

CARACTERISTICAS MICROMORFOLOGICAS DE SUELOS DE HUMEDALES EN ZONAS SEMIARIDAS (CUENCA DEL DUERO)

J. Benayas*, M.^a T. de la Cruz** y J. M.^a Rey Benayas***

* *Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Serrano, 115 dpdo. 28006. Madrid.*

** *Dept. Edafología. Fac. Farmacia. UCM. 28040 Madrid.*

*** *Dept. Ecología. UAM. 28049 Madrid.*

RESUMEN

En el corte delgado de suelo se observan rasgos específicos de diferentes tipos de suelos representativos de humedales "estepáricos". Los suelos están afectados en su mayor parte por el ión sodio. Se caracterizan por el contenido en carbonatos y sulfatos y ausencia de signos claros de iluviación de arcilla. La hidromorfía es muy débil, la mayor movilidad de hierro se produce en los suelos aluvial y vertisol. El contenido de formas de resistencia de protozoos ciliados demuestra la existencia de condiciones externas desfavorables. Se pone de manifiesto la formación de algunos suelos (perfil L-IV) a partir de series sedimentarias.

Palabras clave: Edafogénesis. Humedales. Descargas de agua subterránea. Sales. Micromorfología.

SUMMARY

MICROMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS IN STEPPARIC WETLANDS

Specific features of different soil types from stepparic wetlands are observed in a thin soil section. The greatest part of the soils are affected by Na⁺ ion. Carbonate and sulfate contents and absence of evident signs of clay illuviation are characteristics of these soils. Hydromorphy is very weak, the greatest iron mobility happens in alluvial and vertisol soils. The content of resistance forms of ciliated protozoa shows the existence of unfavourable external conditions. The formation of some soils (profile L-IV) on sedimentary series has been proved.

Key words: Pedogenesis. Wetlands. Groundwater discharge. Salts. Micromorphology.

INTRODUCCION

El presente trabajo es una aportación a la micromorfología de suelos en humedales ubicados en zonas semiáridas ("estepáricos"), y su obje-

tivo es contribuir a explicar los procesos edáficos que tienen lugar.

Con el término humedales designamos aquéllos hábitats con grado

de humedad positivo respecto al territorio circundante y que no son lagos ni ríos. Incluimos prados húmedos, juncales y zonas encharcadizas (humedades evapotranspirativos o "hidden seepages"), así como láminas de agua o complejos palustres (lagunas, bodones, lavajos). Todos los estudiados tienen en común una capa freática somera, que condiciona sus características bióticas y abióticas (Rey Benayas, 1990).

Nos ha parecido interesante examinar la microestructura y posible existencia de rasgos edáficos comunes como son las características hidromórficas y la presencia de sales más o menos solubles, rasgos que se añaden a los específicos de cada perfil.

Los resultados de este trabajo son un paso más en el estudio y conocimiento de la génesis y funcionamiento

de los ecosistemas de descarga de acuíferos. Estudios previos y relativos a estos ecosistemas en el área de estudio se refieren a ecología de paisaje (Bernáldez *et al.*, 1989a; Rey Benayas *et al.*, 1990), relación agua subterránea-vegetación (Bernáldez *et al.*, 1989b; González Bernáldez *et al.*, 1987), descripción de microindicadores (Pinilla *et al.*, 1989), impacto ambiental (Rey Benayas *et al.*, 1989), toponimia (Alcazar *et al.*, 1988), hidrogeoquímica (Vega *et al.*, 1989), y suelos (De la Cruz *et al.*, 1989; González *et al.*, 1989; 1990; Rodríguez Pascual y González, 1989).

Este conocimiento es importante para establecer una política de gestión y conservación de los humedales, cuyos principales valores se refieren a la diversidad biológica y paisajística que proporcionan.

MATERIAL Y METODOS

Litología, clima y vegetación

El área de estudio está constituida por un transecto sobre materiales detríticos ("Los Arenales"), localizado al S. del río Duero. Dominan las arcosas miocénicas, que constituyen el soporte del acuífero regional (IGME, 1982). Existen también depósitos post-terciarios como "rañas" pliocenas, arenas eólicas y terrazas cuaternarias.

El tipo climático de la región en la que se han examinado los perfiles corresponde al Mediterráneo templado, con régimen térmico templado cálido y régimen de humedad mediterráneo seco (Elías y Ruiz, 1977). El clima de los perfiles L-III

y L-IV se determinó con los datos de la estación meteorológica de Tudela de Duero (Fig. 1b, incluida en De la Cruz *et al.*, 1989); los datos correspondientes a la estación de Coca representan al resto de los perfiles (Fig. 1a), dada la similitud de las estaciones de Coca y Arévalo.

