

RELACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE CATIONES EN DOS SUELOS ANTIGUOS DESARROLLADOS SOBRE ALTAS SUPERFICIES DE LA DEPRESIÓN DE MADRID.

G. GASCÓ GUERRERO¹, F. GUERRERO LÓPEZ¹, M.C. LOBO BEDMAR²

¹Departamento de Edafología. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Av. Complutense sn. 28040.gasgue@eda.etsia.upm.es

²Instituto Madrileño de Investigación Agraria. Finca "El Encín". Apdo 127. Alcalá de Henares 28800. Madrid.

Abstract. The cations distribution ratio was studied in two zonal soils developed on different high plain surfaces that belong to the depression of the river Tajo in the region of Madrid. According to Soil Taxonomy (USDA-SSS, 1999) one soil was classified as a Typic Palexeralf and the other one was classified as a Typic Haploxeralf (USDA-SSS, 1999); the first at 824 m over a raña surface in Valdeolmos, and the second at 786 m over a terrace of a tectonic fossil valley in Redueña. The values of the distribution ratio for the Typic Palexeralf were higher than Typic Haploxeralf which is in agreement with other pedological features like clay distribution, acidity and demineralisation of soil solution.

Key words. Distribution ratio of cations in soils, Palexeralfs, Haploxeralfs, Luvisols

Resumen. La relación de distribución de los cationes se ha estudiado en dos suelos antiguos que se han desarrollado sobre altas superficies de la depresión geomorfológica de Madrid; el primero situado en Valdeolmos a una cota de 824 m y el segundo en Redueña a una cota de 786 m. El valor de la relación de distribución es ligeramente mayor en el Typic Palexeralf (USDA-SSS, 1999) de Valdeolmos que en el Typic Haploxeralf (USDA-SSS, 1999) de Redueña, lo que concuerda con otros síntomas del grado de desarrollo de ambos suelos, por ejemplo el contraste textural, la desaturación del complejo de intercambio y la desmineralización de la solución externa en equilibrio con el complejo iónico.

Palabras clave. Relación de distribución de cationes en suelos, Palexeralfs, Haploxeralfs, Luvisols.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la depresión situada entre la elevación de la Sierra de Guadarrama y la fosa del río Tajo presentan en sus diversas superficies llanas una diferenciación edafológica más o menos acorde con la edad de su formación, siendo en general más antiguas las

superficies más altas y más o menos cercanas a la Sierra que las situadas en las cercanías del actual cauce del río Tajo y sus afluentes. Los materiales detríticos heterométricos continentales que forman estas superficies llanas recubren las arcosas, conglomerados y fangos que integran el relleno neógeno proveniente del Sistema Central (Gallardo *et al.*,

1987). La naturaleza del material originario afecta a la permeabilidad y la lixiviación del suelo, siendo mayor en los suelos ricos en grava y arena, por ejemplo en el caso de los depósitos tipo raña o tipo terraza.

El objetivo del presente trabajo es analizar la posible influencia que la conexión o desconexión con el piedemonte del Villafranquiense medio localizado al Sur de Somosierra, descrito por Pérez-González y Gallardo (1987), ha podido tener sobre la evolución de dos suelos situados a similar altitud sobre penillanuras pertenecientes al dominio geológico-estructural de la Depresión o cuenca del Tajo. La relación de distribución de los cationes se analiza como un posible síntoma del grado de desarrollo edáfico, el cual es afectado por la lixiviación iónica en función de las características del complejo de intercambio iónico y el grado de mineralización de la solución del suelo. La mineralización de la solución del suelo será previsiblemente mayor cuando en el suelo se infiltren aguas soligénicas o de escorrentía superficial y será menor cuando dominen las aguas ombrogénicas o de lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han descrito y muestreado dos perfiles de suelo siguiendo la metodología del Soil Survey Manual (USDA-SSDS, 1993). Los dos suelos presentan un perfil A-Bt, el primero clasificado en el subgrupo Typic Palexeralfs y el segundo en el Typic Haploxeralfs (USDA-SSS, 1999), ambos pertenecientes al grupo Luvisols de la sistemática FAO (Deckers *et al.*, 1998; Bridges *et al.*, 1998). El primero, con aumento de la proporción de arcilla en función de la profundidad, está situado en una digitación tipo rada a horcajos entre el valle del Jarama y el del Torote, que es tributario del Henares. Este suelo se localiza en el municipio madrileño de Valdeolmos y en la actualidad está separado del piedemonte que lo unía a la Sierra a causa del encajamien-

