

Indicadores edáficos, vegetales y microbianos (ciliados colpódidos) de procesos de desertificación

Margarita Costa¹, Juan Carlos Gutiérrez², Juan Hernando³, Isabel Hernando³, Ana Martín² & Margarita Moreno¹

¹ Departamento de Biología Vegetal I, Facultad de Biología, U. C. M., 28040-Madrid.

² Departamento de Microbiología III, Facultad de Biología, U. C. M., 28040-Madrid.

³ Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, U. C. M., 28040-Madrid.

Resumen

Correspondencia

M. Costa

Tel.: 913945050

Fax: 913945034

Email: mct@bio.ucm.es

Recibido: 8 Febrero 2002

Aceptado: 13 Marzo 2002

La degradación del suelo puede desembocar en procesos de desertificación, y ello hace necesario el desarrollo de técnicas de detección precoz de estos problemas. Sobre esta base se han estudiado las características y grado de evolución del suelo en 13 parcelas de la Comunidad de Madrid, en relación con las comunidades vegetales que soportan, el grado de evolución serial de las mismas y las especies colpódidas presentes. Cabría esperar que los peores suelos portaran la vegetación más degradada a la vez que una mayor riqueza de ciliados colpódidos, así como que alguna especie vegetal y/o ciliada fueran buenas indicadoras de distintos niveles de deterioro edáfico. Los resultados obtenidos son concluyentes con respecto al aspecto de cada suelo así como de la flora y vegetación que soporta, pero no lo son en cuanto a la presencia específica o diferencial de colpódidos en los más degradados.

Palabras clave: Degradación del suelo, Desertificación, Ciliados Colpódidos, Vegetación, Bioindicadores.

Abstract

Edaphic, botanical and microbial (colpodid, ciliates) indicators for desertification processes.

Soil degradation may come into desertification processes which makes necessary the development of advanced detection technics to these problems. On this basis, characteristics and evolution degree of soil in 13 parcels in the Community of Madrid have been studied in connection to the serial evolution degree of vegetal communities and the present colpodid species. We were expecting that the worst soils have the most degraded vegetation and would also contain the greatest richness in colpodid ciliates as soon as any other vegetal or ciliated specie could be good bioindicator of different risk situations. Our final findings are unequivocal with regard to the aspect of each soil as well as the flora and vegetation which it hold, but they are not convincing in regard to the specific or differential presence of colpodids in the most degraded soils.

Key words: Soil degradation, Desertification, Colpodid Ciliates, Vegetation, Bioindicators.

Introducción

El interés por prevenir la degradación del medio ambiente es creciente desde la Conferencia de Berna (1913). Uno de los problemas más acuciantes es la rápida erosión del suelo ocasionada por actividad antrópica que puede desembocar en procesos de desertificación (Asch 1980, Imeson 1987).

Ante la necesidad urgente de desarrollar técnicas de detección temprana de estos procesos degradativos, nos planteamos la búsqueda de bioindicadores vegetales y microbianos (ciliados colpódidos). Entre los primeros, la presencia de determinadas plantas y/o comunidades vegetales pueden ser sugerentes de procesos degradativos y de los segundos, su capacidad de sobrevivir en estado quístico en los terrenos áridos (Gutiérrez et al. 1990) nos hizo pensar que su presencia exclusiva o diferencial en diferentes tipos de suelo, podría ser un potencial indicador del estado de conservación de los mismos; apuntamos que, más allá de unas pocas referencias generales (p. ej. Foissner 1994), no conocemos experiencias anteriores sobre este tema.

Se eligieron varias localidades de la Comunidad de Madrid para la toma de muestras; unas sobre sustratos básico-neutros, otras sobre sustratos «ácidos» y las últimas sobre sustratos evaporítico-salinos. Aquellas se practicaron en diferentes enclaves de cada localidad en función de una primera aproximación «a ojo» del estado de los suelos así como de las fitocenosis soportadas (arbóreas, de matorral y ruderales), a fin de relacionar la calidad de los primeros con el grado de madurez de la vegetación y con la presencia relativa de plantas singulares y/o de las especies de ciliados colpódidos en las distintas situaciones.

Desde un punto de vista fitocorológico, nuestra zona de muestreo de las parcelas básico-neutras así como de las salobres, forma parte del sector Manchego en la provincia de vegetación Castellano-Maestrazgo-Manchega; de las parcelas «ácidas», la ubicada en El Escorial sería del sector Guadarrámico de la provincia Carpetano-Ibérico-Leonesa al igual que las de Navalcarnero, si bien una y otras en pisos bioclimáticos diferentes (Rivas-Martínez 1987).

