

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN AUTÓCTONA DE UN SUELO DEGRADADO TRATADO CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

GABRIELA CUEVAS¹, SUSANA GARCÍA¹, ROSA CALVO² E INGRID WALTER¹

RESUMEN

En un suelo degradado del Sudeste de la Comunidad de Madrid se ha realizado un estudio sobre el efecto que tienen la aplicación, en superficie, de diferentes dosis de residuos orgánicos urbanos en el desarrollo de la flora espontánea, a partir del año de la aplicación de los mismos. Se han realizado tres muestreos florísticos en las diferentes estaciones del año, marzo, mayo y septiembre; inventariando presencia, ausencia y cobertura de las diferentes especies que de forma natural se han desarrollado según los tratamientos realizados.

Los resultados obtenidos nos indican que la aplicación de los residuos, en general, produce un mayor desarrollo de las especies anuales frente a las perennes. El número de especies disminuye a medida que aumentan las dosis de los residuos aplicados. Esto se debe, en gran medida, a la competencia por los nutrientes. Los dendogramas obtenidos señalan niveles sucesivos de agrupamientos donde especies características nos definen grupos de parcelas, que coinciden con los tratamientos aplicados. Esto se confirma también con el análisis discriminante por pasos, donde se obtienen tres grupos diferenciados que corresponden a los tratamientos aplicados (control, biosólido y residuo sólido urbano) con una reclasificación del 90,6%.

Palabras clave: biosólidos, residuos sólidos urbanos, especies autóctonas, dendogramas, análisis discriminatorio.

SUMMARY

Urban organic wastes (biosolid and municipal organic wastes) were applied at different rates to the surface of a degraded soil, sited in Southeast Madrid Autonomous Region, to determine their effects on native plant species and their percent canopy cover at 12, 14 and 18 months after the wastes application.

The results obtained show that there were, in general, more annual than perennial species when wastes were applied. Species number decreased with increasing waste rates, due, mostly, to competition for nutrients. The dendograms obtained grouped the different species according to the treatments applied. This has been confirmed with a stepwise discriminant analysis which shows three types of response to the treatments applied (control, biosolid and municipal solid waste) with a 90.6 % as reclassification.

Key words: Biosolid, municipal organic wastes, native plant species, dendogram, stepwise discriminant analysis.

¹ Departamento Uso Sostenible del Medio Natural. INIA. Carretera de la Coruña, km. 7,2. 28040 Madrid.

² Servicio de Biometría. INIA. Carretera de la Coruña km. 7,2. 28040 Madrid.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales de mayor repercusión a escala mundial se encuentra la degradación de los suelos. Existen varios procesos de degradación del suelo que contribuyen a la pérdida de su capacidad productiva. En España tiene especial relevancia este problema, sobre todo en los ambientes mediterráneos. El principal tipo de degradación en esta región corresponde a la erosión hídrica a causa de la reducción de la cobertura vegetal. El problema de la pérdida de vegetación se ve agravado por las condiciones orogénicas y climáticas.

Para que se pueda dar una buena recolonización es necesario que el suelo presente condiciones óptimas para el desarrollo de la vegetación. En las primeras etapas aparecen una serie de especies vegetales cuya función principal es acondicionar el suelo para que puedan desarrollarse posteriormente otras, sustituyéndose unas a otras según se va recuperando la zona, facilitándose el establecimiento de una comunidad vegetal. Se ha visto que, en ecosistemas de tipo árido y semiárido, la actividad de los microorganismos del suelo está limitada principalmente por la poca disponibilidad de materia orgánica y de agua, (WHITFORD *et al.* 1989). Por tanto, el aporte de un material orgánico rico en nutrientes puede ser propicio para aumentar la fertilidad de los suelos y en consecuencia que se desarrolle una cubierta vegetal capaz de protegerlos.

Los residuos orgánicos urbanos, los biosólidos (lodos procedentes de la depuración de las aguas residuales) y los residuos sólidos urbanos (fracción orgánica de las basuras domésticas compostada), con gran cantidad de materia orgánica y elementos esenciales para las plantas, son materiales idóneos para restaurar suelos degradados (WHITE *et al.* 1997). Se han realizado números estudios de los efectos de estos residuos sobre la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. (DÍAZ & POLO 1994; WALTER *et al.* 1994; AGUILAR *et al.* 1994; ALLOWAY *et al.* 1995; GARCÍA F. 1996; WHITE *et al.* 1997; LINDAY & LOGAN 1998).

Respecto a los efectos que estos residuos producen sobre la parte biótica (vegetación) diversos

estudios han demostrado que los tejidos vegetales experimentan incrementos en la concentración de macro y micronutrientes (FRESQUEZ *et al.* 1990b; SOPPER 1992; PIERCE 1994), aumento en la productividad, a corto plazo (FRESQUEZ *et al.* 1990a; LOFTIN & AGUILAR 1994), una mayor producción total de herbáceas y una disminución del número de especies debido al efecto competitivo (FRESQUEZ *et al.* 1990b). Estos últimos autores, también han observado que la densidad y diversidad de la vegetación disminuyó significativamente después de 4 años de la aplicación de biosólidos. Otros estudios nos señalan que especies herbáceas y leguminosas parecen establecerse más deprisa en suelos alterados enmendados con lodos y, una vez establecidas, muestran una mayor cobertura; también las especies arbóreas se establecen más rápido en suelos enmendados (SLOAN & ALLEN 1995). En la recuperación de áreas naturales alteradas por actividades geomineras la aplicación de biosólidos generalmente mejora el desarrollo de la vegetación. Este efecto ha sido observado por SABEY *et al.*, (1990), para vegetación arbustiva. Estos autores llegaron a la conclusión de que dosis elevadas de biosólidos (60 Mg ha⁻¹) que pueden resultar demasiado altas para enmendar suelos de cultivo para consumo humano; son idóneas para recuperar suelos degradados de canteras y establecer una cubierta vegetal.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el desarrollo de la vegetación autóctona de un suelo degradado de la Comunidad de Madrid a partir del año de la aplicación en superficie de diferentes dosis de biosólido y residuos sólidos urbanos. Para ello se determinaron las especies vegetales existentes según los tratamientos y la cobertura que ocuparon cada una de ellas en la superficie del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra ubicada en la finca denominada Gózquez de Arriba, que pertenece al término municipal de San Martín de La Vega, en el área sureste de la Comunidad de Madrid, incluida en la subcuenca del Jarama.

