

HUMEDALES DE LA PROVINCIA DE SEGOVIA. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS*

EDUARDO ALONSO*, ANA MARÍA MORENO* Y JUANA GONZÁLEZ*

RESUMEN

Las zonas húmedas constituyen ecosistemas de gran valor e importancia para animales y plantas. Son hábitats altamente vulnerables a cambios en las condiciones hidrológicas y químicas. Estos ecosistemas han sido fuertemente amenazados por la actividad humana, por ello la Convención Ramsar y otras actuaciones internacionales han sido iniciativas para la protección de estas áreas.

La mayoría de estos humedales corresponden a zonas de descarga de acuíferos, cuando los niveles de agua subterránea bajan, la situación se invierte convirtiéndose en zonas de recarga (el agua fluye hacia el interior del acuífero, drenando y desecando la laguna).

En estas áreas, el descenso del agua subterránea va seguido de procesos de oxidación siendo la causa de formación de sulfatos a partir de sulfuros de hierro, existentes en condiciones reductoras, lo que ocasiona una acidificación con la posible solubilización de componentes metálicos.

En este trabajo se han estudiado humedales y suelos hidromorfos situados al borde de lagunas localizadas en la provincia de Segovia (España). Se han determinado las características físicas y químicas de las aguas de superficie y profundas (pH, Eh y T*) y las de los suelos, analizando: textura, pH, componentes orgánicos, fracciones de la materia orgánica, complejo de cambio y contenidos en metales pesados (Zn, Cd, Pb y Cu).

Palabras clave: Humedales, características de suelos, provincia de Segovia.

SUMMARY

Wetlands are of fundamental importance and value as ecosystems for animals and plants. Wetland habitats are highly vulnerable to changes in hydrological and chemical conditions. These ecosystems have been highly threatened by human activity. In this respect the Ramsar Convention and other international agreements are initiatives for the protection of these areas.

Most wetlands correspond to aquifer discharge zones, when groundwater levels drop the situation reverses and the wetland becomes an aquifer recharge zone (water flows into the aquifer draining the wetland).

In these areas, a lowering of the groundwater table produces a deeper unsaturated zone followed by oxidation of the pyrites deposits (iron may be found in sulphide mineral). This causes the production of sulfate and often leads to acidification with a remobilisation of the metallic components.

* Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

Recibido: 26/06/00.

Aceptado: 20/09/00.

Wetlands and hydric soils situated at the province of Segovia's (Spain) wetlands shoreline have been studied. Physical and chemical characteristic of groundwater (pH, Eh, Tⁿ) and soils: texture, pH, organic matter, C.E.C, exchangeable cations and heavy metal content (Zn, Cd, Pb, and Cu) have been analyzed.

Key words: Wetlands, soil characteristics, Segovia.

INTRODUCCIÓN

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Castilla y León, mediante el Decreto 194/1994, del 25 de agosto (BOC y L n.º 186, 31 de agosto de 1994), aprobó el Catálogo Regional de Zonas Húmedas de Interés Especial, estableciéndose el régimen de protección de las mismas.

En dicho catálogo se incluyen 14 zonas húmedas en Avila, 11 en Burgos, 19 en León, 10 en Palencia, 3 en Salamanca, 25 en Segovia, 4 en Soria, 8 en Valladolid y 24 en Zamora, con denominaciones de laguna, lago, charca, embalse, lavajo o bodón.

Las acciones antrópicas han sido frecuentes y muy diversas en estas zonas de humedales. No se están respetando los límites de protección (perímetro de 50 m alrededor de las lagunas a partir del límite de las aguas en su máximo nivel), y se han cultivado y aplicado lodos y pesticidas a suelos próximos, con constantes bombeos de aguas freáticas para riegos, causando el descenso del nivel del agua subterránea lo que ha constituido una de las causas fundamentales de la desecación parcial o total de muchas de las lagunas, acentuándose este proceso con el factor climático.

El área esta sometida a una intensa actividad ganadera en las praderas húmedas interdunares de la franja perimetral de las lagunas; existen granjas porcinas en localizaciones próximas y en muchas de estas lagunas se ha explotado la turba o han sido sometidas a tratamientos de encalado para el cultivo de tencas.

El objetivo fundamental de este trabajo es la caracterización de lagunas y suelos afectados por la existencia de una capa freática poco profunda que sufre oscilaciones de nivel en función de las

variaciones climáticas, localizados en humedales de la provincia de Segovia, incluidos en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad de Castilla y León.