Los materiales de las zonas básico-neutra y salobre forman parte de la Cuenca Terciaria Miocena del Tajo, entre las cuñas Tajo-Tajuña y Tajuña-Henares, predominando en ellas los sustratos de calizas, calizas margosas, margas, margas yesíferas y yesos (IGME 1975, 1980, 1991). Los tipos de suelo más representativos son Leptosoles (Arganda, Chinchón, Camporeal), Regosoles (Arganda), Fluvisoles (Villar del Olmo), Calcisoles (Olmeda de las Fuentes), Luvisoles (Arganda, Olmeda de las Fuentes) y Gypsisoles (Aranjuez). En cuanto a su climatología, puede decirse que es de tipo Mediterráneo-Continental y ombroclima seco (Rivas-Martínez 1987) que, en los términos de Allué (1990), correspondería al subtipo fitoclimático Mediterráneo genuino. En estas condiciones, la vegetación potencial que le corresponde es de tipo esclerófilo mediterráneo, básicamente encinares y coscojares, con cuñas

caducifolias (saucedas, olmedas, choperas y fresnedas) en las riberas de los cursos de agua; además, ocasionalmente, en las umbrías con suelo profundo y por ello más fresco, podrían instalarse algunos quejigares (Arias Torcal et al. 1992, Casas et al. 1989, Costa Talens 1974, Izco 1972, Rivas-Martínez 1987).

El material litológico de las parcelas de Navalcarnero forma parte de la facies gruesa (Facies Madrid) de arenas arcólicas que han dado lugar, en este caso, a Arenosoles; de otro lado, los suelos de la parcela de El Escorial son Cambisoles sobre granodioritas (IGME 1980). El clima, igualmente Mediterráneo-Continental, sería de ombroclima subhúmedo en El Escorial (subtipo nemoromediterráneo de Allué, op. cit.) y seco en Navalcarnero (mediterráneo genuino para Allué, op. cit.). La vegetación potencial en la zona cercana a El Escorial sería un melojar y en el área de Navalcarnero un encinar; ambos bosques, marcescente el primero y esclerófilo mediterráneo el segundo, se verían surcados por las cuñas caducifolias propias de los márgenes fluviales.

Tales esquemas de vegetación se encuentran en realidad profundamente alterados, especialmente por la actividad antrópica que ha determinado la casi desaparición de las masas forestales en favor de cultivos, baldíos, construcciones y vías de comunicación. No obstante aún es posible encontrar enclaves con comunidades arbóreas relativamente bien conservadas, así como numerosas comunidades de matorral que se interpretan como etapas intermedias de las series sucesionales correspondientes, hasta los pastizales, densos o ralos.

Finalmente se procedió a realizar un estudio integrado con los datos aportados por el trabajo botánico, el microbiológico y el edafológico.

Material y métodos

Para el estudio botánico se realizaron inventarios florísticos (que no se presentan en este trabajo para no hacerlo innecesariamente largo, pero que pueden ser solicitados a los autores) en parcelas de 100 m², siguiendo el método sigmatista (Géhu & Rivas-Martínez 1981) en orden a caracterizar cada comunidad vegetal y a proceder posteriormente al estudio comparativo de las diferentes situaciones; se anotó además, en cada caso, la cobertura de la vegetación así como su estado de vitalidad. Tanto para la nomenclatura como para la identificación de las especies vegetales se han utilizado Flora Europaea (Tutin et al. 1964-1980) y Flora Iberica (Castroviejo et al. 1986-1997).

Para el estudio microbiológico se aislaron y cultivaron los quistes de los ciliados colpódidos que contenían las muestras de la zona superficial del suelo, según los protocolos de Bamforth (1992) y/o Aescht & Foissner (1992). Se identificaron las especies mediante estudio morfológico y análisis de corticotipo (Foissner et al. 1991) para el que se aplicaron técnicas de tinción con carbonato de plata piridinado (Martín González et al. 1992) pero, a fin de obtener identificaciones más

Parcela	Localidad	Comunidad vegetal
1	Arganda del Rey, Casas de la Boca de la Zorra.	Coscojar
2	Ibídem, ibídem	Matorral de jaguarzo con esparto
3	Ibídem, ibídem	Tomillar pionero con cantueso
4	Chinchón, Arroyo de Valdelaspozas.	Matorral gipsófilo
5	Entre Arganda y Campo Real.	Romeral con coscoja y esparto
6	Villar del Olmo a Olmeda de las Fuentes, valle fluvial	Matorral bajo de espliego y aulaga
7	Salida de Olmeda de las Fuentes hacia Pezuela de las Torres	Tomillar con pastizal muy desarrollado
8	Olmeda de las Fuentes, frente al pueblo	Quejigar
9	De Navalcarnero a Villamanta, carret. M-507 (Km 3)	Jaral de jara pringosa
9'	Ibídem.	Cantuesar
10	El Escorial. Silla de Felipe II	Melojar
11	Ontígola, Aranjuez	Matorral halonitrófilo de <i>Salsola</i> .
11'	Ibídem.	Vegetación prácticamente inexistente

Tabla 1. Localización de las parcelas de muestreo y comunidades vegetales que soportan.