Las precipitaciones son en general escasas, con una media anual de 400 mm, con máximos en primavera y otoño. La temperatura presenta grandes oscilaciones a lo largo del año (-12 °C hasta 42 °C), siendo la temperatura media anual de 14,6 °C. El tipo climático es mediterráneo semiárido continental, con régimen térmico continental cálido y régimen de humedad mediterráneo semiárido según Papadakis, y clasificado por ALLUE (1990) como continental occidental semiárido. En la figura 1 se muestra el climograma para el período en que se realizó este estudio (desde marzo de 1997 hasta septiembre de 1998), donde se refleja que las condiciones climáticas, en cuanto a precipitaciones fueron especialmente favorables durante el año de estudio.

El área se encuentra enclavada dentro de la zona de margas y calizas. El suelo se clasifica según la FAO (1990) como *Leptosoles Réndisicos* (incluidos como *Litbic xerorthents* en Soil Taxonomy). Tienen un horizonte A móllico (con materia orgánica superior al 1% y saturación en bases superior al 50%), situado inmediatamente encima de material calcáreo, con un equivalente en carbonato cálcico superior al 40%; los 10 cm superficiales carecen de roca dura y de una capa continua cementada. Estos suelos presentan una evolución de baja a moderada y son muy susceptibles a la erosión. Según el mapa de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Tajo, las pérdidas de suelo son del orden de 12-25 Mg ha⁻¹ al año.

La vegetación potencial corresponde a la facción típica de la serie mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de la encina (*Bupleuro rigidiquerceto rotundifoliae sigmetum*). Las zonas de las que es característica, tienen en común un ombroclima de tipo seco y suelos ricos en carbonato cálcico. No obstante debido a su amplia extensión, muestra variaciones importantes en cuanto a su composición florística según el ámbito geográfico en estudio (RIVAS-MARTÍNEZ 1987). La vegetación real de la zona esta marcada por la explotación por parte del hombre produciendo cambios drásticos a lo largo de los años, de forma que aparecen otras unidades de vegetación. La vocación de estos territorios es, principalmente, agrícola (cereal, viñedo, olivar, etc.) y ganadera extensiva. Apa-

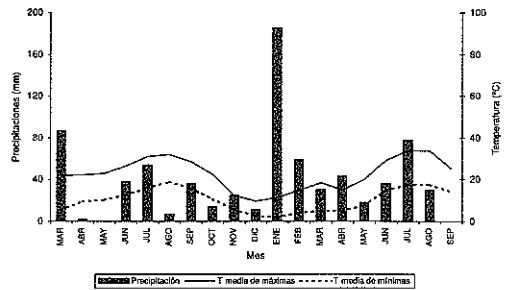


Fig. 1. Climograma del período comprendido desde la aplicación de los residuos hasta el último muestreo florístico (marzo 1997 a septiembre 1998). [(Climogramme during the period. March 1997 to september 1998).]

recen, además, masas forestales de *Pinus halepensis* (pino carrasco), que es comúnmente utilizado para realizar repoblaciones en la zona. Son numerosos los espacios en los que prácticamente no existe vegetación de tipo arbóreo y arbustivo (a excepción de algunos caméfitos de pequeño porte), lo que indica la elevada presión que se ha ejercido sobre estos terrenos y la degradación tan acusada que los caracteriza. Cabe destacar la abundancia de *Stipa tenacissima* (esparto), especie característica del pastizal de la vegetación potencial y típica en suelos con materiales yesíferos.

Específicamente, la zona donde se ha realizado este estudio se caracteriza por la presencia de una baja cobertura vegetal, siendo básicamente de tipo herbáceo (*Stipa tenacissima*, *Avena sterilis*, *Dactylis glomerata*, *Bromus tectorum*, *Papaver rhoeas*, *Anthemis arvensis*, *Eryngium campestre*, *Cirsium vulgare*, *Eruca vesicaria*, *Reseda lutea*, *Erodium malacoides*, etc.) y con la presencia de algunos caméfitos (*Thymus zygis*, *Helianthemum asperum*, *Teucrium polium* subsp. *capitatum*, *Teucrium pseudochamaepitys*, *Plantago albicans*, etc.). Entre estos últimos, destaca por su abundancia *Thymus zygis*, representante del matortal bajo abierto. En general, predominan especies de gramíneas, compuestas y labiadas. Entre la vegetación existente aparecen especies indicadoras de la provincia Castellano-maestrazgo-manchega, como son *Teucrium polium* subsp. *capitatum*, *Plantago albicans* y *Hedysarum humile*. Son numerosas, entre las observadas, las especies que suelen aparecer normalmente en

terrenos calizos, como, *Teucrium polium* subsp. *capitatum*, *Bellardia trixago*, *Phlomis lychnitis*, *Carthamus lanatus*. También, destaca la presencia de vegetación de tipo gipsófila, como *Stipa tenacissima* y *Helianthemum asperum*.

Para la consecución de los objetivos propuestos se ha delimitado una parcela situada en una ladera de un monte bajo con moderada pendiente (6-8%). Esta se dividió en cuatro bloques, situados cada uno de ellos a una altura diferente a lo largo de la ladera. Cada bloque presenta 8 parcelas de 30 m² (10 m x 3 m), lo que en total hacen 32 parcelas. Las parcelas están separadas entre sí por zanjas y pasillos (de 3 metros de ancho, entre parcelas y entre bloques) para evitar contaminaciones.

En marzo de 1997 se aplicaron en superficie los siguientes tratamientos: 0, 20, 40, 80 y 120 Mg ha⁻¹ de biosólido (B) y 40, 80 y 120 Mg ha⁻¹ de compost de residuo sólido urbano (RSU), ambos en peso seco. La distribución de las parcelas dentro de los bloques fue al azar. B procede de la planta depuradora de aguas residuales La China, (Madrid) y corresponde a un lodo de digestión anaerobia y RSU procede de la planta de tratamiento de Valdemingómez (Madrid), siendo la fracción orgánica de las basuras domésticas compostadas. Estos residuos presentan valores elevados en C orgánico, cantidades apreciables de nutrientes, especialmente N y P, y concentraciones bajas de metales pesados (BLÁZQUEZ *et al.* 1999), por lo que se consideran aptos para ser utilizados en suelos agrícolas, según el Real Decreto 1310/90, ya que no sobrepasan los límites en metales pesados establecido en la citada legislación.