Características geológicas

Geológicamente los arenales de la zona de estudio forman parte de los recubrimientos eólicos cuaternarios ampliamente representados en la Cuenca del Duero (ALCALÁ DEL OLMO 1974; ÁLVAREZ *et al.* 1987). Están situados en el borde meridional de la Cuenca en el sector Nororiental de la depresión tectónica terciaria, limitado por afloramientos paleozoicos y mesozoicos del Sistema Central y por una serie detrítica miocena, coronada por rañas del Plioceno. En los materiales terciarios se encajaron diversos sistemas fluviales que quedaron recubiertos por arenas eólicas holocenas (TEMIÑO 1994).

Las arenas eólicas están depositadas sobre substratos más arcillosos de color oscuro y edad terciaria, considerados algunos de ellos (los de color verdoso), como depósitos cuaternarios más antiguos, posiblemente de origen fluvial, que deben corresponder a terrazas altas del río Cega (TEMIÑO *et al.* 1997).

Entre las arenas eólicas se encuentran los humedales constituidos por lagunas o áreas de encharcamiento más o menos permanente, formando en su conjunto un sistema de dunas con áreas interdunares húmedas y secas, dependiendo de la profundidad del nivel freático. REY BENAYAS (1991) y GONZÁLEZ BERNÁLDEZ & REY BENAYAS (1992) estudiaron las relaciones geoquímicas entre aguas freáticas, suelos y vegetación en zonas húmedas de la Cuenca del Duero poniendo de manifiesto el papel fundamental de la hidrogeología y topografía. GARCÍA RODRÍGUEZ (1986) y

FORTEZA *et al.* (1988) describieron, en esta misma cuenca, los suelos y la influencia de las aguas subterráneas.

Si la capa freática es somera, la humedad existente condiciona una cubierta vegetal de prados húmedos nitrófilos pertenecientes a la Clase *Molinio-Arrhenatheretea*. R.Tx 1937 (BLANCO AYALA 1985) desarrollándose procesos edáficos con formación de suelos gleizados en los que se pueden observar manchas rojizas de óxidos de hierro que corresponden a zonas de oxidación y que marcan la posición del nivel freático. Las oscilaciones estacionales de la capa freática, de 0,6 m/año, pueden alcanzar la superficie originando con ello encharcamientos no permanentes.

Las áreas interdunares secas están cubiertas por sedimentos arenosos formando pequeños montículos, en ellos el nivel freático está a mayor profundidad (más de 1,5 m), no se desarrolla el prado y en sustitución cubre la zona un pinar de repoblación de *Pinus halepensis*.

Características climáticas

El régimen de humedad de la zona es «Mediterráneo seco», el régimen térmico «Templado cálido» y el tipo climático «Mediterráneo templado».

La existencia de los humedales parece haber sido discontinua en el tiempo coincidiendo con variaciones en los factores climáticos.

En la tabla 1 se expresan los datos climáticos de la estación meteorológica de Segovia (ELÍAS DEL CASTILLO & RUIZ BELTRÁN 1977). El balance hídrico, precipitación menos evapotranspiración potencial (P-ETP) presenta valores negativos en el período de abril a octubre. Durante esta época de sequía el nivel de las lagunas puede mantenerse si hay descargas subterráneas, en su defecto, disminuye o se desecan.

Los períodos húmedos serían los favorables al desarrollo de vegetación, de procesos edáficos y establecimiento de lagunas, durante los cuales tendría lugar el ascenso del nivel freático y la inmovilización del sistema dunar. El último período húmedo correspondería a la formación de los suelos actuales, y habría comenzado hace unos 900 años. Durante los períodos áridos, tendría lugar el descenso del nivel freático, desaparición de humedales y reactivación del sistema dunar (TEMIÑO *et al.* 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

La anisotropía vertical que presentan los suelos de cualquier área se incrementa en aquellos situa-

TABLA 1
DATOS CLIMÁTICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SEGOVIA.
[METEOROLOGICAL SEGOVIA STATION]

	t _m	P	ETP	V	R	D	S	I _h
Enero	2.4	42	7	35	99	0	0	6.00
Febrero	4.0	33	12	1	100	0	21	2.75
Marzo	7.6	41	28	0	100	0	13	1.46
Abril	10.1	45	47	-2	98	0	0	1.00
Mayo	13.2	61	71	-10	88	0	0	1.00
Junio	18.2	38	110	-72	16	0	0	1.00
Julio	21.7	24	133	-16	0	93	0	0.30
Agosto	21.3	14	121	0	0	107	0	0.12
Septiembre	17.5	37	84	0	0	47	0	0.44
Octubre	11.8	42	46	0	0	4	0	0.91
Noviembre	6.6	45	20	12	25	0	0	2.25
Diciembre	3.1	46	7	39	64	0	0	6.57
Año	11.4	468	686	-	-	-	-	0.68

t_m: Temperatura media. P: Precipitación media mensual.