Table 1. Location of sample parcels and vegetal communities which they support.

Variable / parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9'	10	11	11'
Exposición	NE	S	E	N	NE	O	E	N	SE	NO	SE	SO	SO
% pendiente	20	20	20-30	20	25	30	20	50	5	10	10	20	20
% cobertura	90	100	30	50	60	80	90	80	70	60	100	80	10
Altura media de la vegetación	1,5- 2 m	1 m	60 cm	30-50 cm	70 cm	50 cm	30 cm	4 m** 50 cm*	1 m	40 cm	7 m** 70 cm*	60 cm	—

Tabla 2. Algunas de las variables abióticas y bióticas anotadas para cada parcela. * = matas; ** = árboles.

Table 2. Some abiotic and biotic variables annotated for each parcel. * = shrubs; ** = trees.

fiables (la plasticidad fenotípica de estos ciliados es muy grande) se aplicaron también técnicas moleculares: sondas de ADN_r 18S sobre los cariotipos obtenidos mediante electroforesis de campo pulsado (CHEF) y estudios de polimorfismos genómicos (RAPDs) (Malpartida & al. 1995); una y otra mostraron su capacidad para la identificación específica a la vez que la baja variabilidad genética intraespecífica de los colpódidos analizados.

En las muestras de la superficie del suelo, para cada uno de los enclaves, se realizó la determinación de pH; % de Carbonato cálcico equivalente y activo; % de Carbono, Nitrógeno y materia orgánica, así como el análisis granulométrico (ISRIC 1993). La fracción arcilla se identificó mediante difracción de rayos X en agregados orientados, calcinados a 550 °C y solvatados con etilenglicol, mediante un difractómetro Philips modelo 1710 de radiación K_α de Cu.

La ubicación de las parcelas de inventario botánico, que fueron las mismas en las que se practicaron las muestras de superficie del suelo, se detalla en la Tabla 1 así como la comunidad vegetal que crecía en cada una.

Resultados y discusión

Estudio botánico

En la Tabla 2 se resumen las variables abióticas (exposición, pendiente) y bióticas (% de cobertura media de la vegetación, altura media de la misma) correspondientes a cada una de las parcelas inventariadas. La caracterización fitosociológica de las comunidades vegetales de cada parcela se anota en Tabla 3 a la vez que un diagnóstico de sus correspondientes estados de conservación.

Con la excepción de los fragmentos de coscojar, quejigar-encinar y melojar, todas las demás comunidades vegetales corresponden a las series de degradación de estos bosques. Su sola presencia ya es indicadora de la alteración sufrida por la vegetación mediante la actividad antrópica. La erosión del suelo que las soporta se verá facilitada por la ausencia de formaciones arbóreas pero será mayor o menor en función de la pendiente, pluviosidad y escorrentía y de la cobertura vegetal (a veces muy alta) proporcionada por algunos de los matorrales y pastizales de sustitución estudiados; la composición flo-