La vegetación en áreas de recarga de agua subterránea corresponde a grados esclerófilo mediterráneos (bosques de *Quercus rotundifolia* más o menos degradados) y cultivos cerealistas. En áreas de descarga los bosques freatófitos han sido generalmente sustituidos por formaciones heliófilas tales como prados y juncales.

ESTACION METEOROLÓGICA : COCA

ALTITUD : 785 m
 PERIODO : 20 años
 — Temperatura
 - - - - - Precipitación
 - - - - - ETP

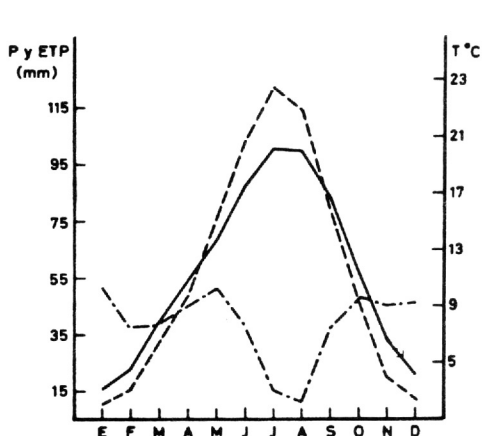


FIG. 1 a.—Tipo climático.

ESTACION METEOROLÓGICA :

TUDELA DE DUERO

ALTITUD : 704 m
 PERIODO : 24 años

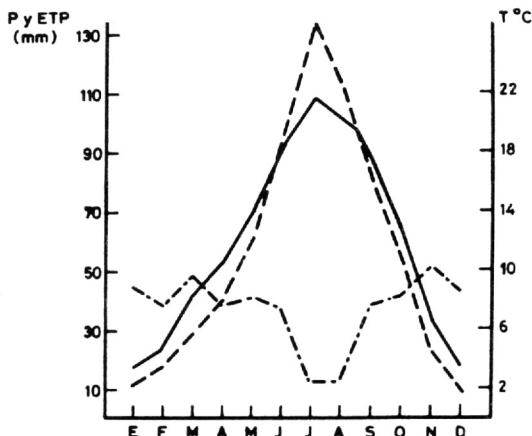


FIG. 1 b.—Tipo climático.

Basados en el estudio previo de 156 muestras de suelo de los 20 primeros centímetros de profundidad, tomadas en los humedales de todo el área de estudio (Rey Benayas, 1990) se escogieron siete perfiles de suelos representativos:

Perfil L-I: coordenadas UTM ³68.5 - ⁴⁵62.5 (Villagonzalo de Coca, Segovia),

Perfil L-II: coordenadas UTM ³67.6 - ⁴⁵68.6 (Villeguillo, Segovia),

Perfil L-III: coordenadas UTM ³60.6 - ⁴⁵96.8 (Aldeamayor de San Martín, Valladolid),

Perfil L-IV: coordenadas UTM ³61.3 - ⁴⁵96.8 (Aldeamayor de San Martín, Valladolid),

Perfil L-V: coordenadas UTM ³50.7 - ⁴⁵41.7 (Palacios Rubios, Avila),

Perfil L-VI: coordenadas UTM ³63.3 - ⁴⁵27.1 (Sanchidrian, Avila),

Perfil L-VII: coordenadas UTM ³36.7 - ⁴⁵36.9 (Cantiveros, Avila).

Son suelos dedicados a pasto, escasa o imperfectamente drenados y afectados por el ión sodio en su mayor parte que corresponden, según FAO (1988), a: solonchaks gleicos (perfiles L-I, L-V y L-VI) presentando propiedades gleicas en los 100 cm a partir de la superficie; fluvisol calcárico (perfil L-II), se trata de un suelo aluvial con gley profundo, y solonchaks sódicos (perfiles L-III y L-IV) siendo el porcentaje de sodio cambiante mayor de 15 al menos entre 20-50 cm a partir de la superficie. El perfil L-VII fue tomado en un gilgai con grietas de hasta

10 cm, es un vertisol que alcanza una profundidad de 45 cm (González *et al.*, 1990).

Además se tomaron muestras de un bodón localizado en Palacios Rubios (Avila), coordenadas UTM ³50.7-⁴⁵ 41.7. Se trata de unos sedimentos del fondo seco de laguna, muy próximos al perfil L-V.