ETP: Evapotranspiración potencial media mensual.

V: Variación. R: Reserva. D: Déficit. S: Superávit. I_h: Índice de humedad.

dos en zonas lacustres y que además se han desarrollado a partir de depósitos eólicos.

Se hicieron calicatas durante el estío (julio 1995) profundizando hasta el nivel freático (que variaba

según los perfiles desde 0.6 m hasta 1,40 m) tomando muestras de todos los horizontes. La zona de estudio viene dada en la figura 1; la localización de perfiles y características de las lagunas muestreadas se expresan en la tabla 2.

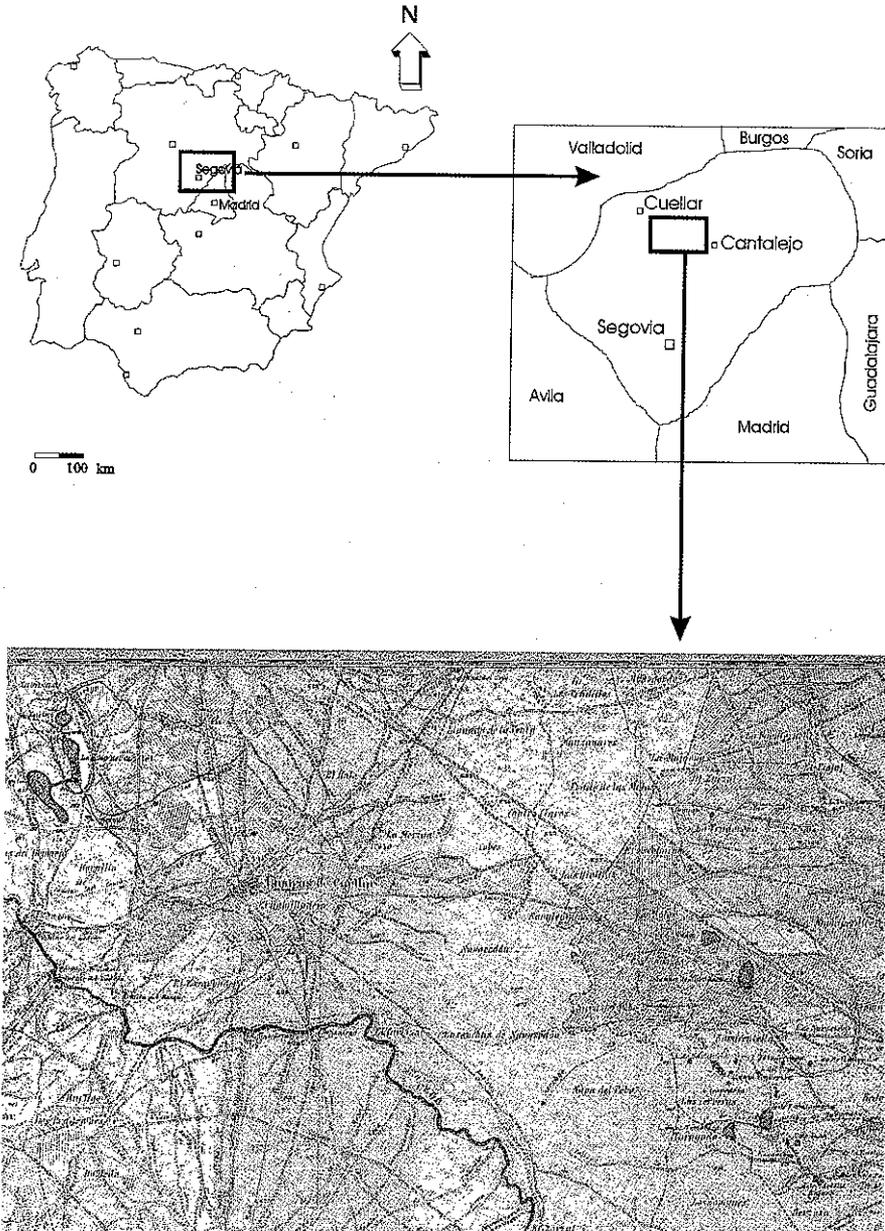


Fig. 1. Localización del área de estudio. [Location of study area.]