to del río Jarama. El segundo, con menos contraste textural y menos aumento de la arcilla en función de la profundidad que el primero, está situado en una terraza fluvial de un valle fósil (Hernández Pacheco, 1930) cuyo control tectónico se induce del ajuste de sus rasgos estructurales a las grandes fallas y fracturas (Lázaro, 1977; Cabra *et al.*, 1983; ITGME, 1990). El arroyo de las Huertas discurre por este valle de SW a NE en contra de la pendiente general que buza desde NW a SE; lo cual afecta al grado de lixiviación, que es menor en este suelo que en el de Valdeolmos.

Las muestras de suelo se han pasado por el tamiz nº 10 de 2 mm de abertura después de ser desmenuzadas y secadas al aire (USDA, 1996). Una parte de cada muestra tamizada, después de ser molida en mortero de ágata, se ha pasado por el tamiz nº 200 de 0,074 mm de abertura (Hossner, 1996). En la muestra molida y tamizada se analizó el carbono orgánico y el nitrógeno total; el carbono orgánico por oxidación vía húmeda con $K_2Cr_2O_7$ 1N en medio H_2SO_4 , siguiendo el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1996), y el nitrógeno mediante digestión Kjeldahl en un digestor Büchi 435 equipado con un destilador de NH_4^+ Büchi 323, oxidando la materia orgánica con H_2SO_4 en caliente para pasar el nitrógeno orgánico a NH_4^+ -N, usando una mezcla de K_2SO_4 y $CuSO_4$ para aumentar la temperatura durante la digestión además de catalizar la oxidación de la materia orgánica por el ácido sulfúrico (Bremner, 1996). Para realizar la corrección de humedad y referir los valores a suelo seco, las muestras se desecaron en estufa a 105 °C hasta peso constante (Chapman y Pratt, 1961).

La granulometría se ha determinado por el método del densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962; MAPA, 1994). La densidad total seca se ha medido en muestra alterada partiendo del suelo seco al aire. Para la curva característica de humedad se ha segui-

do el método de la membrana de Richards (1954), midiendo el agua retenida en la muestra a 33 y a 1500 kPa. La humedad de saturación se determinó en la pasta saturada. El color de las muestras de suelo se ha medido con un espectrómetro de reflexión Minolta Chromameter calibrado con unas tablas de color (Munsell Color Co., 1998).

La capacidad de intercambio catiónico se ha determinado saturando la muestra con NH_4^+ después de desplazar los iones del complejo de intercambio con una solución 1 M de $\text{NH}_4\text{OAc}/\text{HOAc}$ a pH 7,0 y lavar el exceso de $\text{NH}_4\text{OAc}/\text{HOAc}$ con etanol (Sumner y Miller, 1996). Los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ desplazados por la solución 1 M de $\text{NH}_4\text{OAc}/\text{HOAc}$ a pH 7,0 se determinaron por absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer 2280.

La conductividad eléctrica y el pH se han determinado en el extracto al vacío de la pasta de suelo saturado. La conductividad eléctrica con un conductímetro Crison 222, calibrado con una solución de KCl 0,01 M siguiendo el procedimiento de Rhoades (1996), y corrigiendo el valor para expresarlo a la temperatura a 25 °C (Richards, 1954). El pH, según el procedimiento seguido por Thomas (1996), con un potenciómetro Crison micro-pH 2000, dotado de corrección automática de temperatura.

