territorio). De acuerdo a la CRSU (DSA/MGAP, 1976), los suelos pertenecen fundamentalmente al Orden Saturados Lixiviados, en menor medida Melánicos, y menos frecuentemente aún, Poco Desarrollados. Según la Taxonomía de Suelos son Hapludalfes Típicos o Arénicos franco finos, mixtos, superactivos, térmicos y Argiudoles Páquicos o Abrúpticos finos, mixtos, superactivos, térmicos (Durán *et al.*, 2006). Los suelos se desarrollan sobre formaciones superficiales arcillo arenosas originadas por alteración y removilización de areniscas cretácicas de la Formación Mercedes (Ford y Gancio, 1990). En su principal área de ocurrencia - zona de Menafrá - Algorta - Piedras Coloradas - el relieve es de lomadas suaves y fuertes, pero otras áreas poseen mayor energía de relieve con presencia de escarpas (alrededores de Quebracho).

El uso de la tierra dominante es ganadero; la agricultura ocupó áreas importantes en años anteriores (remolacha azucarera) provocando erosión ligera a moderada localmente. La forestación, iniciada a fines de la década de 1960, ha tenido un fuerte impulso desde 1990. Los suelos estudiados pertenecen al grupo CONEAT 9.3 mayoritariamente, y en menor proporción a los grupos 9.6; 9.41; 9.42; 9.1; 9.7 y 9.9, casi todos de prioridad forestal.

Los objetivos de este trabajo son compilar y analizar toda la información existente de la asociación Algorta, profundizar el conocimiento de las principales propiedades de sus suelos, definir Series de suelos y analizar la variabilidad de algunos parámetros edáficos para mejorar su evaluación e interpretación.

Materiales y métodos

Se sistematizaron, compararon y analizaron descripciones y datos analíticos de veintiocho perfiles de suelo estudiados por Panario (1974), DSA/MGAP (1976 y no publicados), Cátedra de Edafología (1994) y Dieste (1999). A partir de esa información, se estimaron otros parámetros: densidad aparente, porosidad, contenido de agua a 33 y 1500 kPa de succión y susceptibilidad intrínseca a la erosión (K).

Se estudiaron 10 Argisoles, 8 Planosoles, 6 Luvisoles y 4 Brunosoles ubicados en las hojas topográficas Guayabos, Algorta, Don Esteban, Paso de Lugo, Chapicuy, Porvenir, Palmitas, Fray Bentos y Mercedes del Servicio Geográfico Militar.

Propiedades hídricas

El contenido de agua a 33 kPa (capacidad de campo, CC) y 1500 kPa (punto de marchitez permanente, PMP) se estimó para cada horizonte a partir de su contenido de arena, limo, arcilla, determinados por el método de la pipeta (Gee y Bauder, 1986) y de materia orgánica según Walkley-Black (Allison, 1965), utilizando las ecuaciones de Silva *et al.* (1988). La densidad aparente de cada horizonte se estimó mediante la ecuación de Fernández (1979).

El contenido de agua potencialmente disponible para las plantas (AD) se computó para cada horizonte por la fórmula:

$$AD = CC - PMP$$

en la que AD, CC y PMP están expresados en porcentaje volumétrico, el que se convirtió a mm y la sumatoria de los valores para cada horizonte representa la capacidad de retención del perfil.

Propiedades físicas

La porosidad total (PT) de cada horizonte se estimó utilizando la fórmula:

$$PT = \left[1 - \frac{da}{dr} \right] \cdot 100$$

siendo *da* la densidad aparente y *dr* la densidad real; se asumió el valor de 2.65 g cm⁻³ como *dr* para todos los horizontes.

La microporosidad (*mp*) es el contenido de humedad en volumen retenida a CC; mientras que la macroporosidad (*Mp*) se despeja de la fórmula:

$$PT = Mp + mp$$

Erodabilidad

En los horizontes superficiales (A) de los suelos se estimó la erodabilidad (K), siguiendo las pautas de Puentes y Szogy (1983) para Uruguay, mediante la ecuación:

$$K = 1.317 \left[2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)(10^{-2}) \right]$$

Donde:

M = parámetro dependiente de la distribución del tamaño de partículas que responde a la fórmula:

M = (S) (100-A), siendo: S = Limo% + Arena muy fina (0.1 - 0.002mm) %

A = Arcilla (< 0.002 mm) %

a = Materia orgánica%

- a = Materia orgánica%
 b = código para estructura
 c = código para permeabilidad

Carbono orgánico

Se computó el contenido de carbono orgánico (CO) acumulado hasta 20, 50 y 100 cm de profundidad. La densidad aparente utilizada en los cálculos fue la estimada según Fernández (1979). El contenido de CO se expresó en Mg.ha⁻¹ hasta las profundidades indicadas.

Nutrientes

Se computó el contenido de bases intercambiables en los primeros 20 cm de cada perfil mediante las siguientes ecuaciones:

$$Ca \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = Ca^{2+} \text{ (cmol}_+ \text{ kg}^{-1}\text{)} \times 0.02 \times 1000 \times Ecm \times da$$

$$Mg \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = Mg^{2+} \text{ (cmol}_+ \text{ kg}^{-1}\text{)} \times 0.012 \times 1000 \times Ecm \times da$$

$$Na \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = Na^{2+} \text{ (cmol}_+ \text{ kg}^{-1}\text{)} \times 0.023 \times 1000 \times Ecm \times da$$

$$K \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = K^+ \text{ (cmol}_+ \text{ kg}^{-1}\text{)} \times 0.039 \times 1000 \times Ecm \times da$$

Donde:

0.02, 0.012, 0.023 y 0.039 son los pesos miliequivalentes del Ca, Mg, Na y K respectivamente y Ecm es el espesor del horizonte en cm.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de la arcilla

Se estimó la CIC de la fracción arcilla a partir de la CIC total de los horizontes de cada perfil mediante las ecuaciones de regresión múltiple desarrolladas por Vítora y Zamalvide (1972) adjudicándole a la materia orgánica una contribución de 108 cmol₍₊₎ Kg⁻¹, sugerida para suelos de textura arenosa por dichos autores.