TABLA 2
LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS OBJETO DE ESTUDIO.
[LOCATION AND CHARACTERISTICS OF POOLS FROM STUDIED AREA]

Código	SG-12	SG-13	SG-14	SG-15	SG-22	SG-23
Nombre	Lucía	Carrizal	Muñía	Mavahornos	Navaelosoto	Matisalvador
Fecha	16-06-95	16-06-95	1-07-95	20-06-94	20-06-94	27-6-94
Término municipal	Hontalbilla (Sg)	Lastras de Cuéllar (Sg)	Cantalejo (Sg)	Cantalejo (Sg)	Cantalejo (Sg)	Cantalejo (Sg)
Cuenca hidrográfica	Duero	Duero	Duero	Duero	Duero	Duero
Subcuenca hidrográfica	Río Cega	Río Cega	Río Duratón	Río Duratón	Río Duratón	Río Duratón
Latitud	41° 19' 35" N	41° 19' 15" N	41° 17' 20" N	41° 17' 05" N	41° 16' 30" N	41° 16' 15" N
Longitud	04° 08' 45" W	04° 08' 40" W	04° 00' 15" W	03° 59' 45" W	03° 59' 00" W	03° 59' 00" W
Altitud	860 m	860 m	900 m	900 m	910 m	910 m
Superficie	5,80 ha	10,88 ha	4,81 ha	8,90 ha	3,14 ha	1,81 ha
Perímetro	0,920 km	1,882 km	1,060 km	1,319 km	0,834 km	0,580 km
Longitud máx.	0,334 km	0,712 km	0,421 km	0,511 km	0,333 km	0,245 km
Anchura máx.	0,264 km	0,240 km	0,198 km	0,244 km	0,170 km	0,116 km
Prof. máxima	1,00 m	1,50 m	1,00 m	1,50 m	0,50 m	0,50 m
Perfiles	LU1, LU2	CA1, CA3, CA4, CA5, CA6	MU1, MU2	NV1	NS1, NS2	MA1, MA2

Las determinaciones llevadas a cabo se pueden dividir en dos grupos:

- Determinaciones *in situ*: descripción morfológica de los perfiles, y medidas de Eh, pH y temperatura (pH-metro-Eh-metro combinado Metrohm 704) en aguas freáticas y aguas de superficie siguiendo el perímetro de cada laguna, con una media de ocho muestras por laguna. Todos estos análisis se llevaron a cabo en la misma época (mes de Julio) y en el mismo año. Los datos obtenidos son los que caracterizan cada punto de medición.
- Determinaciones analíticas de parámetros edáficos: pH (1:2,5), contenido en carbono orgánico (WALKLEY & BLACK 1974), nitrógeno total (método Kjeldahl), análisis granulométrico (método internacional, ISRIC 1987), capacidad de intercambio catiónico (Acetato amónico a pH 7). El calcio y magnesio cambiables, se determinaron por Absorción atómica (Philips PU 9.100 X). Fraccionamiento de la materia orgánica (BOE, 17/7/91), análisis por rayos X de la fracción arcilla (difractor de polvo Philips XPERT MPD). Los metales pesados se determinaron por Absorción atómica después del ataque triácido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las aguas:

pH: El valor medio de pH en aguas freáticas es próximo a la neutralidad (tabla 3), correspondiendo a las de La Muñía los valores extremos tanto de mínimos (pH 5,60) como de máximos (pH 7,48).

Las aguas de superficie presentan un pH medio más elevado que el de aguas freáticas, siendo menores las diferencias de pH para las lagunas de Lucía y del Carrizal situadas en Hontalbilla y Lastras de Cuéllar respectivamente, mientras que en las demás los valores máximos de pH en aguas superficiales están comprendidos entre 9-10, consecuencia de los tratamientos de encañado a los que han estado sometidas estas lagunas con posible formación de carbonato sódico componente al que se debería los elevados valores de pH.

Eh: Las aguas freáticas son muy reductoras con valores medios de Eh (tabla 3), comprendidos entre -121 mV y -157 mV (excepto en la laguna Lucía), y máximos comprendidos entre -150 mV y -287 mV, valores indicativos de una anaerobio-

TABLA 3
VALORES DE pH, Eh Y T° EN AGUAS SUBSUPERFICIALES (1) Y SUPERFICIALES (2).
[pH VALUES, Eh AND T° IN GROUNDWATERS (1) AND SURFACE WATERS (2)]