La relación de distribución RD define el almacenamiento relativo de los cationes, es decir, el exceso adsorbido en el complejo de intercambio iónico respecto a la cantidad en la solución externa en equilibrio (Bolt *et al.*, 1976). Para obtener la relación de distribución catiónica RD hay que tener en cuenta dos equilibrios de neutralidad eléctrica:

(1) el primer equilibrio se establece entre la carga eléctrica negativa neta de los sólidos del suelo S^- ($\text{cmol}(-)\cdot\text{kg}^{-1}$) y la carga eléctrica positiva neta Y del complejo iónico adsorbido, lo cual viene dada por la expresión $S^- \approx Y = \sum_{\text{cat}} T_{\text{cat}} - \sum_{\text{an}} T_{\text{an}}$ ($\text{cmol}(-)\cdot\text{kg}^{-1}$) donde $\sum_{\text{cat}} T_{\text{cat}}$ corresponde a la suma de

todos los cationes y $\sum_{\text{an}} T_{\text{an}}$ a la de aniones extraídos con la solución 1 M de $\text{NH}_4\text{OAc}/\text{HOAc}$ a pH 7,0.

(2) el segundo equilibrio de neutralidad eléctrica se establece entre la suma de las concentraciones de cationes $\sum_{\text{cat}} C_{\text{o,cat}}$ (mmol ml^{-1}) y la de aniones $\sum_{\text{an}} C_{\text{o,an}}$ (mmol ml^{-1}) de la solución externa, ambas concentraciones medidas, por ejemplo, en el extracto de la pasta saturada de humedad W_{sat} ($\text{ml}/100 \text{ g}$).

El cálculo de la relación de distribución catiónica se hace mediante la expresión siguiente

$$RD = \frac{\sum_{\text{cat}} T_{\text{cat}} - W_{\text{sat}} \cdot \sum c_{\text{o}}^-}{W_{\text{sat}} \cdot \sum c_{\text{o}}^+} = \frac{\sum_{\text{cat}} T_{\text{cat}}}{W_{\text{sat}} \cdot \sum c_{\text{o}}^+} - 1$$

donde $\sum_{\text{cat}} T_{\text{cat}}$ (cmol kg^{-1}) es la suma de los cationes desplazados por la solución 1 M de $\text{NH}_4\text{OAc}/\text{HOAc}$ a pH 7,0; $\sum C_{\text{o}}^+$ la suma de cationes ($\text{mmol}(+)\cdot\text{ml}^{-1}$) y $\sum C_{\text{o}}^-$ la suma de aniones ($\text{mmol}(-)\cdot\text{ml}^{-1}$) en el extracto de saturación, siendo $\sum C_{\text{o}}^+ \approx \sum C_{\text{o}}^-$; y W_{sat} la humedad de saturación ($\text{ml}/100 \text{ g}$). La RD se utiliza para definir la eficacia del lavado dentro de los modelos que relacionan la tasa de desplazamiento de los solutos y la velocidad de la solución que se filtra por el suelo (Bolt, 1976). Una estimación de $\sum C_{\text{o}}^+$ se puede realizar a partir de la conductividad eléctrica del extracto de saturación CE_{sat} , de acuerdo con la expresión siguiente

$$\sum C_{\text{o}}^+ \approx K CE_{\text{sat}}$$

donde, $\sum C_{\text{o}}^+$ ($\text{mmol}(+)\cdot\text{ml}^{-1}$) es la suma de cationes y CE_{sat} ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a 25 °C) la conductividad eléctrica del extracto de suelo saturado (Richards, 1954). El valor de K varía aproximadamente entre 1/80 y 1/110 según sea la proporción relativa de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los dos suelos presentan un grado de desarrollo del perfil acorde con el tiempo cronológico desde la deposición del sedimento que constituye su material original y con la intensidad de actuación de

los factores formadores del suelo. Tanto el paleosuelo de Valdeolmos (Tablas 1 y 2), situado cerca del límite de Madrid con Guadalajara, que ha sido clasificado en el subgrupo Typic Palexeralfs, como el suelo zonal de Redueña (Tablas 3 y 4), que ha sido clasificado en Typic Haploxeralfs según la "Soil Taxonomy" (USDA-SSS, 1999), se pueden incluir en el Grupo Luvisols de la clasificación FAO (Deckers *et al.*, 1998; Bridges *et al.*, 1998). Dada la alta actividad de la arcilla (CICc, > 24 cmolc.kg⁻¹ de arcilla) podrían