Parcela	Tipo de comunidad vegetal y estado de conservación de la misma
1	Rodal denso de coscojar, con matorral degradado de Lino-Salvietum Riv. God. & Riv. Mart. 1969 y espartal en el llano. Comunidad que se puede identificar como Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae. Br. Bl. & O. Bolòs 1957. Buen estado de conservación, cobertura del 90 %, pero extensión limitadísima, ocupando sólo las pequeñas superficies donde no ha sido posible el cultivo.
2	Comunidad poco evolucionada que ocupa terrenos de cultivo abandonados. Se trata de un espartal en estado incipiente que puede caracterizarse como una facies inicial de Arrhenathero albi-Stipetum tenacissimi. Riv. Mart. in Izco 1969; la cobertura de vegetación, prácticamente del 100 %, se debe al desarrollo del pastizal pese a que éste se encuentra muy afectado por el pastoreo. La presencia de esparto es un buen indicador de termicidad en la Comunidad de Madrid, apareciendo en las orientaciones más soleadas. Llama la atención la relativa abundancia de <i>Hyparrhenia hirta</i> .
3	Corresponde a una facies de tomillar colonizador (con cobertura no superior al 30 %) de un espacio muy afectado por las obras viarias. Sobre suelo básico aunque surcado por canto rodado silíceo, característico en esta zona de la Comunidad, lo que conlleva la presencia de cantueso. Se trata de un estado incipiente de una variante (con cantueso) de Lino-Salvietum lavandulifoliae Riv. God & Riv. Mart. 1969.
4	Tomillar gipsícola ralo y aclarado (no más del 50 % de cobertura); muy alterado por efecto del pastoreo. La composición florística permite identificarlo como una comunidad termófila y xerófila de Herniario fruticosae-Teucrietum pumili Riv. Mart. & Costa 1970, típica colonizadora de suelos alterados con presencia de yeso.
5	Comunidad típica de Lino-Salvietum Riv. God. & Riv. Mart. 1969 con esparto, muy pastoreada y con cobertura vegetal del 60 %. Corresponde a la serie dinámica del coscojar y encinar.
6	Comunidades muy bien constituidas de Lino-Salvietum lavandulifoliae Riv. God. & Riv. Mart. 1969 que cubren hasta el 80 % del suelo. Etapa característica y muy bien representada de la serie dinámica del coscojar - encinar.
7	Tomillar correspondiente a una facies muy alterada por pastoreo de las comunidades de <i>Lino-Salvietum</i> Riv. God. & Riv. Mart. 1969. La cobertura vegetal, muy alta (c. 90 %) se debe fundamentalmente al pasto.
8	Fragmento bastante alterado de bosque mixto (quejigo-encina) característico de la comarca alcarreña. Adscribible a comunidades de Cephalanthero rubrae-Quercetum fagineae Riv. Mart. in Riv. God. & al. 1960. En ladera con exposición N y fuerte pendiente (c. 50 %), presenta buena cobertura (c. 80 %) debida sobre todo a árboles y matas.
9	Retazo de jaral muy alterado, entre zonas de cultivo de vid, cereal y barbechos, que se puede asimilar a la asociación Rosmarino-Cistetum ladaniferi Riv. Mart. 1968, con abundantes claros (cobertura de c. 60 %) ocupados por musgos y líquenes.
9'	Cantuesar correspondiente a la degradación de los jarales (Rosmarino-Cistetum ladaniferi Riv. Mart. 1968) que, como en el caso anterior, es un pequeño retazo ubicado entre zonas de cultivo, y que presenta indicios de estar pastoreado; su cobertura (superior al 70 % en este caso) tiene que ver con la mayor abundancia de pasto.
10	Melajar relativamente denso con árboles bien desarrollados, ligero desarrollo del estrato arbustivo y también densa cobertura herbácea (100 % de cobertura vegetal); se encuentra en buen estado de conservación. La comunidad se puede identificar como de la asociación Luzulo-Quercetum pyrenaicae Rivas Martínez 1962.
11	Matorral casi monoespecífico de <i>Salsola vermiculata</i> (Artemisio-Frankenietum thymifoliae Riv. Mart. & Izco in Izco 1972) que coloniza típicamente zonas bajas y poco pendientes de los cerros yesíferos en torno a la laguna de Ontígola. Fuertemente nitrificado por pastoreo y acúmulo de materiales procedentes de escorrentía y erosión de ladera. Cobertura vegetal cercana al 80 %.
11'	Matorral gipsícola como el anterior pero prácticamente inexistente.

Tabla 3. Diagnóstico del estado de conservación de las comunidades vegetales en las áreas estudiadas.

Table 3. Diagnosis on the vegetal communities status of preservation on the studied areas.

Especie / parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9'	10	11	11'
<i>Colpoda maupasi</i>	+	+							+				
<i>Colpoda cucullus</i>	+	+						+	+	+			
<i>Colpoda steinii</i>	+	+		+	+	+	+	+			+		
<i>Colpoda inflata</i>		+			+			+					
<i>Colpoda minima</i>									+				
<i>Cyrtolophosis</i> sp.							+						

Tabla 4. Especies de ciliados colpódidos presentes en las diferentes muestras de suelo. No se hallaron en las parcelas 3, 11 y 11'.
Table 4. Species of colpoid ciliates present on the different soil samples. Any of them was found on parcels 3, 11 and 11'.

rística de los mismos está dominada por elementos termófilos o xerothermófilos.

Cabe señalar la presencia de *Hypparrhenia hirta* (en la parcela 2, con exposición S) que, siendo planta típica del piso termomediterráneo peninsular, en los últimos años parece estar ampliando su distribución hacia el interior del país, en áreas mesomediterráneas; su incorporación (que parece reciente) a la flora matritense puede estar indicando un incremento de la termicidad pero no necesariamente una degradación edáfica: un suelo sometido a calentamiento progresivo terminará por desertificarse sólo si el ambiente es además prolongadamente seco y, en todo caso, requerirá un dilatado periodo de tiempo.

Estudio ciliatológico

Las especies identificadas de colpódidos y su distribución en las distintas parcelas, se presentan en la Tabla 4.