Resultados y discusión

Taxonomía

Según la clasificación de suelos del Uruguay (DSA-MGAP, 1976), 18 de los perfiles analizados pertenecen al Orden Saturados Lixiviados: diez Argisoles Dísticos o Subéuticos, mayoritariamente Ocrícos Abrúpticos, y 8 son Planosoles Dísticos en general Ocrícos; todos de la familia arenosa. Se identificaron 6 perfiles pertenecientes al Orden Desaturados-Lixiviados, clasificados como Luvisoles Ocrícos Albícos y Abrúpticos, y 4 perfiles del Orden Melánicos, clasificados como Brunosoles Subéuticos principalmente Lúvicos, arenosos.

Propiedades morfológicas

Secuencia de Horizontes

La secuencia de horizontes en general es A, Bt, C, pero en algunos casos existe un horizonte E entre el A y el Bt. El horizonte diagnóstico superficial es ócríco excepto en los Brunosoles. En todos los suelos el horizonte subsuperficial diagnóstico es argilúvico, de grado variable de diferenciación textural (Cuadro 1). La transición entre los horizontes A y B es clara o abrupta, siendo del último tipo cuando existe un horizonte E albíco temporariamente saturado. La diferenciación textural expresada por la relación entre el contenido máximo de arcilla del horizonte B y el del primer subhorizonte del A es muy alta, excepto en los Brunosoles. Los Luvisoles presentan la mayor diferenciación (relación de arcilla del Bt/A tres veces mayor que en los Brunosoles), lo que refleja una fuerte iluviación y una alteración química muy acentuada que indican un avanzado desarrollo avanzado.

Cuadro 1. Cociente medio del porcentaje de arcilla de los horizontes B y A en los diferentes Grandes Grupos.

Gran Grupo	Cociente promedio del % arcilla entre B y A
Brunosoles	1.9
Argisoles	2.8
Planosoles	3.5
Luvisoles	5.6

Espesor

El espesor del solum en los diferentes Grandes Grupos (GG) varía entre 100 y 125 cm (Cuadro 2). Si se considera además la textura del solum, con dominancia de arena, tanto el espesor de fácil arraigamiento (horizontes A de más de 30 cm) como el espesor efectivo los suelos elevados y beneficiosos para el desarrollo vegetal (Capean *et al.*, 1990).

Color

Horizontes A

Los colores en húmedo de los suelos son pardo oscuro o muy oscuro a negro y gris muy oscuro. De acuerdo a la notación Munsell, prevalecen matices de 7.5YR y 10YR y la intensidad (*value*) varía entre 1 y 2. Las variaciones de color entre GG están dadas por su pureza (*chroma*), que en los Brunosoles es de 2 ó 3, en los

Cuadro 2. Espesor medio de los horizontes de los diferentes Grandes Grupos.

Horizonte	Espesor promedio (cm)			
	Brunosoles	Argisoles	Planosoles	Luvisoles
A	32.	40.1	50.1	40.7
E	-	-	12	12
Bt	99	102	125	114

Argisoles y Luvisoles de 2.5 a 3.5, y en los Planosoles de 3 a 4.5.

Horizontes E

En húmedo, el matiz y la intensidad del color de este horizonte son similares a las del horizonte A, pero su pureza varía más estrechamente (4 a 5), por lo que la tonalidad es más clara y agrisada. Ello es más visible para el color en seco, cuya pureza llega hasta 7.5 (pardo muy claro).

Horizonte Bt

Este horizonte es de color más heterogéneo, desde gris muy oscuro hasta gris pardo claro. El matiz y la intensidad son similares en todos los GG y semejantes a las de los horizontes A. Lo que varía más es la pureza, que en Brunosoles fluctúa de 3 a 5, en Argisoles de 2.5 a 6, en Planosoles de 3 a 5 y en Luvisoles de 2 a 4.

Es común la ocurrencia de moteados en los horizontes Bt de Argisoles, Planosoles y Luvisoles. Los mismos son abundantes o comunes, grandes a medianos y de borde neto o abrupto (Soil Survey Staff, 1991) y sus colores son pardos, amarillentos y rojos, indicativos de condiciones alternadas de óxido-reducción.

Propiedades físicas

Composición mecánica

Las texturas del horizonte A es arenoso franca a franco arenosa, y la del horizonte Bt franco arcillo arenosa a arcillo arenosa.

La composición mecánica media por GG del subhorizonte A superficial y del subhorizonte Bt con mayor contenido de arcilla se ilustra en el cuadro 3 que permite concluir que en los horizontes A, el contenido de arena aumenta desde 72% en los suelos menos diferenciados (Brunosoles) hasta 84% en los de máxima diferenciación (Planosoles y Luvisoles), mientras que el de arcilla disminuye de 17 a 3%. En los horizontes Bt, la granulometría es más homogénea entre diferentes GG y el mayor contenido de arcilla se observa en Brunosoles y Luvisoles (32.2 y 34.3%).

La distribución de la arcilla en profundidad presenta una clara acumulación en el horizonte Bt y es más acentuada en Planosoles y Luvisoles (Figura 1).

Estructura

Horizonte A

El tipo de estructura más frecuente, siguiendo las pautas del Soil Survey Staff (1991), es de bloques subangulares y angulares y menos frecuentemente masiva o de grano simple. La clase predominante es de fina a media, y el grado, moderado a débil, siendo este último el más frecuente.