Métodos

Preparación de cortes delgados de suelo.—En los siete perfiles seleccionados se tomaron veintitrés muestras

de suelo con cajas Kubiena, con su estructura sin modificar y orientadas. Las muestras secas se impregnaron con la resina sintética Cronolita 1.108, en campana de vacío (Benayas de Rey, 1982). La descripción se hace según Bullock *et al.* (1985).

Como técnicas complementarias se aplicaron, en tres muestras, métodos ópticos y MEB. La caracterización mineralógica se realizó especialmente en las fracciones arena (0.2 mm - 50 μm) y limo (50-20 μm , 20-8 μm y 8-2 μm).

RESULTADOS

Los rasgos edáficos amorfos y cristalinos son los mejor representados en los humedales.

Rasgos edáficos amorfos y criptocristalinos (formados por material mineral y/o orgánico, amorfo y criptocristalino).

Se identifican nódulos de Fe + Mn y/o orgánicos, órticos e impregnativos, con el borde generalmente difuso y forma irregular, color naranja rojizo a pardo oscuro y con frecuencia opaco. Aunque algunos horizontes carecen de nódulos (Tabla 1), en general éstos representan una proporción menor del 5% con la excepción del perfil L-VII donde es más alta. Los tamaños mayores (1.3 mm-600 μm) se alcanzan en los horizontes superficiales de los perfiles L-V, L-VI y L-VII.

Rasgos edáficos cristalinos (constituidos por cristales formados *in situ*).

Se observan en los tres primeros perfiles cristales aislados de carbona-

to y esferulitos de hábito fibroso radial de glauberita [$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$], (Fig. 2b). Estos se hallan en los horizontes superficiales y/o subsuperficiales en cantidad muy escasa (Tabla 1).

Se identifican rellenos de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en el perfil L-IV (Fig. 2c), y a partir de los 50 cm. de profundidad en el perfil L-III. El yeso, en el perfil L-IV, también se encuentra en cristales aislados en la masa basal y en el horizonte superficial los cristales son entre 15-125 μm .

Todos los perfiles, a excepción del L-V, contienen nódulos de calcita micrítica (CaCO_3). Se identifican nódulos típicos e impregnativos órticos de micrita, con predominio de contorno difuso y generalmente en proporción menor del 5%. También se observa calcita intercalar, aunque la forma más generalizada de presentarse la calcita es en la micromasa. Otro carbonato, la dolomita [$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2$], se identifica en el perfil L-IV (Fig. 2d1).

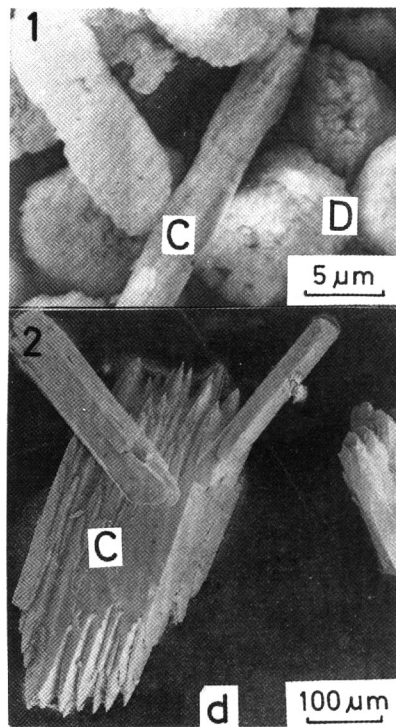
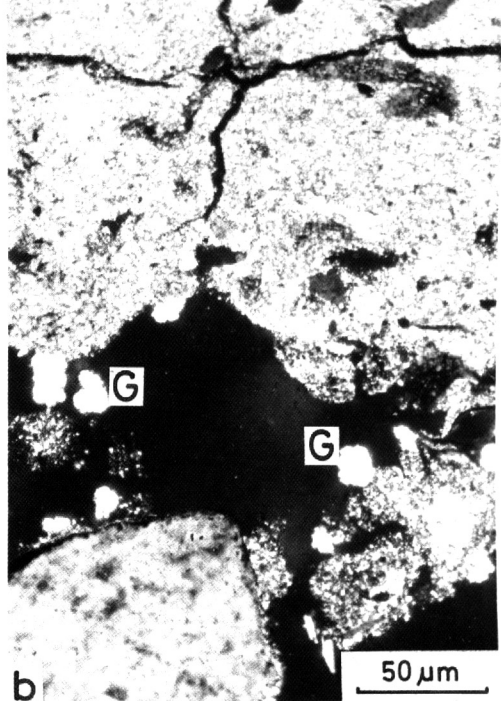
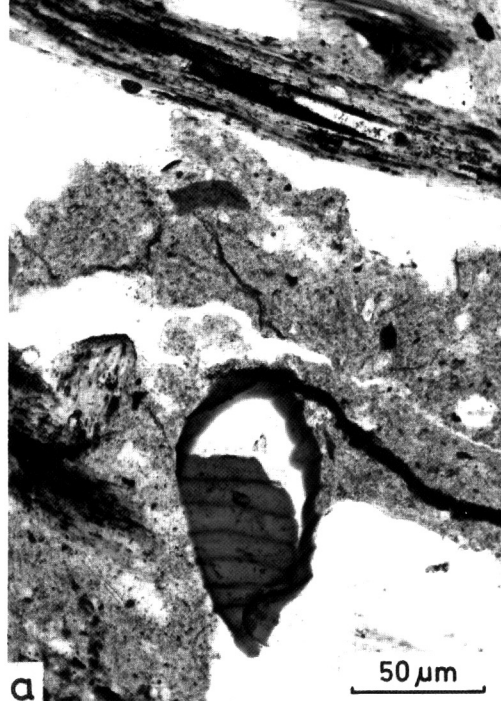