	Lucía		Carrizal		Muña		Navahornos		Navaelsoto		Matisalvador	
	pH1	pH2	pH1	pH2	pH1	pH2	pH1	pH2	pH1	pH2	pH1	pH2
Media	7.02	8.00	6.86	8.00	6.90	9.50	6.76	8.50	6.76	8.00	6.79	8.50
Máximo	7.19	8.00	6.90	8.00	7.48	10.00	7.16	10.00	7.43	9.00	7.11	10.00
Mínimo	6.86	8.00	6.80	8.00	5.60	9.00	6.36	7.00	6.38	7.00	6.61	7.00
	Eh1	Eh2	Eh1	Eh2	Eh1	Eh2	Eh1	Eh2	Eh1	Eh2	Eh1	Eh2
Media	-25	47	-127	54	-131	28	-121	12	-137	69	-157	18
Máximo	-150	20	-170	3	-167	-9	-187	-114	-287	-70	-238	-34
Mínimo	99	74	-25	90	-49	54	49	48	75	106	-104	56
	T°1	T°2	T°1	T°2	T°1	T°2	T°1	T°2	T°1	T°2	T°1	T°2
Media	16.0	14.7	18.0	21.7	19.5	28.9	18.9	25.0	18.3	24.7	19.3	24.4
Máximo	16.7	15.3	19.0	24.7	21.1	32.1	21.4	28.5	19.7	27.1	20.7	27.8
Mínimo	15.3	14.2	17.7	18.7	18.3	26.8	16.6	20.2	17.3	21.8	17.4	22.3

sis estricta con acumulación de materia orgánica, biodegradación por anaerobiosis acentuada y posibilidad de reducción de sulfatos (SO_4^{2-}) e incluso formación de metano.

Hay que destacar las condiciones medianamente reductoras existentes en las aguas superficiales de las lagunas debido a la eutrofización y proliferación de biota.

T°: Las temperaturas medias de aguas freáticas oscilan entre 16,0 °C y 19,5 °C, inferiores en estío (época en la que se hicieron las mediciones) como era de esperar, a las de aguas superficiales (tabla 3). Las anomalías de la laguna Lucía son debidas a la posición de umbría en que se realizaron las determinaciones «in situ».

Características generales de los suelos:

Los suelos estudiados están tomados en la zona periférica de protección de las lagunas, constituida por la franja perimetral continua que circunda la laguna, a 50 m del límite de las aguas a su máximo nivel. Los suelos de humedales (Cantalejo, Hontalbilla y Lastras de Cuéllar) situados próximos a las lagunas presentan características gleicas determinadas por el factor hidromorfo:

- Son suelos tipo Gleysol, con presencia de capa freática que sufre oscilaciones anuales. Son

suelos muy poco evolucionados, desarrollados a partir de arenas fundamentalmente de naturaleza cuarcítica, material muy resistente a la alteración, aunque contienen también feldespato potásico (ÁLVAREZ *et al.*, 1993)

- La secuencia de horizontes es A, Cg, presentando pequeña potencia; sin embargo existe más de un *sequum* (2Ag, 2Cg, 3Ag, 3Cg, etc.), hasta la capa freática (situada en algunos perfiles a más de 1 m de profundidad en época de estío), que ponen de manifiesto una anisotropía vertical morfológica y analítica muy marcada.

Los horizontes Cg tienen escaso contenido en materia orgánica, en general una textura arenosa y color blanquecino, con frecuencia manchas de herrumbre formadas por precipitación de hidróxido férrico, correspondiendo a la zona de oxidación originada al descender la capa freática en períodos secos (toma de muestras). En períodos húmedos, por ascenso de la capa de agua tiene lugar la movilización del hierro al estado ferroso, poniéndose de manifiesto por una coloración gris-verdosa.

Los horizontes Cg contrastan fuertemente con otros niveles más profundos de color negro que tienen elevado contenido en arcilla y materia orgánica, horizontes 2 Ag, 3Ag, etc. sucediéndose

se así diversas etapas de sedimentación y edafogénesis. Algunos de estos niveles edáficos intercalados en las arenas eólicas han sido datados, presentando una antigüedad de 10.200 años BP (TEMIÑO *et al.* 1997).

- Los parámetros edáficos presentan variaciones acusadas como corresponde a la anisotropía morfológica de estos suelos y niveles sedimentarios.

Textura: Es muy heterogénea (tabla 4), por lo general los horizontes Cg están constituidos casi exclusivamente por arena, fundamentalmente por arena gruesa, sin embargo los horizontes 2Ag y sobre todo 3Ag tienen texturas franco-arcillo-arenosas o arcillosas, con proporciones de elementos finos, limo+arcilla que pueden ser elevadas (75,9%).

La mineralogía de la fracción arcilla está constituida por micas-ilitas como minerales predominantes, presencia de caolinita en algunas muestras, e interestratificados de tipo ilita-vermiculita o ilita-clorita. Existe cuarzo y feldespato como minerales no laminares y calcita en algún nivel sedimentario.

pH: Los valores de pH están en el intervalo 5,38-8,74 (tabla 4), correspondiendo el mínimo a un horizonte con hidromorfía en el que existe desprendimiento de H₂S.