Para el muestreo de la vegetación se eligió el modelo parcialmente al azar, que recoge parte de los muestreos sistemático y aleatorio, y presenta algunas ventajas de ambos (MONTES & RAMÍREZ-DÍAZ 1978). Siguiendo este modelo el área de estudio fue distribuida en partes de forma regular y en cada subdivisión el muestreo se realizó al azar, repitiéndose el mismo procedimiento para todas las parcelas. De esta forma cada punto en el área tiene una mayor probabilidad de ser muestreado (que si el muestreo fuese regular exclusivamente) y los datos son válidos para su tratamiento estadístico (pruebas de significación). El

muestreo se realizó en un cuadrado de 0.048 m² (22 cm x 22 cm; que tenían una malla reticulada, para facilitar el muestreo). Este tamaño entra en el rango empleado generalmente para herbazales y pastizales; ya que para elegir el tamaño de muestra hay que tener presente la morfología de las especies que van a ser registradas y la homogeneidad (patrón espacial de distribución) de la vegetación. En cada parcela se muestrearon 16 cuadrados y en cada uno de estos se anotaba la presencia y ausencia de la especie y el espacio que ocupaba, calculando posteriormente el porcentaje en superficie correspondiente en cada caso. Los muestreos florísticos se realizaron a los 12, 14 y 18 meses desde la aplicación de los residuos orgánicos, que corresponden con los meses de marzo, mayo y septiembre de 1998, respectivamente, reuniendo los diagramas fenológicos para las principales especies encontradas. Se colocaron estacas indicativas para muestrear las mismas superficies en cada una de las parcelas a lo largo del tiempo.

Antes de realizar el muestreo se hizo un reconocimiento de la flora del área de estudio: de las especies existentes y de su morfología (GARCÍA M. 1985; POLUNÍN 1989; RIVERA Y OBÓN 1991; BONNIER & DE LAYENS 1993; LÓPEZ 1995; GARCÍA M. 1996; GONZÁLEZ 1997). Las especies seleccionadas en cada época del año se encuentran reflejadas en la tabla 1, donde además se indican las épocas en que se han muestreado (+) o no (-) y su pertenencia a un grupo (en caso de que hubiese sido necesario agruparlas para facilitar el muestreo). Los grupos formados se han constituido, en unos casos, debido a la dificultad para reconocer las especies en estado de plántula o en las primeras etapas de su desarrollo (agrupándose especies cuyo aspecto y morfología resultaban similares en la época de muestreo). En otros casos, se han constituido agrupando especies de la misma familia (por no considerar relevante, debido a su reducida cobertura, registrarlas por separado).

Los datos de presencia-ausencia y cobertura de cada especie han sido tratados estadísticamente, mediante análisis de la varianza (ANOVA) y pruebas de la diferencia mínima significativa (LSD). Se realizó previamente la transformación

TABLA 1
PRINCIPALES ESPECIES EN LAS TRES ÉPOCAS DE MUESTREO.
[MAIN SPECIES IN THE THREE SAMPLE PERIODS]

Especies	Grupos	Marzo	Mayo	Septiembre
<i>Plantago albicans</i> L.		+	+	+
<i>Leontodon hispidus</i> L.*		+	+	+
<i>Helianthemum asperum</i> Lag. ex Dunal		+	+	+
<i>Thymus zygis</i> L.*		+	+	+
<i>Teucrium pseudochamaepitys</i> L.		+	+	+
<i>Medicago minima</i> (L.) Bartal		+	+	+
<i>Lamium amplexicaule</i> L.*		+	+	+
<i>Echium vulgare</i> L.		+	+	+
<i>Anthemis arvensis</i> L. ssp. <i>arvensis</i>		+	+	+
<i>Stipa lagascae</i> Roemer et Schult	Gramíneas 1	+	+	+
<i>Stipa tenacissima</i> L.*	Gramíneas 1	+	+	+
<i>Avena sterilis</i> L. Subesp. <i>sterilis</i> *	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Bromus madritensis</i> L.	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Bromus rubens</i> L.	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Bromus squarrosus</i> L.*	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Bromus tectorum</i> L.	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Dactylis glomerata</i> L. <i>glomerata</i> T.G. Tutin.	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Echinaria capitata</i> (L.) Desf	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Lophocla cristata</i> (L.) Hyl.*	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Taeniatherum caput-medusae</i> (L.) Nevski*	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Vulpia ciliata</i> Dumort*	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Vulpia unilateralis</i> (L.) Stace*	Gramíneas 2	+	+	+
<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav.*		+	+	+
<i>Biscutella auriculata</i> L.		-	+	+
<i>Sinapis alba</i> L.*	Crucíferas	-	+	+
<i>Sinapis arvensis</i> L.*	Crucíferas	-	+	+
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Crucíferas	-	+	+
<i>Erodium malacoides</i> (L.) L. Her.*		-	+	+
<i>Carthamus lanatus</i> L. ssp. <i>lanatus</i>	Cardos 1	-	+	+
<i>Centaurea melitensis</i> L.	Cardos 1	-	+	+
<i>Centaurea</i> sp.	Cardos 1	-	+	+
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi). Ten *	Cardos 2	-	+	+
<i>Onopordum acanthium</i> L.*	Cardos 2	-	+	+
<i>Eryngium campestre</i>	Cardos 2	-	+	+
<i>Hedysarum humile</i>	Leguminosas	-	+	+
<i>Hippocrepis comosa</i>	Leguminosas	-	+	+
<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.*	Leguminosas	-	+	+
<i>Bellardia trixago</i> (L.) All*		-	+	+
<i>Cleonia lusitanica</i> (L.) L		-	+	+
<i>Teucrium capitatum</i> (L.) Arcangeli		-	+	+
<i>Aristolochia pistolochia</i> L.		-	+	-
<i>Phomis herua-venti</i> L.	Phomis	-	+	-
<i>Phomis lychnitis</i> L.	Phomis	-	+	-
<i>Nigella arvensis</i> L.		-	+	-
<i>Reseda lutea</i> L		-	+	-
<i>Pallenis spinosa</i> (L) Cass *		-	+	-

*: indica la existencia de otros nombres para la especie.

raíz cuadrada cuando los porcentajes oscilaban entre 0 y 20% (TORRIE 1985) y la comprobación mediante un test de LEVENE. Se realizó un ANOVA multifactorial, cuyos factores fueron

tratamiento y bloque (posición de éste en la ladera de estudio), y su interacción. En los casos que hay diferencias significativas para el factor bloque, se analizó el factor tratamiento (ANOVA de

una vía) bloque a bloque, observándose que se obtienen resultados similares para cada bloque (ANOVA multifactorial); de modo que a pesar de estas pequeñas variaciones observadas, debidas a una distribución desigual de algunas especies en los bloques probablemente a causa de la variabilidad de los factores ambientales en la ladera, este estudio se centró en el factor tratamiento ya que este representa el objetivo de este trabajo.