En la parcela de Villar del Olmo (nº 6) no se encontró protozoo alguno salvo *Colpoda steinii* mientras que en el resto de las parcelas las especies colpódidas podían estar acompañadas por ciliados hipotricos o por algunos flagelados. La ausencia de colpódidos en las parcelas 11 y 11' (yesos de Ontígola) pone de manifiesto que los sustratos salobres no son aptos para aquellos ciliados aunque pueden ser colonizados por hipotricos o por algún flagelado. Únicamente *Colpoda steinii* parece tolerante a trazas de yeso, como lo demuestra su presencia en la parcela 4.

No encontramos, sin embargo, explicación para la deserción de los colpódidos en la parcela 3, que tampoco contenía ningún otro tipo protozoario, ya que el grado de alteración de su suelo y vegetación son comparables a los de otras parcelas en las que sí aparecieron.

No parece haber especies colpódidas exclusivas de sustratos básicos (parcelas 1 a 8) ni de los ácidos (parcelas 9 a 10) residiendo la mitad de ellas indistintamente en unos y en otros. *Colpoda inflata* no fué hallada en los suelos ácidos pero su presencia en sólo tres (de las ocho) muestras básicas se nos antoja argumento escaso para poder afirmar su basifilia; lo mismo cabe decir de *Colpoda minima*, presente únicamente

en una (de las tres) muestras ácidas, y de *Cyrtolophosis* sp. que apareció sólo en una de las muestras básicas.

Colpoda steinii fué la especie más ubicua, apareciendo tanto en los mejores como en los peores suelos y con las comunidades vegetales menos y más degradadas; como ya se ha comentado fué la única capaz de tolerar trazas de yeso. Todo ello habla en favor de su condición relativamente eurioica y, por tanto, de su nulo valor como indicadora de particulares situaciones de riesgo. Las otras especies tampoco mostraron especial fidelidad a los sustratos más degradados ni a las comunidades vegetales más ralas, por lo que tampoco podemos considerarlas como indicadoras fiables de desertificación, al menos a la escala a la que se ha trabajado.

Los mejores suelos, portadores de las comunidades vegetales más maduras o mejor constituidas, presentaban entre una y tres especies colpódidas, el mismo número que los «peores», si exceptuamos los que no contenían ninguna o el regosol de Arganda que contenía cuatro. Este último dato parecería indicar una mayor concentración de especies colpódidas en los suelos degradados pero la diferencia, con respecto a las halladas en suelos «mejores», es muy escasa y además no hemos encontrado el mismo número en otros suelos igualmente erosionables y con el mismo o mayor nivel de degradación como, por ejemplo, el leptosol gypico (parcela 4) o el arenosol háplico (parcela 9') portadores ambos de una sola especie colpódida.

Estudio edafológico

Las variables medidas en las muestras de la superficie del suelo, tomadas en las diferentes parcelas, se presentan en las Tablas 5 y 6.

Los valores de pH obtenidos coincidieron con lo esperado en cada caso. El ambiente carbonatado dominante del área en que se ubican las parcelas 1 a 8 queda reflejado en los valores neutro-básicos de su pH, ligados en general al contenido en carbonato cálcico (equivalente y activo); los suelos de las parcelas 2 y 3, descarbonatados, conservan sin embargo el pH característico de la región debido a la saturación en

Sustratos	neutro-básicos.							ácido/granodioritas				salobres	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9'	10	11	11'
pH	7,1	7	7,5	7	6,7	7	7	7	6,71	6,36	6,35	7,7	7,7
% CO ₃ Ca total	4,25	-	-	40	65	70	45	60	-	-	-	17,5	17,5
% CO ₃ Ca activo	-	-	-	14,11	7,44	9	6	9,60	-	-	-	**	**
% N	0,44	0,27	0,19	0,93	0,22	0,19	0,30	0,37	0,2	0,16	0,91	0,31	0,08
% C	5,85	4,29	2,95	6,04	5,14	1,48	4,71	5,13	4,08	2,17	11,01	4,53	0,83
C/N	13,3	15,8	15,5	6,49	23,36	7,79	15,7	13,86	20,4	13,56	12,09	14,6	10,3
% mat.org.	10,05	7,37	5,03	10,40	8,83	2,55	8,09	8,83	7,02	3,74	18,93	7,79	1,42
% Arena	38	76	59	14	61,44	45,28	81,28	29,28	64	64	58	*	*
% Limo	45,3	13,44	19,80	75,3	10,72	20	5,28	58,91	9,90	8,00	14,60	*	*
% arcilla	16,7	10,50	21,20	10,7	27,84	34,72	13,44	11,81	26,10	28	27,40	*	*
Conductiv. dS. m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,962	1,962

Tabla 5. Propiedades químicas y físicas de la superficie del suelo. * No se puede fraccionar. ** No se obtuvo.
Table 5. Chemical and physical properties on soil surface: * Could not be fractioned. ** Do not obtained.