Se observan valores de pH más elevados en horizontes Cg que en horizontes A superficiales lo que puede atribuirse a la acción de la materia orgánica en A y al carácter poco tampón de los horizontes Cg, con texturas por lo general arenosas. Las prácticas de encalado, la existencia de niveles carbonatados, por movimiento ascendente de aguas bicarbonatadas (GONZÁLEZ BARNÁLDEZ & REY BENAYAS 1992) y la presencia de conchas en distintos niveles, justifican igualmente los altos valores de pH en algunos horizontes y sus variaciones al profundizar en el suelo.

Componentes orgánicos: Todos los perfiles presentan discontinuidad en cuanto a las proporciones de carbono (tabla 4), con mínimos en horizontes Cg y valores máximos en horizontes organo-minerales superficiales o profundos, siguiendo las secuencias: A>Ag>>Cg o Ag>A>>Cg. Los contenidos en carbono orgánico en los horizontes A de los suelos tomados próximos a las lagunas de Lucía y el Carri-

TABLA 4
CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.
[SOILS CHARACTERISTIC OF STUDY AREA]

	Hor. A		Hor. Cg		Hor. 2Ag		Hor. 3Ag	
	\bar{X}	Intervalo	\bar{X}	Intervalo	\bar{X}	Intervalo	\bar{X}	Intervalo
AG (%)	77.2	64.4-90.5	80.3	30.9-95.0	64.8	28.4-90.7	29.1	9.9-38.4
AF (%)	13.0	4.4-25.2	12.4	1.9-44.5	20.3	5.3-44.2	16.3	5.6-24.7
L+A (%)	9.8	4.9-20.5	6.5	0.0-51.5	14.7	4.0-36.0	54.5	41.3-75.9
pH	7.26	5.67-8.19	7.55	6.56-8.74	7.37	6.28-8.40	6.82	5.38-8.08
C (g kg ⁻¹)	98.8	14.5-230.5	4.5	0.0-23.9	43.2	7.9-115.6	99.8	41.7-196.7
N (g kg ⁻¹)	8.1	2.5-16.6	1.3	0.0-5.0	4.5	1.8-8.7	8.8	5.2-13.2
CAF (g kg ⁻¹)	12.5	2.2-20.5	-	-	6.2	1.6-16.7	8.7	1.2-16.8
CAH (g kg ⁻¹)	18.5	5.4-33.6	-	-	12.1	7.7-24.7	27.9	12.3-44.9
AH/AF	1.5	1.1-2.5	-	-	3.1	1.2-6.1	5.8	1.8-10.2
PE	27.2	15.0-33.4	-	-	33.9	19.3-43.1	35.0	30.1-46.2
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	49.5	5.9-95.2	6.5	0.6-56.8	33.2	4.0-79.9	33.3	4.4-70.7
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	10.0	2.3-13.7	1.2	2.2-2.6	5.6	2.5-8.6	8.4	6.6-10.5
T (cmol kg ⁻¹)	39.8	9.8-65.9	5.6	2.3-19.6	17.7	7.0-31.8	36.1	22.4-46.6
V	98.0	81.0-100.0	76.0	40.0-100.0	97.0	87.0-100.0	90.0	72.0-100.0

\bar{X} : Valor medio.

AG: Arena gruesa; AF: Arena fina; L+A: Limo + Arcilla. C: Carbono orgánico; N: Nitrógeno.

CAF: C. de ácidos fúlvicos; CAH: C. de ácidos húmicos; AH/AF: Relación entre el C. de ácidos húmicos y de ácidos fúlvicos.

PE: porcentaje de extracción; Ca²⁺: Calcio cambiante; Mg²⁺: Magnesio cambiante.

T: Capacidad total de intercambio catiónico; V: grado de saturación.

zal, debido al tipo de vegetación (carrizales pertenecientes a la Clase *Phragmitetea*. W. KOCH 1926, BLANCO AYALA 1985) son mayores (101-230 g kg⁻¹) que en las lagunas de Cantalejo (Muña, Navahornos, Navaelsoto y Matisalvador) donde la cubierta vegetal es un pastizal (14-58 g kg⁻¹).

El humus en superficie es mull o mull-moder, aunque estos suelos tienden a presentar una estructura inestable debido a que la textura arenosa no favorece la formación de agregados, sin embargo la existencia de calcio como catión mayoritario en el complejo de cambio, el elevado grado de saturación en bases, y la naturaleza de la cubierta vegetal, pastizal, en muchos suelos, son factores que contribuyen a mantener una cierta estabilidad estructural.