Con los datos obtenidos se aplicó un análisis de clasificación de tipo politético, jerárquico y divisivo (HUGH & GAUCH 1984), TWINSPAN (Two-Way INDicator SPecies ANalysis; Hill, 1979), que fue diseñado, en principio, para el tratamiento de matrices de datos florísticos, clasificando simultáneamente parcelas y especies. El objetivo de esta técnica de clasificación es agrupar las observaciones en función de su homogeneidad (ABRAIRA & PÉREZ DE VARGAS 1996); la clasificación de las especies se lleva a cabo de la misma manera que la de las parcelas y basándose en ella (ESCUDERO *et al.* 1994). Mediante este análisis, se obtiene una representación gráfica en forma de fenograma (para cada muestreo). Además para el muestreo de mayo (el más representativo, por su mayor número de especies) se realizó un análisis discriminante por pasos (BMDP7M), con el propósito de caracterizar los conjuntos de grupos previamente establecidos (mejor combinación de especies que nos define nuestros grupos). Para la realización del TWINSPAN y el análisis discriminante se ha utilizado el programa BMDP Statistical Software.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se encuentran reflejados los resultados obtenidos del porcentaje ocupado en el suelo por cada especie según los diferentes tratamientos en las tres épocas de muestreo. En ella se observa que existen diferentes respuestas para las especies estudiadas según los tratamientos aplicados, como ya han observado otros autores (SABEY *et al.* 1990; FRESQUEZ *et al.*, 1990a, b; SOPPER, 1992b; FAGOT, 1993; AGUILAR *et al.*, 1994; PIERCE 1994; WHITE *et al.* 1997; PIERCE *et al.* 1998).

La presencia de biosólidos influye significativamente en un desarrollo más rápido y mayor de determinadas especies (o grupos de especies) vegetales, como son Gramíneas 1, Gramíneas 2, *Papaver rhoeas*, *Medicago minima*, *Lamium amplexicaule*, Crucíferas, Cardos y *Leontodon hispidus*, en las diferentes dosis, *Anthemis arvensis*, *Erodium malacoides* y *Echium vulgare* a dosis medias (40, 80 Mg ha⁻¹) y *Bellardia trixago* en la baja (20 Mg ha⁻¹). Todas estas corresponden a especies de crecimiento rápido que, probablemente, han presentado más éxito competitivo frente a otras, cuyo crecimiento además se ha visto disminuido significativamente por la aplicación del biosólido (en las dosis 40, 80, 120 Mg ha⁻¹), como son *Plantago albicans*, *Helianthemum asperum*, *Thymus zygis*, *Teucrium pseudochamaepitys*, *Teucrium polium* subsp. *capitatum* y Leguminosas. Tratándose, estas últimas, de especies que, debido a su forma de crecimiento aparecen más tarde que las anteriores (herbáceas perennes y caméfitos) según avanzamos en la sucesión.

La aplicación de RSU favorece significativamente la dominancia de las siguientes especies (o grupos): *Eruca vesicaria*, Crucíferas, Cardos y Gramíneas 2 en las dosis medias y altas (80, 120 Mg ha⁻¹) y *Lamium amplexicaule* y *Bellardia trixago* en la dosis baja (40 Mg ha⁻¹). Los tratamientos con dosis medias y altas de RSU y, posiblemente, la competencia de estas especies, han propiciado una disminución del desarrollo de *Helianthemum asperum*, *Thymus zygis* y Leguminosas.

Hay que recordar que la vegetación estudiada se desarrolla sobre una zona degradada, semiárida, donde los elementos esenciales escasean, de forma que la aplicación de los residuos orgánicos aporta al suelo materia orgánica y elementos esenciales para las plantas además de mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo, por lo tanto es lógico pensar que se produzca un mayor desarrollo de las especies. Las diferencias observadas se deben principalmente a la competitividad entre las especies y posiblemente debido a algunas características diferenciales de los residuos empleados.

Con la aplicación del biosólido, nutrientes como el N aparece de inmediato en forma disponible

TABLA 2
 PRINCIPALES ESPECIES Y PORCENTAJES OCUPADOS, SEGÚN TRATAMIENTOS Y MUESTREOS.
 [PERCENT CANOPY COVR BY SPECIES IN THE DIFFERENT TREATMENTS AND SAMPLE PERIODS]