clasificarse en Alisols (CAM, 1990), pero la acidez (pH en Valdeolmos 5,2; 5,6; 6,3; y en Redueña 5,8; 6,9; 7,6) concordante con la saturación de la base de intercambio (%SB en Valdeolmos 39,1; 66,1; 77,5; y en Redueña 66,5; 94,4; 100,0) los aleja de este Grupo de los Alisols, cuya asociación más frecuente es con los Acrisols, Lixisols y Ferralsols de los ambientes caoliníticos y super-caoliníticos tropicales (Papadakis, 1969).

Los resultados analíticos concuerdan con los de la caracterización illítica que en

TABLA 1. Descripción de campo del suelo de Valdeolmos

Subgrupo de suelos: Typic Palexeralfs.

Localización: Valdeolmos. N-I km 23, desvío al este pasando Algete. Distancia de Madrid: 35 km.

Vegetación y uso del suelo: encinar y quejigar con uso de pastoreo. Pendiente: 5%.

Drenaje: moderadamente bien drenado.

Material originario: depósito detrítico continental heterométrico tipo raña.

Fecha del muestreo: 2 de octubre de 2000.

Descrito por: G. Gascó.

Horizontes:

Ap: 0-14 cm. 7.5YR 3/3 (húmedo); franca; estructura granular compuesta mediana; débil; límite neto; 30% elementos gruesos; raíces finas abundantes y muy finas frecuentes.

Bt: 14-44 cm. 7.5YR 3.5/4 (húmedo); arcillosa; estructura impedida por la grava aunque con tendencia a formar prismas gruesos; límite neto; > 50% elementos gruesos; iluviación de arcilla muy abundante recubriendo las gravas y empastando la arena; muy pocas raíces muy finas.

B2t: 44-125 cm. 7.5YR 4/4 (húmedo); arcillosa; estructura impedida por la grava con tendencia débil a la formación de bloques resultando más masiva y que la del horizonte B1t; débil; sin reacción caliza; >50% elementos gruesos; ninguna raíz.

estos niveles de raña y terraza encontraron Gallardo *et al.* (1987) y Pérez-González y Gallardo (1987). Estos autores encontraron que el horizonte Bt con arcilla 1:1 se presenta en suelos situados a mayor altitud que los descritos en el presente trabajo, por ejemplo a 1062 m en la alta superficie de la Mierla y a 947 m en la raña de Matarrubia. El contraste textural (Arcilla en Valdeolmos 20; 44; 55; y en Redueña 17; 24; 24) concuerda con lo anterior en cuanto al efecto edafogenético de la eluviación-iluviación de arcilla, y con el porcentaje de elementos gruesos (EEG en Valdeolmos 24; 63; 65; y en Redueña 7; 9; 24) en cuanto a una de las causas que define la cantidad de agua que se filtra por la matriz del suelo y es efectiva para la desmineraliza-

ción de la solución del suelo por lavado de las sales solubles, la cromatografía catiónica por lixiviación de los iones del complejo de intercambio iónico, el desplazamiento de la arcilla por eluviación-iluviación y finalmente la acidificación por sustitución del Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ por el ión hidronio H₃O⁺, creando el ambiente propio de la hidrólisis ácida que puede determinar la caolinización y la super-caolinización.

Los valores de la relación de distribución catiónica RD en el Typic Palexeralf de Valdeolmos (RD en A_p 52, B_{1t} 120, B_{2t}85) son mayores que en el Typic Haploxeralf de Redueña (RD en A_p 48, B_{1t} 107, B_{2t}42), lo que debe ser atribuido por un lado a la desmineralización asociada a la eficacia del

TABLA 2. Análisis del suelo de Valdeolmos. Localidad: Valdeolmos. Longitud: 3° 25" O; Latitud: 40° 41" N; Altitud: 824 m. Clasificación: Typic Palexeralfs, franca-esquelética, semiactiva, mixta, xeric, mesic.