El humus de horizontes órgano-minerales profundos 2Ag y 3Ag afectados por hidromorfía (pertenecientes a etapas antiguas de edafogénesis) es de tipo mull hidromorfo o mull-moder, cuyas características le asemejan al de un suelo subacuático tipo Sapropel (KUBIENA 1952).

Fraccionamiento de la materia orgánica: Del fraccionamiento de la materia orgánica (tabla 4), se deduce que los contenidos en carbono de ácidos húmicos son mayores que los de ácidos fúlvicos y las relaciones ácido húmicos/ácidos fúlvicos alcanzan valores superiores en el humus hidromorfo, horizontes 2Ag y 3Ag, que en el aerobio, horizontes A. Los porcentajes de extracción de compuestos humificados (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) son más elevados en horizontes con humus hidromorfo (30-46%) que con humus aerobio (15-33%).

Complejo de cambio: Los valores de la capacidad total de cambio (tabla 4), siguen la misma secuencia que los contenidos en carbono orgánico, siendo este componente junto con la fracción mineral fina los que influyen fundamentalmente en esta propiedad.

Son suelos saturados o con grado de saturación elevado.

Cationes extraíbles: En la extracción con acetato amónico, las cantidades de calcio cambiante presentan intervalos muy amplios, correspon-

diendo los valores más bajos en cada horizonte a suelos con pHs medianamente ácidos, por lo general la secuencia es la de los contenidos en materia orgánica.

La cantidad de magnesio extraída siempre es menor que la de calcio, catión fundamental en el complejo de cambio y en los componentes minerales de estos suelos (ALONSO ROMERA 1997). La elevada correlación existente entre el Mg cambiante y la fracción fina de los suelos ($r=0,824$, $p<0,05$) indica la posición interlamina que ocupa este catión en los minerales de la arcilla.

Se han establecido las correlaciones entre parámetros edáficos ($p<0,05$): la acumulación de materia orgánica, debido a la existencia de grupos funcionales ácidos, condiciona una disminución del pH, por lo que estos dos parámetros presentan correlación negativa ($r=-0,620$). El carbono orgánico y nitrógeno se correlacionan significativamente y positivamente con la fracción fina (limo+arcilla) ($r=0,881$ y $r=0,841$ respectivamente), lo que indica su tendencia a acumularse en texturas arcillosas, también se relacionan estos elementos con la capacidad de intercambio catiónico ($r=0,855$ y $r=0,975$) lo que pone de manifiesto la contribución de los componentes orgánicos en esta propiedad; igualmente C y N presentan coeficientes de correlación positivos y significativos con la suma de bases ($r=0,702$ y $r=0,815$). El calcio y magnesio, cationes fundamentales en el complejo adsorbente, están correlacionados ($r=0,838$ y $r=0,921$) con la capacidad de intercambio catiónica, propiedad en la que influye también la fracción fina, dada la correlación existente entre C.I.C y limo+arcilla ($r=0,877$).

Metales pesados: Los contenidos medios de Zn, Pb, Cu y Cd para horizontes A, Ag y Cg siguen la secuencia: Pb > Zn > Cu > Cd.

Pb: Horizonte 3 Ag (45 mg kg⁻¹) > Horizonte A (39 mg kg⁻¹) > Horizonte Cg (38 mg kg⁻¹)

Zn: Horizonte 3 Ag (41 mg kg⁻¹) > Horizonte A (37 mg kg⁻¹) > Horizonte Cg (25 mg kg⁻¹)

Cu: Horizonte 3 Ag (17 mg kg⁻¹) > Horizonte A (10 mg kg⁻¹) > Horizonte Cg (6 mg kg⁻¹)

Cd: Horizonte 3 Ag (2,7 mg kg⁻¹) > Horizonte A (2,2 mg kg⁻¹) > Horizonte Cg (1,7 mg kg⁻¹)

Las mayores concentraciones en estos elementos se presentan en los horizontes organo-minerales más profundos (3 Ag) situados más próximos a la capa freática y por consiguiente más afectados por hidromorfía y con mayores proporciones de materia orgánica y elementos finos (ALONSO ROMERA *et al.* 1995, 1996; ALONSO ROMERA 1997), componentes que contribuyen a la adsorción de metales pesados.

CONCLUSIONES

Los suelos de humedales tomados en la zona periférica de protección de las lagunas presentan una capa freática que sufre oscilaciones estacionales. Son suelos Gley, poco evolucionados, de desarrollo A, Cg, formados a partir de arenas cuarzo-feldespáticas. Presentan una anisotropía morfológica muy marcada, poniéndose de manifiesto más de un *sequum* hasta el nivel freático, consecuencia de las diferentes etapas sedimentarias y edafogenéticas que han tenido lugar.