Especies	Mes	TRATAMIENTOS								F
		C	B20	B40	B80	B120	RSU40	RSU80	RSU120	
<i>Plantago albican</i>	Marzo	11	13	12	3	6	13	11	9	*
	Mayo	16	17	8	2	6	16	13	15	*
	Sept.	6	4	2	1	1	10	8	6	*
<i>Leontodon</i>	Marzo	0	5	3	3	2	2	3	3	*
<i>Hipidus</i>	Mayo	4	1	1	1	0	0	1	2	ns
	Marzo	14	5	7	3	3	11	3	3	*
<i>Helianthemun</i>	Mayo	16	15	10	5	6	18	11	5	*
<i>Asperum</i>	Sept.	3	3	1	0	0	3	1	1	*
	Marzo	2	4	3	5	1	5	3	2	*
<i>Thymus zygis</i>	Mayo	10	10	7	6	0	13	8	3	*
	Sept.	13	5	3	2	0	12	6	2	*
<i>Teucrium</i>	Marzo	7	2	1	2	1	4	6	5	*
<i>Pseudo-</i>	Mayo	10	6	2	3	1	8	11	9	*
<i>Chamaecipitys</i>	Sept.	1	0	0	0	0	0	0	1	*
<i>Menicago minima</i>	Marzo	1	5	5	3	1	1	2	2	*
	Mayo	3	11	9	5	8	4	7	4	*
<i>Lanium</i>	Marzo	0	2	2	2	3	0	0	0	*
<i>Amplexicaule</i>	Mayo	0	0	0	1	0	1	0	0	*
<i>Echium vulgare</i>	Marzo	0	1	1	1	1	1	0	0	ns
	Mayo	0	0	0	0	2	0	0	2	*
	Sept.	0	2	0	0	1	1	1	1	ns
<i>Anthemis</i>	Marzo	1	3	5	4	3	1	2	1	*
	Mayo	3	2	7	8	6	1	4	4	*
<i>Arvensis</i>	Sept.	2	0	3	2	1	1	1	1	*
	Marzo	11	30	37	28	24	13	7	6	*
Gramineas 1	Mayo	8	25	17	16	12	10	8	7	*
	Sept.	0	0	0	00	1	0	1	1	*
	Maezo	3	6	15	16	14	3	4	4	*
Gramineas 2	Mato	2	12	35	48	32	5	9	8	*
	Sept.	2	11	43	57	41	2	13	10	*
<i>Eruca vesicaria</i>	Mayo	0	2	4	4	2	3	6	11	*
Crucifera	Mayo	0	3	9	8	5	1	2	1	*
	Sept.	0	5	10	3	2	4	6	11	*
<i>Papaver rhoeas</i>	Mayo	0	1	1	2	2	0	0	0	*
	Sept.	0	2	3	2	3	0	0	0	*
<i>Erodium malacoides</i>	Mayo	0	0	2	4	1	0	1	1	*
Cardos	Mayo	0	2	3	5	5	1	3	1	*
	Sept.	0	7	6	6	2	3	7	4	*
Leguminosas	Mayo	5	4	3	1	1	2	3	2	*
	Sept.	1	0	0	0	0	0	0	0	ns
Bellardia triago	Mayo	2	1	1	0	0	1	1	1	*
	Sept.	1	4	1	0	0	2	1	0	*
<i>Cleonia lusitanica</i>	Mayo	1	2	2	0	0	1	1	0	*
<i>Teucrium</i>	Mayo	1	1	3	1	0	0	2	1	ns
<i>Capitatum</i>	Sept.	4	3	1	0	0	4	3	0	*
<i>Pbomis</i>	Mayo	0	1	0	0	0	0	0	0	ns
<i>Reseda lutea</i>	Mayo	1	0	0	0	0	0	1	1	ns
<i>Pallenis spinosa</i>	Mayo	1	0	0	0	0	1	1	0	ns

*: $P \leq 0,5$; ns= no significativo

(NO₃⁻ y NH₄⁺) para las plantas, en los primeros centímetros del suelo, bajo estas condiciones, algunas plantas se encuentran en una mejor posición, por su morfología, para utilizar este nutriente frente a otras especies vegetales, que no logran competir por este recurso en la misma medida y ven mermado su desarrollo. El aporte de nutrientes por parte del RSU es más lento, respecto al del biosólido, por estar compostado. El proceso de compostaje produce una materia orgánica más estable lo que significa que el N inorgánico sea liberado más lentamente.

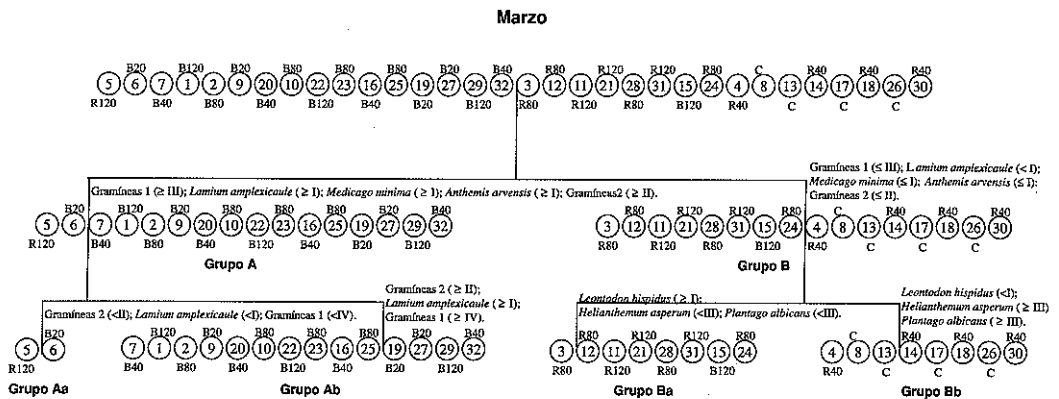
A pesar de las altas dosis de residuos aplicados, los metales pesados aportados al suelo se fijan en éste y permanecen no asimilables para las plantas, fundamentalmente por el pH básico y el gran contenido en carbonatos según ILLERA (1998). Estas consideraciones nos hacen suponer que probablemente los metales pesados aportados con los residuos no hayan tenido una influencia negativa en el crecimiento de la vegetación. O'CONNOR *et al.* (1983) consideran que en suelos calcáreos el aporte de lodos puede ser beneficioso para el desarrollo de las plantas ya que los microelementos esenciales como el Zn y Cu son muy bajos en estos suelos.

Trabajos realizados por FRESQUEZ *et al.* (1990b), demuestran un crecimiento rápido de determinadas especies vegetales cuando aplicaban 40 Mg ha⁻¹ de biosólido en suelos. Otros investigadores

observaron que la aplicación de biosólidos incrementa la producción y cobertura de herbáceas y disminuye la abundancia de caméfitos (Loftin & AGUILAR 1994); en nuestro caso, las especies anuales, generalmente, aparecen más favorecidas por los residuos que las perennes (herbáceas perennes y caméfitos).