Horizontes E

En estos horizontes la estructura más frecuente es masiva o grano simple.

Horizontes Bt

Los horizontes Bt de estos suelos tienen estructura de bloques angulares a prismas, medios a gruesos y de grado moderado, a veces fuerte.

Porosidad

En Argisoles, Planosoles y Luvisoles, la porosidad total media es similar en todos sus diferentes horizontes. La macroporosidad es 28% menor en los horizontes B que en los horizontes A. La microporosidad es 27.4; 28.4 y 36.5% mayor en los B que en los A para Argisoles, Luvisoles y Planosoles respectivamente, lo que confirma la marcada diferenciación textural de estos suelos. Los horizontes E de los Planosoles y algunos Luvisoles tienen porosidad total y microporosidad apenas inferior a la de los respectivos horizontes A, mientras que la macroporosidad aumenta ligeramente respecto al A. Esta variación en los componentes de la porosidad se explica por la mayor proporción de fracciones gruesas en el horizonte E y por la lixiviación de arcillas, óxidos de hierro y materia orgánica que lo caracterizan.

Solamente se estudiaron dos Brunosoles, pero no obstante, se calculó su porosidad total media, la que resultó de 47.3% en el horizonte A, distribuida en similares proporciones entre macro y microporosidad (24.3 y 23.0% respectivamente). En el horizonte Bt la porosidad total disminuye en promedio 4% en relación al A, la microporosidad se incrementa casi en un tercio y la macroporosidad disminuye algo más de un tercio. Ello indicaría la colmatación de los poros de mayor tamaño con material coloidal iluvial.

Sería deseable contrastar los resultados obtenidos mediante los modelos utilizados (Fernández, 1979; Silva *et al.*, 1988) con mediciones directas sobre muestras

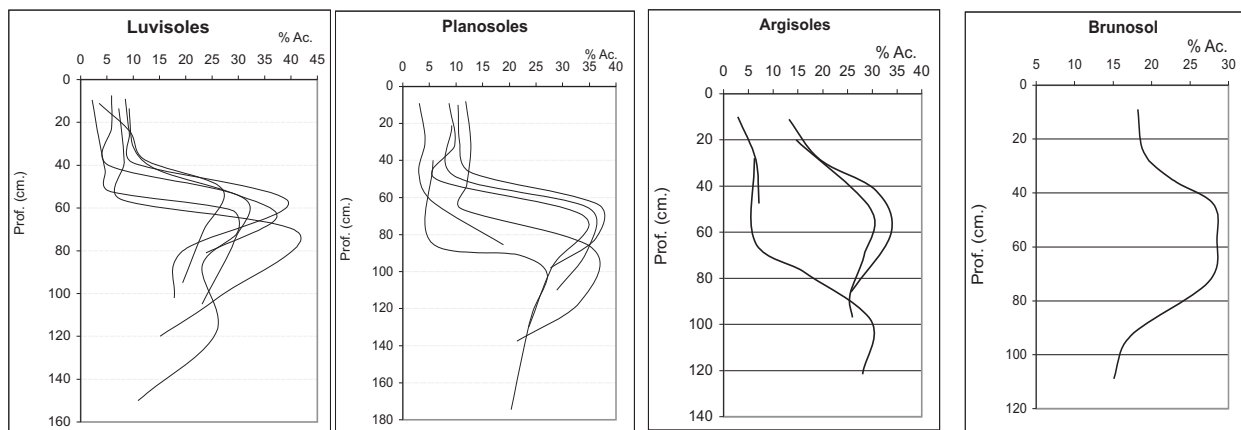


Figura 1. Evolución del contenido de arcilla en profundidad de los Luvisoles, Planosoles, Argisoles y Brunosoles.

Cuadro 3. Granulometría media de los horizontes A y B en los diferentes Grandes Grupos.

		Horizontes A (%)			Horizontes B (%)		
		Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
Brunosoles 4*	Promedio	72.0	10.9	17.1	57.7	10.1	32.2
	Desvío	4.38	5.11	2.99	7.64	5.46	4.66
	Máximo	78.2	14.8	20.8	68.8	14.6	38.2
	Mínimo	68.0	3.6	14.6	52.6	2.7	28.5
Argisoles 10*	Promedio	76.8	12.2	10.2	58.8	12.7	28.6
	Desvío	5.98	4.17	3.73	5.13	6.50	4.47
	Máximo	87.5	21.5	14.3	64.4	27.6	33.8
	Mínimo	70.0	6.3	2.9	50.8	5.8	17.2
Planosoles 8*	Promedio	84.2	7.5	8.3	61.4	8.8	29.5
	Desvío	4.83	3.67	2.80	5.72	4.49	6.55
	Máximo	90.0	11.4	11.8	69.2	18.1	36.5
	Mínimo	76.8	0.0	3.1	53.0	3.7	18.9
Luvisoles 6*	Promedio	83.5	10.4	6.1	55.8	10.0	34.3
	Desvío	1.75	3.23	2.79	3.42	4.32	5.89
	Máximo	86.2	14.4	9.2	59.9	16.3	41.4
	Mínimo	81.6	6.5	2.2	51.2	5.7	26.9

imperturbadas. Sin embargo, dada la naturaleza arenosa de estos suelos, se considera que los resultados entre ambos métodos no diferirían significativamente, porque se presume que la estructura en estos suelos aportaría poco para explicar su porosidad con relación a la textura.

Propiedades hídricas

Los suelos investigados tienen similar capacidad de retener agua a CC (Cuadro 4), que en el horizonte A varía entre 14.4 y 15.9% en peso, mientras que en el horizonte Bt se sitúa en un rango de 18.0 a 20.3%. Esta escasa variabilidad obedece a la similitud en textura y contenido de materia orgánica de los perfiles considerados.