FIG. 2 a.—Microestructura compleja; frecuentes restos de plantas con grado de preservación de bueno a moderado. Corte delgado del perfil L-I (0-10 cm), LPP.

FIG. 2 b.—Contextura-b cristalítica (calcita + sales). Esferulitos atribuidos a glauberita (G) localizados en huecos. Otro campo de la muestra anterior, LPX.

FIG. 2 c.—Rellenos de yeso neoformado (Y) de diferentes cristalizaciones. La contextura-b es grano- y poroestríaada. Corte delgado del perfil L-IV (30-50 cm), LPX.

FIG. 2 d.—1) Cristales de celestina (C) y dolomita (D) en forma de agregados policristalinos. Perfil L-IV (70-90 cm); fracción 20-8 μm. MEB. 2) Otros cristales de celestina (C) en la muestra anterior. MEB

TABLA I

Características en lámina delgada, separados los tipos de suelos: Solonchak sódico (perfiles L-III y L-IV), solonetz gleico (perfiles L-V, L-I y L-VI), fluvisol calcárico (perfil L-II) y vertisol (perfil L-VII).

MUESTRA		RASGOS EDAFICOS	
Prof. cm.	Amorfos y criptocristalinos		Cristalinos
L-III (0-30)	Nód. org. & / o Fe + Mn, 10 - 200 μm (m. p.)	Carb. y glaub. (r), nód. micrft. (m. p.)	
L-III (30-50)	—	”	”
L-III (50-80)	—	Rellenos yeso (p)	”
L-IV (0-20/30)	Nód. org. & / o Fe + Mn, 10 - 100 μm (p)	”	(f) nód. micrft. (m. p.)
L-IV (20-30/50)	”	30 - 160 μm (m. p.)	” (p)
L-IV (50-70)	—	”	” (c)
L-IV (70-80/90)	—	”	” (m. p.)
L-IV (+80/90)	—	”	” (c)
L-V (0-15/20)	Nód. org. & / o Fe + Mn, 100 - 600 μm (p)	—	—
L-V (15-20/60)	Nód. Fe + Mn 100 - 800 μm (m. p.)	—	—
L-I (0-10)	Nód. org. & / o Fe + Mn, 30 - 100 μm (m. p.)	Carb. y glaub. (r), nód. micrft. (m. p.)	
L-I (10-100)	”	”	”
L-VI (0-7)	—	—	—
L-VI (7-35)	Nód. Fe + Mn, 100 μm - 1.3 mm (m. p.)	Nód. micrft. (p)	
L-II (0-30)	Nód. org. & / o Fe + Mn, 10 - 40 μm (m. p.)	Nód. micrft. (r)	
L-II (30-60)	Nód. Fe + Mn, 10 - 460 μm (p)	Carbon. y glaub. (r)	
L-II (60-100)	”	20 μm - 1 mm (p)	Nód. micrft. (m. p.)
L-VII (0-10)	Nód. org. & / o Fe + Mn, 40 - 120 μm (c)	—	—
L-VII (10-45)	Nód. Fe + Mn, 150 - 600 μm (p)	Nód. micrft. (m. p.)	