Horizonte genético	Prof. (cm)	Horizonte diagnóstico	Color seco	Color húmedo	C _{org} (%)	N(%)	C/N
A _p	0-14	Ochric	8.3YR 4.9/4.3	7.3YR 3.2/3.1	1,2	0,06	20
B _{1t}	14-44	Argillic	7.4YR 4.7/4.8	6.9YR 3.7/3.9	0,6	0,05	12
B _{2t}	44-125	Argillic	8.4YR 4.5/4.3	8.7YR 4.1/3.8	0,2	0,01	20
Horizonte Genético	Prof. (cm)	Elementos gruesos(%)		Granulometría (%)			Textura
		2-20	20-75	Ar 2-0,5	L 0,5-002	Ac <0,002	
A _p	0-14	21	3	56	24	20	FAr
B _{1t}	14-44	52	11	40	16	44	Ac
B _{2t}	44-125	51	14	35	10	55	Ac
Horizonte genético	Prof. (cm)	Horizonte diagnóstico	ρ _b kg.m ⁻³	W _{33 Kpa} mL/100 g	W _{1500 Kpa} mL/100g	W _{sat} mL/100g	
A _p	0-14	Ochric	1370±10	19	10	41	
B _{1t}	14-44	Argillic	1280±10	29	16	53	
B _{2t}	44-125	Argillic	1230±10	33	17	59	
Complejo de intercambio catiónico (cmol ⁺ kg ⁻¹)							
Horizonte genético	Prof. (cm)	T _{Ca2+}	T _{Mg2+}	T _{Na+}	T _{K+}	ΣcatT _{cat}	CIC
A _p	0-14	2,9±0,2	1,1±0,2	0,7±0,1	0,5±0,1	5,2	13,3±0,6
B _{1t}	14-44	13,2±0,8	4,2±0,3	0,5±0,1	0,4±0,1	18,3	27,7±0,8
B _{2t}	44-125	19,4±0,9	5,5±0,3	0,6±0,1	0,4±0,1	25,9	33,4±0,8
Horizonte genético	Prof. (cm)	pH	SB (%)	CE _{sat} dS/m,25 °C	W Σc _o ⁺ Cmol kg ⁻¹	RD	
A _p	0-14	5,2±0,1	39,1	(240±5)10 ⁻³	0,098	52	
B _{1t}	14-44	5,6±0,1	66,1	(285±5)10 ⁻³	0,151	120	
B _{2t}	44-125	6,3±0,1	77,5	(510±5)10 ⁻³	0,301	85	

El número tras el signo ± corresponde al valor del intervalo confianza al 95% de nivel de probabilidad determinado con cinco repeticiones. Cuando dicho signo falta el valor del intervalo de confianza es la unidad de la última cifra exacta. Corg: carbono orgánico. ρ_b: densidad aparente. W_{sat}: humedad de saturación. T_{Ca2+}: total de catión calcio desplazado por el NH₄OAc/HOAc 1M. CIC: capacidad de intercambio de cationes. SB: saturación de la base. CE_{sat}: conductividad eléctrica del extracto de saturación. RD: relación de distribución de los cationes.

TABLA 3. Descripción de campo del suelo de Redueña

Subgrupo de suelos: Typic Haploxeralfs.
Localización: Redueña. N-I hasta Venturada, tomar desvío a Torrelaguna. Distancia de Madrid: 53 km.
Vegetación y uso del suelo: encinar y quejigar con uso de pastoreo y a veces agrícola.
Pendiente: 7%
Drenaje: bien drenado.
Material originario: depósito de terraza de un valle fósil con control tectónico.
Fecha del muestreo: 28 septiembre 2000. Descrito por: G. Gascó.
Horizontes:
Ap: 0-24 cm. 7.5YR 3.5/2.5 (húmedo); franco-arenosa; estructura granular compuesta mediana; moderada; límite neto; 10% elementos gruesos; raíces finas frecuentes y muy finas frecuentes.
Blt: 24-76 cm. 7.5YR 4/4 (húmedo); franco-arcillosa; estructura en bloques prismáticos angulares gruesos; fuerte; límite gradual; 15% elementos gruesos; muy pocas raíces muy finas.
B2t: 76-148 cm. 7.5YR 4.0/3.5 (húmedo); franco-arcillosa; estructura en bloques angulares; débil; síntomas claros de iluviación de arcilla con cutanes que recubren los elementos estructurales; 35% elementos gruesos.