Minerales/ parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9'	10	11	11'
Cuarzo	++++	++++	++++	+++	++	+	++	+	++	++	++++	*	*
Calcita	t	t	-	++++	++++	++++	++++	-	-	-	-	*	*
Dolomita	t	-	t	t	-	+	-	++++	-	-	-	*	*
Yeso	-	-	-	t	-	-	-	-	-	-	-	*	*
Sepiolita	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*
Palygoskita	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*
Caolinita	t	t	+	t	t	t	+	t	+	++	++	*	*
Vermiculita	t	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	*	*
Feldespato	t	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*
Micas-ilitas	t	t	+	-	-	+	+	+	++	+++	++++	*	*
Micas Ilitas - Esmectitas	-	-	-	-	-	-	-	-	++++	++++	+	*	*
Plagioclasas	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	++	*	*

Tabla 6. Minerales de la fracción arcilla (tamaño < 2 µm). -: No existe; t: Trazas; +: Presencia; ++: Común; +++: Abundante; ++++: Muy abundante; *: En las parcelas 11 y 11' no se pudieron extraer ni identificar los minerales de arcilla debido al exceso de yeso.
Table 6. Minerals from the clay fraction (size < 2 µm). -: Not existing; t: Traze; +: Presence; ++: Common; +++: Plentiful; ++++: Very plentiful; *: In parcel 11 and 11' clay minerals could not be extracted or identified due to a plaster excess.

Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ del complejo adsorbente, procedente del aporte de materiales desde las áreas carbonatadas colindantes. Los suelos salobres dan pH ligeramente básico, siendo los únicos en los que fué relevante la conductividad eléctrica. Finalmente, los suelos «ácidos» presentaron los valores menores.

Las diferencias halladas en los porcentajes de CO₃Ca están en relación con los diferentes procesos de descarbonatación o de recarbonatación secundaria ocurridos en cada uno

de los suelos. Así, por ejemplo, el suelo de la parcela 2 corresponde a una terraza muy antigua, muy filtrante y se encuentra por ello descarbonatado y tampoco parece haber habido recarbonatación superficial en el luvisol de la parcela 3; buena recarbonatación superficial presentan, por el contrario, los suelos de las parcelas 7 y 8. En las parcelas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 el contenido en CO₃Ca activo está ligado a la abundancia de calcita en la fracción arcilla y, en la parcela 8, a la abundancia de dolomita.

Parcela	Unidades de suelo	Estado de conservación
1	Leptosol réndrico	Se trata de un suelo convenientemente estable.
2	Regosol éútrico	Suelo no muy evolucionado, ubicado sobre una terraza, que se mantiene estable pero que, en las zonas de pendiente, se erosiona con facilidad.
3	Luvisol crómico	Suelo antiguo, estable, con la parte superior erosionada y presencia de canto rodado de arrastre.
4	Leptosol gypsirico	Suelo con horizonte superficial bien estructurado; buen suelo si se lo compara con los del conjunto de la zona. Pero muy erosionable por contener yesos solubles
5	Leptosol réndrico	Se trata de un suelo convenientemente estable.
6	Fluvisol calcárico	Suelo que se mantiene muy estable, pese a su gran pendiente, gracias a las raíces profundas de las comunidades vegetales que lo sujetan.
7	Luvisol crómico	suelo antiguo estable por su composición pese al pisoteo.
8	Calcisol háplico	Fuerte pendiente, inestable, materiales blandos, degradable. Se mantiene gracias a su buena proporción de fracciones finas y al bosque que soporta.
9	Arenosol háplico	Suelo inestable mantenido por el matorral y por la ausencia de pendiente
9'	Arenosol háplico	Idem pero en peor estado que el anterior.
10	Cambisol dístrico	Buen suelo.
11	Gypsisol cálcico	Suelo alterado, materiales solubles.
11'	Gypsisol cálcico	Idem pero en peor estado que el anterior

Tabla 7. Tipo de las unidades de suelo de cada parcela y estado de conservación de los mismos.
Table 7. Class of the soil units in each parcel and their preservation status.

Los valores de la razón C/N, obtenidos sólo de la zona más superficial del suelo y no del horizonte superior completo, poco nos pueden decir de las condiciones de humificación.