El contenido de agua en el PMP, varía entre 3.1 y 3.8% en el horizonte A de Argisoles, Planosoles y Luvisoles, alcanzando el valor extremo de 8.1% en los Brunosoles. En el horizonte Bt, la retención de agua a 1500 kPa varía entre 10.5 y 12.3%, sin variaciones significativas entre diferentes GG.

El AD en los horizontes A no varía casi entre Luvisoles, Argisoles y Planosoles (10.6 a 11.1%). Nuevamente los Brunosoles presentan un comportamiento algo diferente (7.8%), lo que se debe a que una gran proporción del agua está retenida a mayores tensiones. En los horizontes Bt, este parámetro no presenta variaciones apreciables entre diferentes GG.

Cuadro 4. Contenido de humedad en peso en equilibrio con distintas succiones.

		Humedad en peso (%)								
		Horizontes A			Horizontes E			Horizontes B		
		10 kPa	1500 kPa	Agua Disponible	10 kPa	1500 kPa	Agua Disponible	10 kPa	1500 kPa	Agua Disponible
Brunosoles	Promedio	15.9	8.1	7.8				20.3	12.3	8.0
	Desvío	3.68	0.99					3.00	2.72	
	2* Máximo	20.9	9.3					24.0	15.6	
Argisoles	Mínimo	12.6	7.3					17.9	10.1	
	Promedio	14.4	3.8	10.6				18.8	10.5	8.2
	Desvío	2.31	2.41					1.55	1.70	
4*	Máximo	17.5	8.0					21.5	13.2	
	Mínimo	11.2	1.0					16.5	7.7	
	Promedio	14.4	3.2	11.1	12.	2.9	9.6	19.8	11.6	8.2
Planosoles	Desvío	1.80	1.66		1.4	1.48		2.75	2.12	
	6* Máximo	16.9	5.3		14.	4.8		24.0	14.0	
	Mínimo	10.8	0.7		10.	1.2		14.9	8.2	
Luvissoles	Promedio	14.6	3.1	11.5	12.	2.5	10.4	18.9	10.7	8.1
	Desvío	1.47	1.29		1.2	0.76		2.89	2.82	
	6* Máximo	17.0	5.8		14.	3.5		24.3	16.1	
	Mínimo	12.6	0.7		11.	1.8		14.1	6.3	

* Número de perfiles.

La mayor proporción de la arcilla en los Brunosoles explicaría su mayor contenido de agua por unidad de volumen.

La retención de agua disponible en los Brunosoles es menor que en los demás GG (Cuadro 5), lo que se debe tanto a su menor espesor, como al alto contenido de agua retenida en forma no disponible.

Propiedades químicas

Carbono orgánico

El contenido de CO del horizonte superficial de los Argisoles es en promedio de 0.9%, ($s^2 = 0.31$), mientras que en los Planosoles y Luvissoles es de 0.7 y 0.8% ($s^2 = 0.38$ y 0.22) respectivamente. Los Brunosoles son los que más se apartan de estos valores, con una media de 1.7% ($s^2 = 0.26$).

Cuadro 5. Contenido medio de agua disponible (mm) acumulado en el suelo hasta el horizonte C.

	Brunosoles	Argisoles	Planosoles	Luvissoles
Promedio	123.8	147.5	158.8	153.5
Desvío	11.07	22.72	15.03	23.36
Máximo	131.6	180.5	177.1	178.4
Mínimo	116.0	128.7	146.3	125.0
N	2	4	6	6

El CO hasta un metro de profundidad varía entre 8.2 a 11.0 kg m⁻² en los GG considerados (Cuadro 6), un contenido muy inferior al de 13.4 kg m⁻² m⁻¹ computado por Durán (1998) como media de los suelos del país.

Los Brunosoles poseen el mayor contenido de CO a las profundidades consideradas, concentrando el 38% en los primeros 20 cm, mientras que los Argisoles, Luvissoles y Planosoles, acumulan alrededor del 30% en ese espesor.

En estos suelos pobres en coloides inorgánicos, de reacción relativamente ácida y que por su contenido de bases intercambiables califican mayormente como Dístricos, no se dan condiciones favorables para la acumulación de humus.

Cuadro 6. Contenido de carbono orgánico (kg ha⁻¹) acumulado hasta 20, 50 y 100 cm de profundidad.

	C org. en 20	C org. en 50	C org. en 1 m	n
	kg m ⁻² m ⁻¹			
Brunosol	4.2	7.9	11.0	1
Argisoles	2.3	5.3	8.2	4
Planosoles	2.9	5.8	9.0	5
Luvissoles	2.9	5.3	8.9	6

Complejo de intercambio

La CIC a pH 7.0 del horizonte A de estos suelos es baja (Cuadro 7), lo cual los clasifica mayormente como Dístricos. Los valores más bajos de CIC ocurren en Planosoles y Luvisoles ($5.5 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$), en los Argisoles alcanza a 8.8 pero en los Brunosoles es de 14.7 (carácter Subéutrico). Puede concluirse que la CIC disminuye conforme aumenta el grado de alteración química y de diferenciación de los suelos. El contenido de CO está positivamente relacionado a la CIC en forma directa.

Los valores de CIC son más elevados y relativamente constantes en los horizontes Bt de los diferentes GG ($19.1 - 24.9 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$). En general y exceptuando a los Brunosoles, la CIC del horizontes Bt es en promedio de tres a cuatro veces mayor que la del horizonte A. Esto indica que el grado de diferenciación textural es el principal responsable de la mayor CIC del horizonte iluvial .