TABLA 4. Análisis del suelo de Redueña. Localidad: Redueña. Longitud: 3° 36" O Latitud: 40° 47" N Altitud: 786 m. Clasificación: Typic Haploxeralfs, franca gruesa, activa, mixta, xeric, mesic.

Horizonte genético	Prof. (cm)	Horizonte diagnóstico	Color seco		Color húmedo		C _{org} (%)	N (%)	C/N
A _p	0-24	Ochric	9.4YR	4.6/3.3	8.7YR	3.4/2.4	2,7	0,24	11
B _{1t}	24-76	Argillic	7.1YR	4.9/4.8	7.2YR	4.1/3.7	0,6	0,03	20
IIB _{2t}	76-148	Argillic	7.2YR	4.3/4.1	7.2YR	4.2/3.5	0,2	0,01	20
Horizonte genético	Prof. (cm)	Elementos gruesos (%)			Granulometría (%)			Textura	
		2-20	20-75	Ar 2-0,5	L 0,5-002	Ac <0,002			
A _p	0-24	6	1	65	18	17	F _{Ar}		
B _{1t}	24-76	7	2	64	12	24	F _{AcAr}		
IIB _{2t}	76-148	18	6	70	10	24	F _{AcAr}		
Horizonte genético	Prof. (cm)	Horizonte diagnóstico	ρ _b kg.m ⁻³	W _{33 kPa} mL/100g	W _{1500 kPa} mL/100g	W _{sat} mL/100g			
A _p	0-24	Ochric	1285±15	26,5	14,1	46,6			
B _{1t}	24-76	Argillic	1200±10	20,7	11,3	48,2			
IIB _{2t}	76-148	Argillic	1265±15	19,5	10,8	48,7			
Complejo de intercambio catiónico (cmol ⁺ kg ⁻¹)									
Horizonte genético	Prof. (cm)	T _{Ca2+}	T _{Mg2+}	T _{Na+}	T _{K+}	ΣcatT _{cat}	CIC		
A _p	0-24	9,5±0,2	2,7±0,2	0,2±0,1	0,5±0,1	12,9	19,4±0,7		
B _{1t}	24-76	13,4±0,8	3,2±0,3	0,2±0,1	0,2±0,1	17,0	18,0±0,7		
IIB _{2t}	76-148	14,8±0,9	2,4±0,3	0,2±0,1	0,2±0,1	17,6	17,3±0,7		
Horizonte genético	Prof. (cm)	pH	SB(%)	CE _{sat} dS/m,25 °C	W _{sat} ΣC _o ⁺ Cmolkg ⁻¹	RD			
A _p	0-24	5,8±0,1	66,5	(560±5).10 ⁻³	0,261	48			
B _{1t}	24-76	6,9±0,1	94,4	(325±5).10 ⁻³	0,157	107			
IIB _{2t}	76-148	7,6:10,1	100,0	(835±5).10 ⁻³	0,407	42			

El número tras el signo ± corresponde al valor del intervalo confianza al 95% de nivel de probabilidad determinado con cinco repeticiones. Cuando dicho signo falta el valor del intervalo de confianza es la unidad de la última cifra exacta. Corg: carbono orgánico. pb: densidad aparente. W_{sat}: humedad de saturación. T_{Ca2+}: total de catión calcio desplazado por el NH₄OAc/HOAc 1M. CIC: capacidad de intercambio de cationes SB: saturación de la base. CE_{sat}: conductividad eléctrica del extracto de saturación. RD: relación de distribución de los cationes

lavado y la lixiviación (Gascó, 2001), y por otro a su desconexión con el piedemonte, ya que al recibir principalmente agua ombrogénica es un suelo más lavado y con valor de la conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$) del extracto saturado (CE_{sat} en A_p 0,240; B_{1t} , 0,285; B_{2t} 0,510) por debajo del de Redueña (CE_{sat} en A_p 0,560; B_{1t} 0,325; B_{2t} 0,835), cuya conexión con el piedemonte repercute en su alimentación de agua soligénica o de escorrentía superficial y subcutánea.