→ Suelos afectados por ión sodio ←

TABLA 1 (Continuación)

Características en lámina delgada, separados los tipos de suelos: Solonchak sódico (perfiles L-III y L-IV), solonetz gleico (perfiles L-V, L-I y L-VI), fluvisol calcárico (perfil L-II) y vertisol (perfil L-VII).

Muestra Prof. cm.	Color micromasa	Microestructura	Contextura de birrefringencia
L-III (0 - 30)	10 YR 5/3	Compleja; granos conectados*	Cristalítica (calcita + sales)
L-III (30 - 50)	10 YR 5/2	Granular	Cristalítica (calcita + sales)
L-III (50 - 80)	10 YR 6/2*	Bloques subangulares	Monocrist. y cristal.
L-IV (0 - 20/30)	10 YR 5/3	Compleja; granular*	Cristalítica (calcita + sales)
L-IV (20 - 30/50)	10 YR 5/2	Granular	Cristalítica y granoestriada
L-IV (50 - 70)	10 YR 6/4	Masiva	Cristalítica (yeso) ▲ granoestriada
L-IV (70 - 80/90)	10 YR 5/1	Masiva	Cristalítica (dolomita)
L-IV (+80/90)	10 YR 6/4	Masiva	Enmascarada por micas
L-V (0 - 15/20)	10 YR 5/4	Compleja; bloques angulares*	Grano y poroestriada
L-V (15 - 20/60)	10 YR 5/8*	Bloques angulares	Grano y poroestriada
L-I (0 - 10)	10 YR 5/2*	Compleja; bloques angulares y canales	Cristalítica (calcita + sales)
L-I (10 - 100)	10 YR 7/4	Bloques angulares	Cristalítica ▲ estriada
L-VI (0 - 7)	10 YR 5/2	De granos conectados	Indiferenciada ▲ estriada
L-VI (7 - 35)	10 YR 6/6	Compleja; bloques angulares*	Granoestriada
L-II (0 - 30)	10 YR 4/4	Compleja; de granos conectados*	■
L-II (30 - 60)	10 YR 6/6	Bloques angulares	Grano y poroestriada
L-II (60 - 100)	10 YR 5/2	Bloques angulares	Cristalítica (calcita) ▲ estriada
L-VII (0 - 10)	10 YR 5/6	Bloques angulares	Grano y poroestriada
L-VII (10 - 45)	10 YR 5/4	Bloques angulares	Grano y poroestriada

Frecuencia: r = < 1%; m. p. = < 5%; p = 5 - 15%; c = 15 - 30%.

* Predominante; ▲ sobrepuesta; ■ Muestra microestructura modificada.

xeno). Las diferencias más acusadas son:

Horizonte 70-80/90 cm.—dolomita (0.2 mm - 2 μ m) y celestina (0.2 mm 20 μ m) son muy dominantes y hay indicios de yeso.

Horizonte subyacente.—sólo hay presencia de dolomita, falta la celestina

y el yeso representa el 9% (0.2 mm - 50 μ m).

El grado de redondeamiento del cuarzo de tamaño arena es subangular con tendencia a redondeado en el horizonte estudiado a 70-80/90 cm y más anguloso en el otro horizonte.

DISCUSION

La hidromorfía es muy débil de acuerdo con las características observadas en corte delgado: matriz con hue 10 YR y predominio de cromas < 4, escasos nódulos sesquioxídicos y ausencia de revestimientos de Mn (Dorronsoro *et al.*, 1988; Veneman *et al.*, 1976). Estas características hidromórficas corresponden a suelos moderadamente bien drenados que no es el caso de los humedales. Una posible explicación de esta anomalía es que, al tratarse de suelos con pH alcalino (los valores de pH se encuentran por encima de 9 en algunos de los perfiles, González *et al.*, 1990), el hierro no se moviliza con el cambio de valencia y permanece siempre precipitado. Hay que considerar, además, que estos suelos están perdiendo las condiciones de humedad en las que se formaron y maduraron (Bernáldez *et al.*, en prensa). En la Tabla 1 se comprueba que los suelos alcalinos (L-I, L-V y L-VI) contienen menos nódulos sesquioxídicos y el que presenta mayor proporción es el vertisol (L-VII).

El tipo de textura de birrefringencia en el perfil L-VII pone de manifiesto las características vérticas del suelo (Tabla 1). Este perfil es el que presenta una relativa mayor movilidad de hierro, seguido del

suelo aluvial (perfil L-II), que confirma la mala circulación de la capa freática.