Bases intercambiables

El Ca es el catión intercambiable dominante, al igual que en casi todos los suelos agrícolas del país (Durán,

1991), seguido del Mg, el K y el Na en ese orden. En los Brunosoles no existe Al intercambiable y en los Argisoles su contenido llega a ser similar al de las bases monovalentes. En los Planosoles y Luvisoles el nivel de Al intercambiable supera en algún caso el contenido de bases monovalentes, e incluso al de Mg en algunos Luvisoles.

En el Cuadro 8 se muestran los contenidos de Ca, Mg, K y Na en los primeros 20 cm de suelo, expresadas en Kg ha^{-1} . En base a esas cifras podría distinguirse los Brunosoles de los otros GG que presentan mayor similitud entre sí. Sin embargo y como tendencia se observa que conforme aumenta el grado de alteración química y de diferenciación o evolución de los suelos desde Brunosoles a Luvisoles, hay una disminución marcada en del calcio y en términos generales, de la proporción de cationes bivalentes frente a monovalentes. Aparentemente existiría una mayor disponibilidad relativa de cationes monovalentes en los grandes grupos más diferenciados. Ello adquiere relevancia en el caso del potasio en el que además es mayor su contenido absoluto, lo que seguramente está ligado a que la mayor al-

Cuadro 7. Valores de pH, aluminio intercambiable, suma de bases y capacidad de intercambio catiónico en los horizontes A y B.

		Horizontes A				Horizontes B			
		pH en agua	Al (me/ 100 g)	Suma de bases	CIC pH 7	pH en agua	Al (me/ 100 g)	Suma de bases	CIC pH7
Brunosoles	Promedio	5.6	0.0	12.0	14.7	6.3	0.0	22.3	24.9
	Desvío	0.43	0.00	2.75	2.91	0.40	0.00	5.76	5.56
4*	Máximo	5.9	0.0	15.3	18.0	6.6	0.0	27.3	29.1
	Mínimo	5.0	0.0	8.7	11.2	5.7	0.0	14.0	17.3
Argisoles	Promedio	5.6	0.1	6.1	8.8	5.8	0.2	18.5	23.0
	Desvío	0.58	0.08	2.69	3.58	0.51	0.20	3.78	3.47
10*	Máximo	6.7	0.2	11.0	13.7	6.6	0.4	26.2	27.6
	Mínimo	4.8	0.0	3.0	3.1	4.9	0.0	14.2	17.0
Planosoles	Promedio	5.8	0.2	3.9	5.9	5.8	0.2	15.0	19.1
	Desvío	0.55	0.15	1.58	1.85	0.35	0.04	1.69	1.79
8*	Máximo	6.4	0.4	6.8	8.8	6.5	0.3	17.6	23.0
	Mínimo	4.9	0.1	2.1	3.7	5.4	0.2	13.5	17.0
Luvisoles	Promedio	5.5	0.5	3.7	5.4	5.3	1.1	16.8	21.9
	Desvío	0.34	0.43	1.13	1.34	0.32	0.61	5.23	7.03
6*	Máximo	5.9	1.1	5.2	6.8	5.7	2.0	25.0	31.2
	Mínimo	4.9	0.02	2.2	3.7	4.8	0.5	11.7	13.6

* Número de perfiles.

Cuadro 8. Contenido promedio de bases por hectárea y Gran Grupo.

		Kg. ha ⁻¹ de elemento en los primeros 20 cm			
		Ca	Mg	Na	K
Brunosoles	Prom.	5335	577	207	270
	Desv.	1213.8	128.7	80.5	175.4
	4	Max.	6855	769	320
	Min.	3911	498	131	122
Argisoles	Prom.	2050	391	189	316
	Desv.	916.1	176.8	22.9	116.7
	12	Max.	3461	755	208
	Min.	1025	213	145	118
Planosoles	Prom.	1449	226	233	343
	Desv.	624.9	97.7	120.2	175.9
	9	Max.	2621	376	459
	Min.	791	141	139	120
Luvisoles	Prom.	1350	292	173	320
	Desv.	330.8	199.5	77.5	88.0
	7	Max.	1725	626	267
	Min.	898	135	69	226

teración química provocó una disminución en el contenido de illita, un mineral con particular afinidad por el potasio. Otra evidencia de la alteración química es la presencia de aluminio intercambiable, de efecto adverso para el crecimiento de muchos cultivos.

Propiedades mineralógicas

Mineralogía de la fracción arcilla

Los resultados disponibles (Cuadro 9) coinciden con una probable asociación mineralógica de illita y montmorillonita en los horizontes A, sobretodo en Brunosoles y Argisoles. Los minerales 1:1 y los óxidos de hierro serían más frecuentes en los GG más evolucionados y meteorizados (Planosoles y Luvisoles).

En virtud de su pequeño tamaño de partícula, las esmectitas son lixiviadas mecánicamente de manera preferencial y se acumulan en profundidad en el horizonte argilúvico.

Algunos estudios de la mineralogía de arcillas en perfiles del tipo de los aquí estudiados, confirman las

Cuadro 9. Capacidad de intercambio catiónico de la fracción arcilla en los diversos Grandes Grupos.

Horizonte	CIC media de fracción arcilla (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)			
	Brunosole	Argisoles	Planosoles	Luvisoles
A	71.2	69.5	57.9	51.2
B	75.5	77.5	64.6	58.6
N*	4	10	8	5

*número de perfiles considerados.

inferencias mencionadas. En un Planosol Dístico Ocrico y utilizando difracción de rayos X, análisis térmico diferencial, microscopio electrónico y análisis químico total, Puentes (com. pers.) concluyó que la composición de la fracción arcilla era la siguiente:

- **horizonte A:** illita (35%), montmorillonita (35%), minerales amorfos (5%), cuarzo (5%) y "fire-clay" (10%).
- **horizonte E:** muy similar al horizonte A, aumentando los «fire-clay» a 15% y apareciendo trazas de goethita y metahalloisita.
- **horizonte B:** montmorillonita (40 - 45%), illita (30 - 35%), trazas de interestratificados illita-montmorillonita (I-M) y minerales amorfos y "fire-clay" en valores 5% y 10% respectivamente.
- **horizonte C:** illita (35%), montmorillonita y demás minerales en proporciones similares al horizonte B, ausencia de interestratificados.