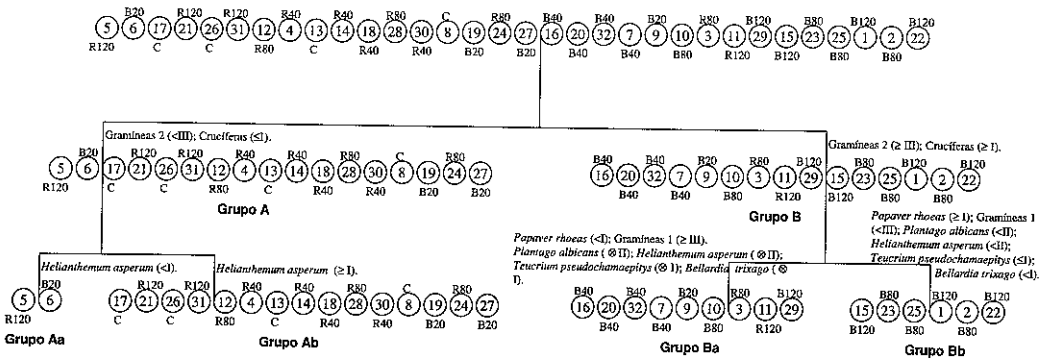
El resultado del análisis de similitud entre observaciones (TWINSPAN), para cada una de las épocas estudiadas, se han representado mediante fenogramas (figuras 1, 2 y 3) que recogen la estructura jerárquica de la biocenosis en cada caso, indicando las relaciones de similitud florística entre parcelas. Define niveles sucesivos de agrupamientos y los grupos de observaciones pueden identificarse con facilidad por la presencia en ellos de especies características de vegetación. Se han representado los grupos obtenidos en cada corte (tres primeras divisiones) y las especies indicadoras, señalando el rango de % de cobertura (I: de 0 a 1.5%; II: de 1.5 a 5.5%; III: de 5.5 a 10.5%; IV: de 10.5 a 20.5%; V: de 20.5 a 40.5% y VI: con más de 40.5%) correspondiente.

Tras el estudio de estos fenogramas se puede interpretar que la primera división nos separa las parcelas tratadas con biosólido, frente a las parcelas control y con aplicación de RSU. La segunda división, en este último grupo, nos separa las parcelas tratadas con dosis altas de



El nombre asignado a cada grupo de observaciones aparece debajo de éste. En la representación se muestran las especies indicadoras de cada grupo a ese nivel de corte.
 Fig. 2. Fenograma del mes de marzo (TWINSPAN). [March dendrogram (TWINSPAN).]

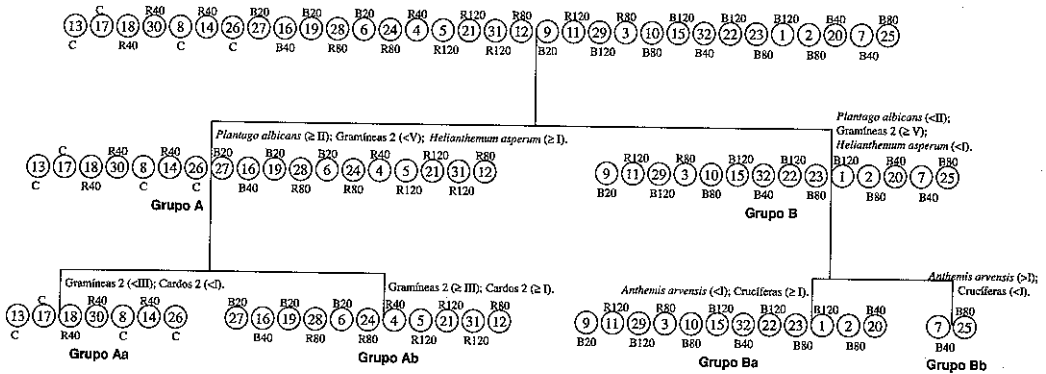
Mayo



El nombre asignado a cada grupo de observaciones aparece debajo de éste.
En la representación se muestran las especies indicadoras de cada grupo a ese nivel de corte.

Fig. 3. Fenograma del mes de mayo (TWINSPAN). [May dendrogram (TWINSPAN).]

Septiembre



El nombre asignado a cada grupo de observaciones aparece debajo de éste.
En la representación se muestran las especies indicadoras de cada grupo a ese nivel de corte.

Fig. 4. Fenograma del mes de septiembre (TWINSPAN). [September dendrogram (TWINSPAN).]

RSU frente a las bajas y control. La dosis más baja de RSU se agrupa con el control, ya que afecta muy poco a la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (BLÁZQUEZ *et al.* 1999). Con la primera separación dicotómica ya se agrupan las parcelas, en un 80%, diferenciándose por el tipo de residuo aplicado. El resultado puede considerarse muy positivo, pues los grupos de observaciones definen bien las relaciones de similitud florística

entre las parcelas, caracterizado por una apetenencia al N, que es aportado con una cantidad más elevada por el biosólido.

El análisis discriminante por pasos, nos permite conocer la mejor combinación de especies que define los grupos, previamente obtenidos en los análisis del TWINSPAN. Este estudio se llevó a cabo con los datos del muestreo de mayo, ya que se considera el más representativo.

Este tipo de análisis va eligiendo de forma secuencial las variables que mejor discriminan los grupos previamente establecidos. Se han dividido los tratamientos en tres grupos que coincidían plenamente con el objetivo principal de este estudio, y que no contradecían la clasificación obtenida por el TWINSPLAN. El grupo 1: (C) reúne a todas las parcelas que no tienen tratamiento, controles; el grupo 2: (B) corresponde a todas las parcelas con aplicación de biosólido en todas las dosis (20, 40, 80 y 120 Mg ha⁻¹) y el grupo 3: (RSU) que incluye a todas las parcelas con aplicación de residuos sólidos urbanos en todas las dosis (40, 80 y 120 Mg ha⁻¹).

Los resultados obtenidos señalan que las especies seleccionadas como variables que más contribuyen a la discriminación por orden de importancia fueron las Crucíferas (*Biscutella auriculata*, *Sinapis alba* y *Sinapis arvensis*), *Eruca vesicaria*, Gramíneas 1 (*Stipa lagascae* y *Stipa tenacissima*) y *Papaver rhoeas*. Por tanto, podríamos considerar que, en lo que respecta a este estudio, estas especies (o grupos) son las que mejor nos van a definir el tipo de tratamiento utilizado. Siendo las Crucíferas un grupo de especies que presenta un mayor desarrollo con la aplicación de ambos residuos. En los tratamientos con RSU la *Eruca vesicaria* es la que presenta un mayor desarrollo y, el grupo de las Gramíneas 1 y *Papaver rhoeas* se ven favorecidas por la presencia de biosólido.