Además, Vepraskas y Bouma (1976) defienden que la saturación no es necesaria para la formación de nódulos ferruginosos. Se produce siempre que el suelo no saturado permanezca húmedo el tiempo necesario para que se den condiciones reductoras.

Otro dato relacionado con la hidromorfía fluctuante en estos suelos es la presencia de protozoos ciliados (Esteban, comunicación personal), como en el perfil L-I. Los encharcamientos temporales permiten el desarrollo de los quistes y otras formas resistentes.

Las aguas subterráneas en áreas de recarga tienen alto contenido relativo en CO_3H^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} , mientras que en las áreas de descarga el contenido en todas las sales es generalmente alto; también es acusada la influencia que ejercen los acuíferos superficiales, entre ellos la de los páramos calcáreos en los perfiles L-III y L-IV (IGME, 1980, 1982). Es lógico pensar que la formación de carbonatos y sulfatos tenga en general un lugar destacado en los suelos estudiados. Los carbonatos se identifican en todos los perfiles

con la excepción del L-V. La forma más generalizada de presentarse la calcita es la micromasa, y su origen se atribuye a un proceso de acrecimiento negativo de las aguas subterráneas (De la Cruz *et al.*, 1989). Otra forma de presentarse es en nódulos micríticos debido a la presencia de arcilla dispersa que retarda o impide el crecimiento y recristalización de los cristales de calcita (Wieder y Yaalon, 1974).

La dolomita se atribuye a una diagénesis temprana, influenciada por la salinidad (Martínez Lope *et al.*, en prensa); también es diagenética la celestina.

En cuanto a los sulfatos, el yeso ha sido encontrado en los suelos salinos (L-III y L-IV). Un estudio de su textura y localización nos permite diferenciar el yeso detrítico del edafogénico; a este último tipo corresponden los rellenos, sobre todo los superficiales de tamaño inferior a $125 \mu\text{m}$ (de la Cruz *et al.*, 1989).

El yeso edafogénico de relleno se forma por la precipitación de soluciones saturadas correspondientes a la franja capilar de la capa freática. Bernáldez y Rey Benayas (en prensa) demuestran, mediante la aplicación de modelos geoquímicos, que esta precipitación ocurre al concentrar la solución original dos veces, lo cual es muy fácil debido a la aridez climática.

La ausencia de sales en el bodón era predecible dada su proximidad al perfil L-V que no las contiene. También es significativa su elevada proporción de arcilla, que favorece su encharcamiento temporal en el invierno. Son, precisamente, estos humedales con sustrato muy arcilloso los menos sensibles al impacto

ambiental debido a la bajada de la capa freática (Bernáldez *et al.*, en prensa).

Los suelos estudiados no ofrecen signos claros de iluviación de arcilla en el corte delgado, con excepción del horizonte subsuperficial del perfil L-V que muestra translocación actual del material fino, apenas perceptible. Estos resultados, respecto a los suelos salinos, coinciden con los de otros autores (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 1982, Simón y Aguilar, 1980) y se atribuye a la textura fina moderada, clima mediterráneo y alto potencial de hinchamiento y contracción (Nettleton *et al.*, 1969).

Uno de los rasgos que se observan con más facilidad en corte delgado de suelo es la pérdida de micromasa. El empobrecimiento en arcilla del horizonte superior del perfil L-III se debe a un proceso erosivo relacionado con rezumes (De la Cruz *et al.*, 1989).

La contextura-b grano- y poroestriada es típica de suelos con predominio de esmectita. Sobre todo en los suelos salinos (perfiles L-III y L-IV) la contextura-b cristalítica es frecuente, dando paso a una contextura-b estriada en los horizontes profundos, de forma análoga a los resultados de Sehgal y Stoops (1976). En los suelos alcalinos (perfiles L-I, L-V y L-VI), se identifican contexturas-b granoestriada, granoestriada asociada a poroestriada y cristalítica (Fig. 2b), a veces superpuesta a granoestriada.

La mayor cantidad de edafoexcrementos elipsoidales, en el horizonte superficial del perfil L-V, se atribuye a su textura arenosa franca (estudio del corte delgado corroborado por

González *et al.*, 1990) que permite mayor aireación y en consecuencia mayor actividad biológica.

Gramíneas y ciperáceas son las especies que han contribuido principalmente a la formación de fitolitos.

Los contrastes de estructura y textura en un mismo perfil ya fueron citados en la provincia de Valladolid. García Rodríguez *et al.* (1982) cuestionan si se trata de horizontes edáficos o proceden de procesos sedimentarios aunque llegan a la conclusión de que en cualquier caso funcionan como un solo suelo.