El porcentaje de materia orgánica, para tratarse de la zona más superficial del suelo, resultó bajo en general: las cifras mayores suelen coincidir con las mayores coberturas de vegetación, y las menores con las comunidades más ralas o menos densas. La escasez de materia orgánica influye de forma directa en la deficiente estructuración de los horizontes superficiales, lo cual facilitaría los procesos erosivos; sin embargo el aporte continuo de Ca^{++} y Mg^{++} en las áreas carbonatadas puede facilitar, siempre que la fracción arcilla sea suficiente, la estructuración de los horizontes aludidos. Con respecto a la granulometría se comprueba que en las parcelas neutro-básicas se acumulan fracciones finas, posiblemente de origen eólico o fluvial, con la excepción de la parcela 7 en que la cantidad acumulada de arena superficial es debida precisamente a la pérdida de tales elementos finos. Las parcelas de Navalcarnero (9 y 9') abundan también en fracciones finas cuya procedencia más probable ha de ser los aportes desde zonas aledañas. La granulometría de la parcela ubicada en el melojar se corresponde bastante bien con el tipo de suelo.

Acerca de los minerales de la fracción arcilla se comprueba que en los arenosoles (arenas arcósicas de la Facies Madrid) y en el cambisol formado a partir de rocas granitoides, predominan los minerales laminares (ilitas, caolinitas y puntualmente, interstraficado, ilita-esmaclita) junto a los no laminares (cuarzo y feldspatos). Por el contrario, en los suelos carbonatados (parcelas 4 a 8) hay un predominio de calcita o dolomita correlativo a la ausencia virtual de minerales laminares. Las parcelas 1 a 3 (ubicadas en zonas aterrazadas del río Tajuña) con igual escasez de minerales laminares presentaron, una clara dominancia de cuarzo (material de arrastre), en la 1 asociado con sepiolita y plagyoskita.

En la Tabla 7 se caracterizan las unidades de suelo para cada una de las parcelas así como el estado de conservación (o grado de deterioro) en que se encuentran.

Conclusiones

En general, los suelos de la región básico-neutra y salobre son de poca evolución y desarrollo (leptosoles, regosoles y fluvisoles) salvo en las parcelas 3 y 7 donde hay suelos antiguos,

más desarrollados (luvisoles) originados en periodos de mayor pluviosidad. De todos ellos los más fácilmente degradables parecen ser los gypsisoles debido a la naturaleza soluble de sus componentes unido a que no soportan un tapiz tupido; la erosionabilidad de los demás dependería más de su pendiente así como del grado de alteración de la cubierta vegetal que los cubre. Poco evolucionados y fácilmente erosionables son también los arenosoles en contraste con el cambisol de El Escorial que es un buen suelo.

Todos se encuentran alterados, más o menos, pero los de mejor estructura son los que portan comunidades vegetales arbóreas. En algún caso la degradación de los suelos corre pareja con la de la vegetación; tal ocurre con los arenosoles: algo menos inestable el de la parcela 9 que el de la 9', gracias a que su jaral lo sujeta mejor que el cantuesar de la otra; lo mismo cabe decir de los gypsisoles: más erosionado el de 11' que apenas soporta vegetación y un poco menos el de 11 gracias a la cobertura y agarre del matorral halonitrófilo.

La importancia de la vegetación en la permanencia del suelo se pone de manifiesto en las parcelas 2, 6 y 8: en la primera, la alta cobertura del jaguarzal-espartal mantiene la estabilidad del suelo y, en las segundas, precisamente las de mayor pendiente, ocurre lo mismo gracias al agarre de los esplegares-aulagares o del bosque mixto.

El suelo de la parcela 3, pese a su erosión superficial, es relativamente estable y podría portar una comunidad vegetal más madura que el tomillar-cantuesar pionero que lo cubre; esta comunidad se ha instalado recientemente en las zonas alteradas por las obras viarias. De la misma manera, otros suelos (parcelas 4, 5, 7) se mantienen aún estables (en pendientes no pronunciadas) pese al pisoteo y a la degradación de la vegetación que los cubre dependientes del (a veces excesivo) pastoreo.

Puede haber correspondencia entre el grado de deterioro del suelo y el de la vegetación que soporta, en aquellos casos en que la alteración de uno y otra es antigua; por el contrario, puede no haberla si la vegetación ha sido degradada más recientemente, ya que la resistencia al cambio de un suelo es mucho mayor que la de una comunidad vegetal.

No hemos encontrado correlación entre la presencia de especies (o conjuntos de ellas) de ciliados colpódidos y los grados de deterioro de los suelos o de las comunidades vegetales acompañantes, al menos a la escala trabajada.

La situación de riesgo de un suelo es función de su propia estructura y composición pero sobre todo de factores externos como pendiente, pluviosidad, escorrentía y desaparición de la cubierta vegetal.