El valor mayor de la relación de distribución de cationes RD se presenta en el horizonte *argillic* de ambos perfiles. En el horizonte superficial *ochric* es menor a causa del retorno de cationes por parte de los residuos de la vegetación que los bombea desde el interior del perfil y los deposita en la superficie del suelo; y en el horizonte más profundo la RD también es menor que en el horizonte B_{1t} por una doble causa: la lixiviación de cationes procedentes de los horizontes suprayacentes y la liberación de cationes en el transcurso de la meteorización de los minerales alterables.

CONCLUSIONES

El suelo de Valdeolmos clasificado en Typic Palexeralfs presenta un grado de desarrollo mayor que el de Redueña clasificado en Typic Haploxeralfs-USDA Soil Taxonomy (USDA-SSS, 1999) si se tiene en cuenta el contraste textural, la desmineralización de la solución del suelo y la desaturación del complejo de intercambio iónico. Ambos se clasifican en Luvisols-FAO (Deckers *et al.*, 1998; Bridges *et al.*, 1998) y no en Alisols (CAM, 1990) por no cumplir el requisito de acidez o de aluminio intercambiable.

La relación de distribución de cationes RD presenta valores mayores en el Typic Palexeralf de Valdeolmos (RD en A_p 52, B_{1t} 120, B_{2t} 85) que en el Typic Haploxeralf de Redueña (RD en A_p 48, B_{1t} 107, B_{2t} 42), lo que debe ser atribuido por un lado a la desmineralización asociada a la eficacia del lavado

y la lixiviación bajo la influencia de los elementos gruesos y, por otro, a su desconexión con el piedemonte, ya que al recibir principalmente agua ombrogénica es un suelo más lavado que el de Redueña, cuya conexión con el piedemonte repercute en su alimentación de agua soligénica o de escorrentía superficial y subcutánea.

El valor mayor de la relación de distribución de cationes RD se presenta en el horizonte *argillic* de ambos perfiles. El retorno de cationes por los residuos vegetales disminuye la RD del horizonte *ochric* superficial y el desplazamiento por lixiviación cromatográfica desde el horizonte suprayacente, sumado al aporte de los minerales meteorizables, disminuye la RD de los horizontes profundos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el soporte de dos proyectos de investigación: el primero, titulado "Aproximación a la evaluación de la capacidad portante de suelos agrícolas de la Comunidad de Madrid para la aplicación de lodos de depuradora" con referencia 07M/0071/98, financiado por la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, y el segundo, titulado "Evaluación de la capacidad portante de suelos agrícolas de la Comunidad de Madrid para la aplicación de lodos residuales: Control de metales pesados y contaminantes orgánicos" con referencia FPOI-46/2000-2001, financiado por el Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria.

REFERENCIAS

Bridges, E.M., Battjes, N.H. y Nachtergaele, F.O. (eds.) (1998): World reference base for soil resources. Atlas. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Wageningen. The Netherlands. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. Italy.