La textura de los perfiles, sin

embargo, no es un dato fiable en suelos correspondientes a hábitats de descarga de acuíferos ya que la proporción de arcilla en los diferentes horizontes está bajo la influencia de aguas subterráneas salinas que provocan una movilidad imprevisible de esta fracción (Abtahi *et al.*, 1979). No obstante el corte delgado y la mineralogía de los horizontes del perfil L-IV (70-80/90 y subyacente) confirma que se trata de sedimentos distintos. El grado de redondeamiento es más significativo que la mineralogía ya que las diferencias más acusadas son de minerales autógenos.

CONCLUSIONES

Del estudio basado en el corte delgado se deduce que los humedales estepáricos muestran rasgos de hidromorfía muy débil. Los humedales que presentan mayor movilidad de hierro son el suelo aluvial y el vertisol. Una explicación de la débil hidromorfía parece ser el pH alcalino, que impide que los óxidos de hierro se movilizan. El contenido en formas de resistencia de protozoos ciliados pone de manifiesto unas condiciones externas desfavorables. Debe tenerse también en cuenta que estos suelos, en la actualidad, reciben menos aporte de humedad debido al descenso continuado de la capa freática por los regadíos en la zona (Rey Benayas *et al.*, 1989).

El proceso de lavado es escaso debido al clima seco. Los suelos, aunque poseen horizonte argílico, no muestran signos claros de iluvación de arcilla en el corte delgado.

La neoformación de carbonatos y sulfatos ocupa, en general, un lugar destacado en estos suelos. En corte delgado, es frecuente la contextura-b cristalítica en los horizontes superficiales y en los horizontes profundos la contextura-b es estriada.

La actividad biológica se manifiesta por medio de edafoexcrementos, restos de plantas y bioindicadores microscópicos (biolitos y protozoos ciliados).

El grado de redondeamiento de los minerales, junto a otras características, confirma que en la región estudiada se forman suelos sobre series sedimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las Dras. A. Pinilla y M. J. Martínez Lope la cuantificación mineralógica, y al Dr. J. M. Rincón las fotomicrografías en el MEB.

BIBLIOGRAFIA

- ABTAHI, A., SYS, C., STOOPS, G. and ESWARAN, H., 1979. Soil forming processes under the influence of saline and alkaline groundwater in the Sarvestan basin (Iran). *Pedologie*, 29: 325-357.
- ALCAZAR, A., MARTINEZ, A., REY, J. M.^a y RUIZ, J. P., 1988. Toponimia y léxico relacionados con las descargas de aguas subterráneas en la cuenca del Duero. *Estudios Geográficos*, 49: 329-339.
- BENAYAS DE REY, J., 1982. Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología. Monografía 84. UPM.
- BERNALDEZ, F. G., REY BENAYAS, J. M.^a, LEVASSOR, C. and PECO, B., 1989a. Landscape ecology of uncultivated lowlands in Central Spain. *Landscape Ecology*, 1: 3-18.
- BERNALDEZ, F. G., REY, J. M.^a, LEVASSOR, C. and PECO, B., 1989b. Plants as indicators of groundwater chemical quality in Central Spain. 28 Int. Geol. Cong. Washington.
- BERNALDEZ, F. G., REY BENAYAS, J. M.^a and MARTINEZ, A. ——. Ecological impact typology of wetlands produced by groundwater extraction (Douro River, Spain) *J. of Hydrology*. (En prensa)
- BERNALDEZ, F. G. and REY BENAYAS, J. M.^a, ——. Geochemical relationship between groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in Central Spain. *Geoderma*. (En prensa).
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. and TURSINA, T., 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Albrighton.
- DE LA CRUZ, M.^a T., BENAYAS, J. y REY, J. M.^a, 1989. Micromorfología de suelos yesíferos en áreas de descarga de aguas subterráneas (Valladolid, España). 2 Reunión del Cuaternario Ibérico. Madrid, 45.
- DORRONSORO, C., ALONSO ROJO, P. y RODRIGUEZ REBOLLO, T., 1988. La hidromorfía y sus rasgos micromorfológicos. *An. Edafol. Agrobiol.*, 47: 243-278.
- ELIAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRAN, L., 1977. Agroclimatología de España. Cuaderno I. N. I. A. No. 7. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- FAO/UNESCO, 1988. Soil map of the world. Revised legend. Roma.
- GARCIA RODRIGUEZ, A., FORTEZA BONNIN, J. y LORENZO MARTIN, L. F., 1982. Relación entre suelos y sedimentos de zonas semiáridas. *An. Edafol. Agrobiol.*, 41: 1657-1670.
- GONZALEZ BERNALDEZ, F., HERRERA, P., SASTRE, A., REY, J. M.^a y VICENTE, R., 1987. Comparación preliminar de los ecosistemas de descarga de aguas subterráneas en las cuencas del Duero y Tajo. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 11: 19-34.
- GONZALEZ, J., PALOMAR, M.^a L., MORENO, A. M. y LOPEZ, A., 1989. Suelos afectados por salinidad en la cuenca del Duero. XVI Reunión SECS. Lérida, 81.
- GONZALEZ, J., PALOMAR, M.^a L., MORENO, A. M., LOPEZ, A., GONZALEZ, C. y DE LA CRUZ, M.^a T., 1990. Características de suelos de áreas afectadas por salinidad. XI Cong. Latinoamericano Ciencia Suelo. La Habana, 197.
- IGME, 1980. Investigación hidrogeológica de la cuenca del Duero. *Sistemas No. 8 y 12. Aguas subterráneas. Colección Informe*. Madrid.
- IGME, 1982. Calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos terciarios detríticos de la cuenca del Duero. *Aguas subterráneas. Colección Informe*. Madrid.