Pazos (1981), en un estudio más cualitativo que el de Puentes, en un suelo similar, identificó montmorillonita, caolinita, trazas de illita y posibles interestratificados regulares I-M en el horizonte A.

En un Brunosol Subéutico Típico, Puentes (com. pers.) cita que en el horizonte A dominan esmectitas mal cristalizadas; interestratificados I-M, e illita. En los subhorizontes Bt y C dominan las esmectitas (mejor cristalizadas), illita y posibles interestratificados I-M.

Propiedades complejas

Fertilidad Natural

La suma media de bases en el horizonte A de estos suelos es baja, generalmente inferior a 6 cmol₍₊₎ kg⁻¹, variando entre 3.8 y 12 cmol₍₊₎ kg⁻¹ para Luvisoles y Brunosoles respectivamente (Cuadro 7).

Observando los valores de CO acumulado en el perfil puede advertirse que son inferiores al promedio de los suelos del país, por lo que no cabe esperar una gran disponibilidad de nitrógeno, fósforo u otros elementos ligados a la materia orgánica.

La fracción arcilla rica en illita y montmorillonita, aseguraría el suministro de potasio en el mediano plazo. No obstante, debido al bajo contenido de arcilla, no hay un gran aporte de este elemento pudiéndose requerir fertilizaciones para mantener su nivel de acuerdo a la extracción por los cultivos.

La reacción es ácida en los Luvisoles y ligeramente ácida en el resto de los GG (Toree y Thompson, 1993), lo cual constituye una limitante para algunos cultivos como alfalfa y una ventaja para otros como los forestales, particularmente pinos.

La presencia de aluminio intercambiable (cuadro 8) en suelos con pH menor a 5.2 puede generar toxicidad para algunos vegetales.

Drenaje natural, Permeabilidad y Grupo Hidrológico

Brunosoles

En los suelos de Algorta domina la fracción arena. Los Brunosoles presentan el menor contenido de esta fracción y el mayor de arcilla, dominando la textura franco arenosa o franca en su horizonte A que presenta una mejor estructura como consecuencia de su mayor contenido de coloides orgánicos e inorgánicos. El espesor del horizonte superficial es reducido, en relación a los otros GG y a escasa profundidad (promedio 32 cm) se encuentra el horizonte Bt lo que favorece la rápida saturación con agua. Sin embargo dadas otras propiedades (textura, estructura) y su ocurrencia en paisajes de lomadas convexas (pendientes dominantes de 2 - 5%), tanto la infiltración como el escurrimiento se ven favorecidos y los excesos de agua de lluvia se evacuan con relativa eficiencia. Por lo tanto se consideran suelos moderadamente bien drenados y de permeabilidad moderada, lo que está avalado por la escasa evidencia de hidromorfismo temporal en forma de segregaciones de hierro y manganeso. Durán (1997) cita que suelos similares a estos pertenecen al Grupo Hidrológico B.

Argisoles

El horizonte A, en promedio, es de textura más liviana y espesor algo mayor, en tanto el perfil presenta una mayor diferenciación textural que los Brunosoles. Se encuentran en laderas alta, interfluvios aplanados y frecuentemente en concavidades. El mayor espesor del horizonte eluvial permite inferir que el tiempo necesario para su saturación será mayor que para los Brunosoles, aunque una vez saturados no sean tan eficientes para evacuar los excesos. En estos suelos son más evidentes las manifestaciones de hidromorfismo temporal en forma de segregaciones de hierro y manganeso, indicativas de su permeabilidad lenta, condicionada por la baja conductividad hidráulica del horizonte (Bt). Son suelos moderadamente bien a algo pobremente drenados que según Durán (1997) se incluyen en el Grupo Hidrológico C.

Planosoles

Los Planosoles presentan la permeabilidad más lenta y el drenaje más limitado. Ello es consecuencia de que suelen desarrollarse en relieve aún más suave o pla-

no que los Argisoles e incluso en concavidades pronunciadas. Como resultado el hidromorfismo es más acentuado que en los Argisoles y se refleja en la ocurrencia de moteados abundantes y de colores menos rojizas y más amarillentas. La presencia de un horizonte álbico de máxima eluviación, así como las concreciones de hierro-manganeso, son constantes de estos suelos de permeabilidad lenta y algo pobremente drenados, que pertenecen al Grupo Hidrológico D (Durán, 1997).

Luvisoles

Sus horizontes superficiales son de textura liviana, pueden presentar un horizonte E y una fuerte diferenciación textural. El color del horizonte A y la ocurrencia de moteados los asemejan a los Argisoles, pero tanto la coloración de la matriz como la de los moteados son relativamente más rojizas que las de los otros GG. Estas evidencias indicarían que han estado sometidos a cierto hidromorfismo temporal, pero con condiciones de oxidación actuales más favorables. Tales condiciones y el notorio desarrollo de un horizonte argilúvico de baja conductividad hidráulica llevan a considerarlos de permeabilidad moderadamente lenta y moderadamente bien a algo pobremente drenados. Suelos comparables del mismo GG, aunque no incluidos en la unidad Algorta fueron clasificados por Durán (1997) en el Grupo Hidrológico C.