Referencias

- Aesch E & Foissner W. 1992. Effects of mineral and organic fertilizers on the microfauna in a high altitude afforestation trial. *Biology and Fertility of Soils* 13: 17-24.
- Allué Andrade JC. 1990. Atlas fitoclimático de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. INIA, Colección Monografías, Número 69.
- Arias Torcal J, Carrera Bravo T, Fernández García L & Gutiérrez Plaza F. 1992. Mapa de la vegetación de la dehesa El Carrascal de Arganda del Rey (Madrid). In *Historia Natural* 91 (Alemany A, ed.). Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears, 1: 79-89.
- Asch ThWJ. 1980. Water erosion on slopes and Landsliding in a Mediterranean Landscape. *Utrechtse Geografische Stuur* 20. Utrecht: University of Utrecht.
- Bamforth SS. 1992. The role of protozoa in litters and soil. *Journal of Protozoology* 32: 404-409.
- Casas I, Díaz R, Echevarría JE & Gavilán R. 1989. Datos sobre la vegetación de Morata de Tajuña (Madrid, España). *Lazaroa* 11: 61-76.
- Castroviejo S, Laínz M, López González G, Montserrat P, Muñoz Garmendía F, Paiva J & Villar L (eds.). 1986, 1990. *Flora Ibérica*, I-II. Madrid: Real Jardín Botánico. CSIC.
- Castroviejo S, Aedo C, Cirujano S, Laínz M, Montserrat P, Morales R, Muñoz Garmendía F, Navarro C, Paiva J & Soriano C (eds.). 1993. *Flora Ibérica*, III. Madrid: Real Jardín Botánico. CSIC.
- Castroviejo S, Aedo C, Gómez Campo C, Laínz M, Montserrat P, Morales R, Muñoz Garmendía F, Nieto Feliner G, Rico E, Talavera S & Villar L (eds.). 1993. *Flora Ibérica*, IV. Madrid: Real Jardín Botánico. CSIC.
- Castroviejo S, Aedo C, Laínz M, Morales R, Muñoz Garmendía F, Nieto Feliner G & Paiva J (eds.). 1997. *Flora Ibérica*, V. Madrid: Real Jardín Botánico. CSIC.
- Castroviejo S, Aedo C, Benedí C, Laínz M, Muñoz Garmendía F, Nieto Feliner G & Paiva J (eds.). 1997. *Flora Ibérica*, VIII. Madrid: Real Jardín Botánico. CSIC.
- Costa Taléns M. 1974. Estudio fitosociológico de los matorrales de la provincia de Madrid. *Anales del Instituto Botánico A.J. Cavanilles* 31(1): 225-315.
- Foissner W. 1994. Soil Protozoa as bioindicators in Ecosystems under Human Influence. In *Soil Protozoa* (Darbyshire JF. ed.). United Kingdom: CAB International, pp. 147-195.
- Foissner W, Blatterer H, Berger H & Kohmann F. 1991. *Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems. Band I: Cytrophorida, Oligotrichida, Hypotrichida, Colpodea*. Bayer. Munich: Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Géhu JM & Rivas-Martínez S. 1981. Notions fondamentales de phytosociologie (syntaxonomie). *Berichte der International Symposium der International Verlag Vegetatio*. Vaduz: J Cramer.
- Gutiérrez JC, Martín González A & Matsusaka T. 1990. Towards a generalized model of encystment (cryptobiosis) in ciliates: A review and a hypothesis. *BioSystems* 24: 17-24.

- IGME. 1975. Mapa Geológico de España 1: 50.000. Arganda nº 583. Madrid.
- IGME. 1980. Mapa Geológico de España 1: 200.000. Madrid nº 45. Madrid.
- IGME. 1991. Mapa Geológico de España 1: 50.000. Alcalá de Henares nº 560. Madrid.
- Imeson AC. 1987. Soil erosion and the conservation. In Human activity and Environmental Processes (Gregory KJ & Walling DE, eds.). John Wiley and Sons Ltd., pp. 329-337.
- ISRIC. 1993. Procedures for soil analysis. 4º ed. Wageningen: International Soil Reference and Information Center.
- Izco Sevillano J. 1972. Coscojares, romerales y tomillares de la provincia de Madrid. Anales del Instituto Botánico A.J. Cavanilles 29: 69-108.
- Malpartida JM, Martín González A & Gutiérrez JC. 1995. Comparison of PCR fingerprinting (RAPD method) and phylogenetic analysis of European, African and American colpodid species. Second European Congress of Protistology and Eight European Conference on Ciliate Biology. Clermont-Ferrand, Francia.
- Martín González A, Benítez L & Gutiérrez JC. 1992. Ultrastructural analysis of resting cysts and encystment in *Colpoda inflata* II: Encystment process and a review of ciliate resting cyst classification. *Cytobios* 72: 93-106.
- Rivas-Martínez S. 1987. Memoria y mapas de las series de vegetación de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación. ICONA. Serie Técnica.
- Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Valentine DH, Walters SM & Webb DA (eds.). 1964-1980. *Flora Europaea*, I-V. Cambridge: Cambridge University Press.