En la tabla 3 aparecen los coeficientes de las funciones de clasificación (coeficientes de la ecuación obtenida mediante el análisis discriminante) para los tres grupos. Para los grupos 1 (C) y 3 (RSU) la reclasificación de las observaciones ha sido del 100%, para el grupo 2 (B) de 81.3% (de clasificación correcta dentro de cada grupo); siendo la reclasificación general del 90.6%.

En la figura 5 se encuentra la representación gráfica de las observaciones identificadas por el grupo al que pertenecen y el tipo de tratamiento realizado; tomando como ejes las dos primeras variables canónicas (I y II). En esta figura se observa que los tres grupos definidos están muy bien diferenciados entre sí con las especies que han sido seleccionadas. Aparece un grupo 1 constituido por las parcelas control, el grupo 2 formado por las parcelas de biosólido y el grupo 3 donde se incluyen todas las de RSU. Se destacan tres parcelas de biosólidos que se alejan de su centroide correspondiente, una de ellas se aproxima más al grupo 1, y las otras dos al grupo 3. A sí mismo, en esta figura se reflejan cuatro observaciones del grupo RSU que se alejan del centroide, y que corresponden éstas al tratamiento más alto de RSU (dosis de 120 Mg ha⁻¹).

CONCLUSIONES

En el presente estudio, como consecuencia de la aplicación en superficie de residuos orgánicos urbanos (biosólido en dosis de 20, 40, 80 y 120 Mg ha⁻¹ y compost de RSU en dosis de 40, 80 y 120 Mg ha⁻¹) a un suelo semiárido degradado del SE de la Comunidad de Madrid, se han observado, al año de su aplicación, una serie de efectos sobre la vegetación, que pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Del estudio de la cobertura vegetal por especies se deduce que la aplicación de biosólido favorece el crecimiento de aquellas especies nitrófilas frente al resto. Los tratamientos con RSU favorecen el desarrollo de especies con requerimientos nutricionales más diversos. Ambos residuos han contribuido en general a un mayor crecimiento de las especies anuales frente a las perennes, siendo las diferencias más notorias en

TABLA 3
COEFICIENTES OBTENIDOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DISCRIMINANTE, PARA LOS TRES GRUPOS.
[COEFFICIENTS FROM THE DISCRIMINATE ANALYSIS FOR THE THREE GROUPS]

	Crucíferas	<i>Eruca vesicaria</i>	Gramíneas 1	<i>Papaver rhoeas</i>	Constante
Grupo 1	5.05	1.57	4.35	6.25	-14.1
Grupo 2	10.03	2.99	6.83	9.16	-37.58
Grupo 3	6.57	4.92	4.99	4.74	-22.42

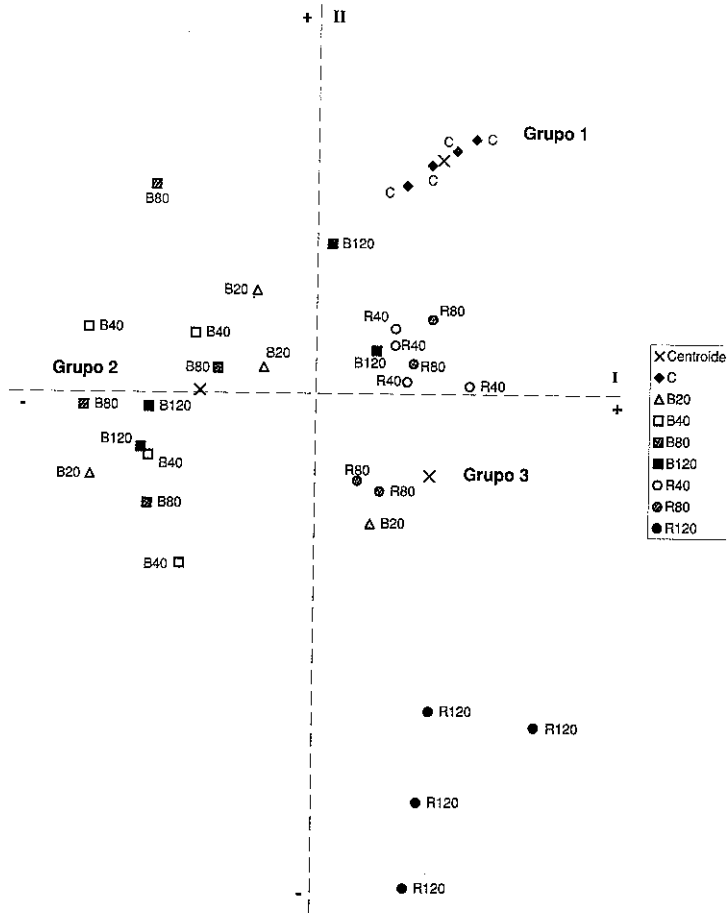


Fig. 5. Representación obtenida mediante análisis discriminante (BMDP7M). [Two dimensional plot from the stepwise discriminant analysis (BMDP7M).]

los tratamientos con biosólido frente a los tratamientos con RSU.

2. Los grupos de tratamientos que se han obtenido mediante análisis de clasificación (al 90,6%) son:

Grupo 1: todos los tratamientos sin aplicación de residuos;

Grupo 2: todos los tratamientos en los que se aplicaron biosólido;

Grupo 3: todos los tratamientos en los que se aplicaron RSU.