Riesgo de erosión

La susceptibilidad a la erosión está determinada por la topografía, las características de la lluvia, la cobertura vegetal, el manejo y la erodabilidad intrínseca del suelo lo que impide generalizar acerca del riesgo de erosión sin analizar cada situación en particular. No obstante, se ha procurado generar una guía para estimar el riesgo de erosión tolerable bajo cultivo, calculando el factor K (erodabilidad del suelo) de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, EUPS (Wischmeier *et al.*, 1971).

Los códigos de estructura y permeabilidad fueron inferidos de acuerdo a las pautas de Puentes y Szogi (1983), teniendo en cuenta asimismo, la información precedente sobre estructura y drenaje (Cuadro 10).

Los valores de K estimados no son de los más altos en el conjunto de los suelos del Uruguay (Puentes, 1983), pero considerando las pendientes en que ocurren los suelos de Algorta, su riesgo de erosión bajo cultivo es medio a alto. Esto coincide con los grados de erosión actual observados localmente en suelos de esta unidad, producto de actividades agrícolas anteriores, sobre todo remolacha azucarera, sin prácticas de conservación adecuadas.

Cuadro 10. Estimación de erodabilidad en los diferentes Grandes Grupos.

Perfiles	Porcentaje en peso (%)							
	Estructura y Permeabilidad		Mat. Org.	Arena Muy Fina. + Limo	Arcilla	Erodabilidad		
	b	c	a	S	A	M	M ^{1.14}	K
Planosoles	4	5	0.90	16.7	6.2	1566.46	4387.41	0.29
	4	5	0.28	12.6	5.7	1188.18	3201.59	0.26
	4	5	1.78	20.9	9.2	1897.72	5459.90	0.31
	4	5	2.31	18.2	10.4	1630.72	4593.17	0.27
	4	5	1.38	23.3	11.8	2055.06	5978.88	0.33
	Promedio							0.29
Argisoles	4	4	2.33	18.9	12.1	1661.31	4691.52	0.24
	4	4	1.76	20.3	13.2	1762.04	5017.16	0.26
	Promedio							0.25
Luvisoles	4	4	1.88	15.9	9.2	1443.72	3997.70	0.23
Brunosoles	3	4	3.48	20.2	20.8	1599.84	4494.15	0.18
	3	4	2.48	33.3	18.2	2723.94	8243.76	0.29
	Promedio							0.24

Riesgo de sequía

Los horizontes A y E de Argisoles, Planosoles y Luvisoles poseen baja capacidad para retener agua disponible por unidad de volumen, compensada en parte por su espesor importante (40-60cm), por lo que el riesgo de sequía es medio a bajo.

En los suelos de Algorta, el volumen poroso se distribuye en proporciones casi iguales de macro y microporos (alrededor de 23% cada uno), por lo cual presentan condiciones muy favorables para el crecimiento vegetal. No obstante, el riesgo de sequía puede ser mayor si las precipitaciones no se distribuyen regularmente en el ciclo del cultivo. Tal situación es especialmente crítica para los cereales de verano en el período floración-llenado de grano en el que la demanda atmosférica de agua se incrementa y si el suelo no puede satisfacer las necesidades del cultivo, se compromete el rendimiento.

Conclusiones

Este estudio permitió avanzar en cuanto al conocimiento de los suelos de la Unidad Cartográfica de Reconocimiento de Suelos (UCRS) Algorta. En cuanto a taxonomía y cartografía de suelos, se confirma que los

suelos dominantes de la unidad son Argisoles y Planosoles, sin embargo, la frecuencia de Brunosoles en el total de perfiles investigados, permite considerarlos accesorios en lugar de asociados. Mientras que a los Luvisoles ócricos (Albicos, Abrúpticos y Típicos), en levantamientos más detallados, habría que incluirlos, al menos como accesorios.

Se propone definir las siguientes Series:

I- "Piedras Coloradas": Planosol Dístrico Ocrico, arenoso, fase hidromórfica (Albacualf Típico fino, mixto, activo, térmico, según Durán *et al.*, 2006). Estos suelos son integrantes de las UCRS a diferentes escalas:

-1:1.000.000 "Algorta" como dominantes (División de Suelos y Aguas, 1976);

-1:200.000 "Al.1, CC.1, CC.2, CC.3, CC.4" en forma asociada (División de Suelos y Aguas, 1999 y 1993);

-1:100.000 "1 Ls K" y "1 Lf K", en forma asociada (División de Suelos y Aguas, 1982);

-Grupo CONEAT 9.3 en forma dominante; 9.6, 9.41, 9.42 en forma asociada y

9.1, 9.7 y 9.9 en forma accesorio.

II- "Quebracho": Argisol Dístrico Ocrico/ (Melánico Albicos, Abrúpticos y Típicos, Ar, (Argiudol Páquico/Abrúptico fino, mixto, activo/superactivo, tér-

mico, según Durán *et al.*, 2006). Estos perfiles son integrantes comunes a las UCRS y Grupos CONEAT mencionados previamente, con una contribución cuantitativa equivalente a la Serie "Piedras Coloradas" en las cartografías citadas.

III- "Menafra": Luvisol Ocrico Albico, Abrúptico y Típico, arenoso (Hapludalf Típico franco fino, mixto, activo, térmico, según Durán *et al.*, 2006). Estos perfiles integran las mismas UCRS y Grupos CONEAT citados precedentemente, aunque con menor expresión espacial.

Como el número de Brunosoles considerado fue muy limitado, no es posible definir aún una Serie definitiva.

Futuros estudios de génesis podrán dilucidar si: 1) los Brunosoles se desarrollan sobre materiales parcialmente alóctonos más arcillosos y calcáreos y más recientes que las areniscas cretácicas, 2) los Luvisoles se forman sobre removilizaciones de las areniscas o algún *facies* particular de ellas.