- NETTLETON, W. D., FLACH, K. W. and BRASHER, B. R., 1969. Argillic horizons without clay skins. Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings, 33: 121-125.
- MARTINEZ LOPE M.^a J., PINILLA, A. y BENAYAS, J., ——. Identificación de dolomita en zonas semiáridas de la depresión del Duero. Suelo y Planta. (En prensa).
- PINILLA, A., DE LA CRUZ, M.^a T., BENAYAS, J. y REY BENAYAS, J. M.^a, 1989. Bioindicadores microscópicos en humedales de la cuenca del Duero. XVI Reunión SECS. Lérida, 83.
- REY BENAYAS, J. M.^a, 1990. Ecosistemas de descarga de acuíferos en la Cuenca del Duero. Tesis doctoral U. A. M.
- REY BENAYAS, J. M.^a, PEREZ, C., GONZALEZ BERNALDEZ, F. y ZABALETA, A., 1990. Tipología y cartografía por fotointerpretación de los humedales de las cuencas del Duero y del Tajo. Mediterránea Ser. Biol., 12: 5-26.
- REY BENAYAS, J. M.^a, MARTINEZ, A., RUIZ, J. P. y GRANADOS, S., 1989. Aspectos ecológicos y socioculturales de la explotación de las aguas subterráneas al sur del Duero. La sobreexplotación de las aguas subterráneas, 441-458. Almería.
- RODRIGUEZ PASCUAL, C. y GONZALEZ, C., 1989. Mineralogía de distintas fracciones en suelos con altos contenidos en sodio. 2 Reunión de Cuaternario Ibérico. Madrid, 47.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., PEREZ ANGLES, M. C., DIEZ DE LA LASTRA BOSCH, M. C. y FERNANDEZ CALDAS, E., 1982. Estudio microscópico de algunos aridisoles de las Islas Canarias. An. Edafol. Agrobiol., 41: 1687-1746.
- SEHGAL, J. L. and STOOPS, G., 1976. Comparative morphological and micromorphological studies on the salt-affected and associated cultivated soils of the alluvial plains of northwest India. J. Indian Soc. Soil Sci., 24: 439-442.
- SIMON, M. y AGUILAR, J., 1980. Los suelos halomorfos de la provincia de Granada. V. Estudio micromorfológico. An. Edafol. Agrobiol., 39: 439-450.
- VEGA, M. T., REY, J. M.^a, VICENTE, R., SASTRE, A. y BERNALDEZ, F. G., 1989. Hidrogeoquímica regional de un transecto arcósico en la Cuenca del Duero. Geogaceta, 6: 30-32.
- VENEMAN, P. L. M., VEPRASKAS, M. J. and BOUMA, J., 1976. The physical significance of soil mottling in a Wisconsin toposequences. Geoderma, 15: 103-118.
- VEPRASKAS, M. J. and BOUMA, J., 1976. Model experiments on mottle formation simulating field conditions. Geoderma, 15: 217-230.
- WIEDER, M. and YAALON, D. H., 1974. Effect of matrix composition on carbonate nodule crystallization. Geoderma, 11: 95-121.

Recibido: 21-9-90.

Aceptado: 8-7-91.