3. Las especies que más contribuyen a la discriminación por orden de importancia son las Crucíferas (*Biscutella auriculata*, *Sinapis alba* y *Sinapis arvensis*), *Eruca vesicaria*, Gramíneas 1 (*Stipa lagascae* y *Stipa tenacissima*) y *Papaver rhoeas*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Consejería del Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid por permitirnos realizar este estudio dentro de la Finca Gótzquez de Arriba, y por su valiosa ayuda durante el trabajo de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAIRA V. & PÉREZ DE VARGAS A. 1996. Métodos multivariantes en bioestadística. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. Madrid.
- AGUILAR, R., LOFTIN, S. & FRESQUEZ, P. 1994. Rangeland restoration with treated municipal sewage sludge. Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment. Chapter 29. Special ASA-CSSA-SSSA Publication, USA. 211-219.
- ALLOWAY, B.J., BAKER, D.E., DAVIES, B.E., EDWARDS, R., JONES, K.C., KIEKENS, L., LEPP, N.W., MCGRATH, S.P., NEAL, R.H., O'NEILL, P., PATERSON, J.E., SENFT, J.P., SMITH, K.A., STEINNES, E. & URE, A.M. 1995. Heavy metals in soils. The University of Reading. Reading. U.K. Second edition. Blackie Academic & Professional.
- ALLUE, J.L. 1990. Atlas fitoclimático de España. MAPA (INIA).
- BLÁZQUEZ, R., CUEVAS, G., LÓPEZ, R., MARTÍNEZ, F. & WALTER, I. 1999. Some chemical changes in a mediterranean soil following urban organic wastes application. 6th. International Meeting of Soil with Mediterranean Type of Climate. Barcelona, 4-9 julio.
- BONNIER G. & DE LAYENS G. 1993. Claves para la determinación de plantas vasculares. Ediciones Omega, S.A. 411 p.
- DÍAZ M. A. & POLO A. 1994. Efecto de la aplicación de un lodo residual sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo. Residuos Urbanos y Medio Ambiente. Ed. Herraiz, J. y López, J. 245-251.
- ESCUADERO A., GAVILÁN R. & RUBIO A. 1994. Una breve revisión de técnicas de análisis multivariantes aplicables en Fitosociología. *Botanica Complutensis*, Vol. 19. Editorial Universidad Complutense. 9-38.
- FAGOT, J. 1993. Contribution of botany in the strategy of reclamation in the sites contaminated by heavy metals. Tesis doctoral. Gembloux (Bélgica).
- F.A.O.-UNESCO. 1990. Mapa mundial de SUELOS. Leyenda revisada. World Soil Resources Report, 60 F.A.O. Roma.
- FRESQUEZ, P.R., FRANCIS, R.E. & DENNIS, G.L. 1990a. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded, semiarid grassland. *J. Environ. Qual.*, Vol. 19, April-June.
- FRESQUEZ, P.R., FRANCIS, RICHARD E. & DENNIS, G.L. 1990b. Soil and vegetation responses to sewage sludge on a degraded semiarid broom snafeweed/blue grama plant community. *Journal of Range Management*, Vol. 43, n.º 4, July, 325-331.
- GARCÍA F. 1996. Utilización de lodos de depuradora como enmendantes de suelos degradados. Valoración de los cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. Facultad de Ciencias.
- GARCÍA M. 1985. Claves de la flora de España (Península y Baleares). Segunda edición. Vol. I-II. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- GARCÍA M. 1996. Atlas clasificatorio de la flora de España Peninsular y Balear. Vol. I-II. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- GONZÁLEZ F. 1997. Gramíneas pratenses de Madrid. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional. Comunidad de Madrid.

- HUGH, G. & GAUCH, J.R. 1984. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press. 181-210.
- ILLERA V. 1998. Especiación de metales pesados en suelos degradados de la CAM tratados con lodos de depuradora y residuo sólido urbano. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- LINDSAY B.J. & LOGAN T.J. 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, Vol. 27, May-June, 534-542.
- LOFTIN S.R. & AGUILAR R. 1994. Semiarid rangeland response to municipal sewage sludge: plant growth and litter decomposition. Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment. Chapter 30. ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA.
- LÓPEZ G. 1995. La guía de Incafo de los árboles y arbustos de la Península ibérica. 6ª edición. Incafo Archivo Fotográfico. Madrid. 866.
- MONTES C. & RAMÍREZ-DÍAZ, L. 1978. Descripción y muestreo de poblaciones y comunidades vegetales y animales. Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Anales de la Universidad Hispalense. 5-82.
- O'CONNOR, G.A., ESSINGTON, M.E., ELRASHIDI, M. & BROWMAN, R.S. 1983. Nickel and Zinc sorption in sludge-amended soils. *Soil Science*, Vol. 135, 228-235.
- PIERCE B.L. 1994. The effect of biosolids application on a semiarid rangeland site in Colorado. Rangeland Ecosystem Science Department. Colorado State University. Colorado.
- PIERCE, B.L., REDENTE, E.F., BARBARICK, K.A., BROBST, R.B. & HEGEMAN, P. 1998. Plant biomass and elemental changes in shrubland forages following biosolids application. *J. Environ. Qual.*, Vol. 27.
- POLUNIN O. 1989. Guía fotográfica de las flores silvestres de España y de Europa. Ediciones Omega, S.A. 507.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. 1987. Memoria del mapa de las series de vegetación de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Serie técnica.
- RIVERA D. & OBÓN C. 1991. La guía de Incafo de las plantas útiles y venenosas de la Península Ibérica y Las Baleares (excluidas medicinales). Ed. Incafo, S.A. Madrid.
- SABEY, B.R., PENDLETON, R.L. & WEBB, B.L. 1990. Effect of municipal sewage sludge application on growth of two reclamation shrub species in copper mine spoils. *J. Environ. Qual.*, Vol. 19, n.º 3, 580-586.
- SLOAN J.J. & ALLEN E.R. 1995. Land application of biosolids a review of research concerning benefits, environmental impacts, and regulations of applying treated sewage sludge. Oklahoma Agricultural Experiment Station / Center for Agriculture and the Environment. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University.
- SOPPER, W.E. 1992a. Long-term effects of mine land reclamation using municipal sewage sludge. Impact of heavy metals on the environment. Trace metals in the environment 2. Edited by VERNET, J. P., Amsterdam, Netherlands; Elsevier Science Publisher.
- SOPPER, W.E. 1992b. Reclamation of mine land using municipal sludge. *Advances in Soil Science*, Vol. 17. Springer-Verlag New York Inc. 351-431.

TORRIES. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill.

WALTER, I., PORCEL, M.A. & BIGERIEGO, M. 1994. Effect of sewage sludges on the physico-chemical properties of soil: a long term experience. 15th. World Congress of Soil Science. Mexico. Vol. 3b. 423-424.

WHITE, C.S., LOFTIN, S.R. & AGUILAR, R. 1997. Application of biosolids to degraded semiarid rangeland: nine-year responses. *J. Environ. Qual.*, Vol. 26, 1.663-1.671.

WHITFORD, WALTER G., ALDON, EARL F., FRECKMAN, DIANA W., STEINBERGER, YOSEF & PARKER, LAWRENCE W. 1989. Effects of organic amendments on soil biota on a degraded rangeland. *Journal of Range Management*, Vol. 42, n.º 1, January, 56-60.