En cuanto a capacidad de uso, los suelos dominantes de la unidad Algorta poseen una serie de propiedades que los hacen aptos para desarrollar diversos rubros. Por su capacidad de retener agua disponible, poseen un tapiz herbáceo con predominio de especies estivales y son aptos para cultivos cerealeros, forrajeros y mejoramientos de verano. En lo referente a la ganadería son de aptitud pastoril media. En la implantación de especies sensibles a la acidez, tendrá que considerarse la necesidad de realizar enmiendas correctoras, sobre todo en los Luvisoles.

Es imprescindible la fertilización nitrogenada, en forma fraccionada para evitar pérdidas por lavado profundo debido a la considerable macroporosidad del horizonte superficial.

La aptitud forestal es media si se la compara con la de otros suelos utilizados para ese propósito en el país y la mayor restricción es el horizonte Bt muy desarrollado, sin embargo, al ser un cultivo que atraviesa más fácilmente el horizonte argilúvico, podría mejorar el drenaje interno y lograr mayor acceso al agua de horizontes más profundos. Si la especie a implantar es pino, los más aptos serían los Luvisoles, debido a su mayor acidez. Los Brunosoles deberían descartarse para implantar árboles, debido a su mayor posibilidad de diversificación de rubros.

Agradecimientos

Al personal de la Facultad de Agronomía y de la División Suelos y Aguas del MGAP que hicieron posible este trabajo.

Bibliografía

- Allison, L. E.** 1965. Organic carbon. In: Black *et al.*, Methods of Soil Analysis. Part II, Agronomy N°9 p.1367-1378.
- Danielson, R. and Sutherland, P.** 1986. Particle density. In: Klute, A. Methods of soil analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Madison. p. 443-461.
- Dieste, A.** 1999. Caracterización de suelos de los departamentos de Río Negro y Rivera y evolución de sus propiedades al pasar del uso pastoril al forestal. Tesis para obtener el grado de Ing. Agr. Montevideo. 102 pp.
- División Suelos y Aguas.** 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MGAP. Montevideo, Uruguay.
- División Suelos y Aguas.** 1982. Carta de reconocimiento de suelos 1:1.00.000. Departamentos de Montevideo y Canelones. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MGAP. Montevideo, Uruguay.
- División Suelos y Aguas.** 1993. Carta de reconocimiento de suelos del Dpto. de Soriano 1:200.000. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MGAP. Montevideo, Uruguay.
- División Suelos y Aguas.** 1999. Carta de reconocimiento de suelos del Dpto. de Río Negro.1:200.000. http://www.mgap.gub.uy/renare/SIG/CartografiadeSuelos/Cartografia_RIONEGRO.htm
- Durán, A.** 1991. Los suelos del Uruguay. Ed. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo. 398 p.
- Durán, A.** 1997. Clasificación hidrológica de los suelos del Uruguay. Agrociencia. I (1):15-29.
- Durán, A.** 1998. Contenido y distribución geográfica de carbono orgánico en suelos del Uruguay. Agrociencia. II (1):37-47.
- Durán, A., Califra, A., Molfino, J. H., and Lynn, W.** 2006. Keys to Soil Taxonomy for Uruguay. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 77 p.
- Fernández, C. J.** 1979. Estimaciones de la densidad aparente, retención de agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica. In Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, 2ª, Montevideo, 1979. Trabajos presentados. Montevideo, 1979. 53 pp.
- Ford, I. y Gancio, F.** 1990. Carta geológica del Uruguay escala:1/100.000. Hoja O-21 Bizcocho.
- Gee, G. and Bauder, J.** 1986. Particle Size Analysis. In Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, Second Edition, Klute, A. (editor). American Society of Agronomy, Madison, WI. P 383-411.
- Kaplán, A.; Labella S.; Rucks L. y Durán A.** 1990. Manual para la Descripción e Interpretación del Perfil del Suelo. Código 165. Facultad de Agronomía. Montevideo. 69 pp.

- Panario, D.** 1974. Contribución y género de algunas praderas arenosas hidromórficas del litoral. Tesis para obtener el grado de Ing. Agr. Facultad de agronomía, UDELAR. Montevideo. 27 pp.
- Pazos, J.** 1981. Identificación de los minerales arcillosos de los suelos utilizados en un ensayo de dinámica de potasio. Tesis para obtener el grado de Ing. Agr. Montevideo. 80 pp.
- Puentes, R. y Szogi, A.** 1983. Manual para la utilización de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos en el Uruguay. Serie: Normas Técnicas en Conservación de suelos, N° 1. DSA-MAP, Montevideo, Uruguay. 80 pp.
- Servicio Geográfico Militar.** 1985. Hojas Topográficas escala 1:50.000. Imprenta del Ejército, Montevideo, Uruguay.
- Silva, A.; Ponce De León, J.; García, F. y Durán, A.** 1988. Aspectos Metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua en los suelos del Uruguay, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Boletín de Investigación N° 10. 20 pp.
- Soil Survey Staff.** 1991. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Agricultural Handbook No. 18. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 437 pp.
- Troeh, F. R. and Thompson, L. M.** 1993. Soils and soil fertility. 5th ed. Oxford Univ. Press, New York. 516 pp.
- Víctora, C. y Zamalvide, J.** 1972. Contribución de la materia orgánica a la capacidad de intercambio catiónico en distintos suelos del Uruguay. Tesis para obtener el grado de Ing. Agr. Facultad de Agronomía/MGAP. Montevideo. 28 pp.
- Wischmeier, W. H.; Johnson C. B. and Cross, B. V.** 1971, Soil-Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites, Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 26, No. 5, p. 189-193.