- Acco, Academische Coöperatief c.v. Leuven. Belgium.
- Bolt, G.H. (1976): Transport and accumulation of soluble soil components, en: *Soil chemistry. A. Basic elements*, G.H. Bolt. y M.G.M. Bruggenwert (Eds). Developments in Soil Science 5A, Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, 126-140.
- Bolt, G.H., Bruggenwert, M.G.M., Kamphorst, A. (1976): Adsorption of cations by soil, en: *Soil chemistry. A. Basic elements*, G.H. Bolt. M.G.M. Bruggenwert (Eds). Developments in Soil Science 5A, Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, 54-90.
- Bouyoucos, G.J. (1962): Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54, 464-465.
- Bremner, J.M. (1996): Nitrogen-Total, en *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*, J.M. Bigham, ed. SSSA, Madison, Wisconsin, 1085-1121.
- Cabra, P, Goy, J.L., Hoyos, M. y Zazo, C. (1983): Estudio geomorfológico del Cuaternario y de las formaciones superficiales del sector meridional de la Sierra Cabrera. *Tecniterrae* 51,32-42.
- CAM. (1990): Mapa de asociaciones de suelos de la Comunidad de Madrid. Consejería de Agricultura y Cooperación de la Comunidad Autónoma de Madrid.
- Chapman, H.D. y Pratt, P.F (1961): *Methods of Analysis for soils, plants and waters*. University of California.
- Deckers, J.A., Nachtergaele, F.O. y Spaargaren, O.C.(eds.) (1998): *World reference base for soil resources. Introduction. International Society of Soil Science ISSS*. Vienna. Austria. Acco, Academische Coöperatief c.v. Leuven. Belgium.
- Gallardo, J., Pérez-González, A., Benayas, J. (1987): Paleosuelos de los piedemonte villafranquienses y de las terrazas pleistocenas de la región del valle Del Henares-Alto Jarama. *Boletín Geológico y Minero* xcvi-1,27-39.
- Gascó, G. (2001): Desplazamiento de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en suelos tratados con lodos de depuradoras de la Comunidad de Madrid. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Hernández Pacheco, F. (1930): Estudio geográfico y geológico del territorio de las obras del Canal de Isabel II. *Memoria del Canal de Isabel II*, 153-164.
- Hossner, L.R. (1996): Dissolution for total elemental analysis, en: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*, J.M. Bigham, ed.. SSSA, Madison, Wisconsin, 49-64.
- ITGME. (1990): Mapa geológico de España. Torrelaguna, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- Lázaro, I. (1977): Estudio geomorfológico de la cuenca del río Guadalix (evolución Neógeno-Cuaternaria). *Est. Geol.* 33(2), 101-117.
- MAPA. (1994): Textura. Densímetro de Bouyoucos, en: *Métodos oficiales de análisis. Tomo 3*, MAPA, Madrid, 290-297.
- Munsell Color Co. (1998): *Munsell soil color charts*. Munsell Color Co., Nueva York.
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. (1996): Total carbon, organic carbon and organic matter. pp 961-1010, en: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*, J.M. Bigham, ed. SSSA, Madiso, Wisconsin, 961-1010.
- Papadakis, J. (1969): *Soils n of the world*. Elsevier Publ.Co., Amsterdam.
- Pérez-González, A. y Gallardo, J. (1987): La Rada al sur de la Somosierra y Sierra de Ayllón: un piedemonte escalonado del Villafranquiense medio. *Geogaceta* 2, 29-32.
- Rhoades, J.D. (1996): Salinity. Electrical conductivity and total dissolved solids, en: *Methods of soil analysis. Part 3*.

- Chemical methods*, J.M. Bigham, ed.. SSSA, Madison, Wisconsin, 417-435.
- Richards, L.A. (ed.) (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Department of Agriculture USDA Handbook no. 60, Washington.
- Sumner, M.E. y Miller, W.P. (1996): Cation exchange capacity and exchange coefficients, en: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*, J.M. Bigham, ed. SSSA, Madison, Wisconsin, 1201-1229.
- Thomas, G. W. (1996): Soil pH and soil acidity, en: J.M. Bigham, ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. ASASSA, Madison, Wisconsin. pp 475-489
- USDA. (1996): Sample collection and preparation. Laboratory preparation of soil samples (1B). Standard air-dry (1B1), en: *Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil survey investigations report n° 42*. Version 3.0, USDA, Washington, 11.
- USDA-SSDS. (1993): Soil survey manual. Soil Survey División Staff, United States Department of Agriculture, Washington, DC 20402.
- USDA-SSS. (1999): Soil Taxonomy. Agriculture handbook nr. 436 2nd ed. Soil Survey Staff SSS, Natural Resources Conservation Service NRCS, United States Department of Agriculture USDA, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.