Las aguas freáticas poco profundas que inundan los perfiles con flujo más o menos rápido tienen por lo general valores de pH próximos a la neutralidad y son muy reductoras.

Los parámetros edáficos como textura, pH, materia orgánica y las propiedades relacionadas con ellos, se caracterizan por una gran anisotropía al profundizar. Esta heterogeneidad y las condiciones de hidromorfía existentes, van a determinar el diferente comportamiento que presentan estos suelos frente al aporte de contaminantes. La textura arcillosa, el pH alcalino y la elevada proporción en materia orgánica contribuyen a una mayor adsorción de metales pesados. Por otra parte las condiciones reductoras pueden ejercer un gran papel en la disponibilidad de elementos contaminantes, liberándolos en parte (sobre todo los asociados a óxidos de hierro) pasando ciertos elementos a formas reducidas más solubles y tóxicas, o favoreciendo su precipitación al estado de sulfuros que al oxidarse (por descenso de la capa freática) pueden acidificar el pH, movilizándolo de nuevo los metales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALÁ DEL OLMO, L. 1974. Estudio edáfico sedimentológico de los arenales de la Cuenca del Duero. Tesis Doctoral. UCM.
- ALONSO ROMERA, E., MORENO GARCÍA, A.M. & GONZÁLEZ PARRA, J. 1995. Metales pesados en el sistema Suelo-Sedimento-Agua. *Historia Natural* 93:15-21.
- ALONSO ROMERA, E., MORENO GARCÍA, A.M. & GONZÁLEZ PARRA, J. 1996. Disponibilidad de metales pesados (Cu, Zn, Pb y Cd) en suelos y sedimentos de zonas húmedas (Segovia, España). XII Bienal. *Historia Natural*: 337-339.
- ALONSO ROMERA, E. 1997. Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia.
- ÁLVAREZ, F., CASQUET, C., FUSTER, J.M., MARTÍN PARRA, L., MARTÍNEZ-SALANOVA, J. & PINADO, M. 1987. Mapa geológico de España a escala 1:50.000. Nava de la Asunción (hoja n.º 456). Ed. Serv. Publ. Ministerio Industria y Energía.
- ÁLVAREZ, A.M., CALA, V. & GONZÁLEZ, J. 1993. El factor edáfico en humedales de Cantalejo (provincia de Segovia). *Ecología* 7:37-45.
- BLANCO AYALA, A. 1985. Estudio de la flora de las lagunas de Cantalejo. Memoria de Licenciatura. F.Biológicas U.C.M.
- B.O.C. y L. n.º 168. Decreto 194/1994, 31 agosto. 1994.

B.O.E. n.º 170. Real Decreto 1110/91, 17 julio. 1991.

ELÍAS DEL CASTILLO, F. & RUIZ BELTRÁN, L. 1977. Agroclimatología de España. INIA 7. M.º Agricultura.

FORTEZA BONNIN, J., GARCÍA RODRÍGUEZ, A., LORENZO MARTÍN, L.F. & GARCÍA RODRÍGUEZ, P. 1988. Estudio de los suelos de una zona semiárida al sur de la cuenca del río Duero. *An.Cen.Edafol.Bio.Apl.Salamanca* 13:121-141.

GARCÍA RODRÍGUEZ, P. 1986. Contribución de la mineralogía de la fracción arena al estudio de la edafogénesis en una zona semiárida de la provincia de Valladolid. *An. Edaf. Agrobiol* 45:1509-1516.

GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. & REY BENAYAS, J.M. 1992. Geochemical relationships between groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in Central Spain. *Geoderma* 55:273-288.

ISRIC. 1987. Procedure for soil analysis. Cation Exchange capacity (CEC) and exchangeable bases (ammonium acetate method), 9-1. Ed Wageningen. (2.ª ed.).

REY BENAYAS, J.M. 1991. Aguas subterráneas y ecología. Ecosistemas de descarga de acuíferos en los arenales. Ed. ICONA 139.

TEMIÑO, J. 1994. Caracterización hidrogeológica del entorno del vertedero de residuos sólidos urbanos de Cantalejo (Segovia) y su enclave de contaminación. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá.

TEMIÑO, J., GARCÍA-HIDALGO, J.F. y SEGURA, M. 1997. Caracterización y evolución geológica del sistema dunas-humedales de Cantalejo (Segovia). *Estudios Geol.* 53: 135-143.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. 1974. A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil Sci.* 63:251-254.