

# Estudio de suelos de vertederos sellados y de sus especies vegetales espontáneas para la fitorrestauración de suelos degradados y contaminados del centro de España

Jesús Pastor<sup>1</sup> & Ana Jesús Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciencias Medioambientales, Departamento de Biología Ambiental, CSIC, Serrano 115, 28006 Madrid.

<sup>2</sup> Departamento Interuniversitario de Ecología, sección de la UA, Facultad de Biología, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.

## Resumen

### Correspondencia

J. Pastor

Tel: + 34 91 564 08 00

Fax: + 34 91 745 25 00

E-mail: jpastor@ccma.csic.es

**Recibido:** 22 Enero 2002

**Aceptado:** 15 Febrero 2002

Los suelos de antiguos vertederos de la Comunidad de Madrid, de carácter mixto (residuos sólidos urbanos e industriales) se encuentran entre los enclaves más contaminados existentes en la misma, por el contenido en metales pesados. Hemos venido estudiando estos ambientes, en sus diferentes aspectos. En este trabajo queremos dar una visión sintética sobre las principales especies vegetales que crecen en ellos. Estudiamos para ello la cubierta de sellado de 14 vertederos. En la mayoría de ellos, a los problemas de salinización-contaminación del suelo, se unen fuertes procesos erosivos. En los vertederos ubicados sobre arcosas hemos encontrado cerca de 300 especies, y unas 170 en los vertederos sobre granitos. En los vertederos sobre substratos calizo-margosos aparecen cerca de 230 especies y en el ubicado sobre yesos unas 100. Las gramíneas son las más representadas, en número, en los vertederos sobre granitos y yesos, y las compuestas en los vertederos arcósicos y «calizo-margosos». La 3ª familia en importancia son las leguminosas y a continuación cariofiláceas y crucíferas. *Lolium rigidum* y *Dactylis glomerata* son dos especies frecuentes en la mayoría de vertederos y substratos. Ello es de interés por su capacidad encespedante para fijar los suelos frente a procesos erosivos. La compuesta mejor representada es *Anacyclus clavatus*. *Hirschfeldia incana* y *Spergularia rubra* son la crucífera y cariofilácea, respectivamente, mejor representadas en todo tipo de vertederos. Los valores de la mayoría de las variables edáficas medidas son, en general, más elevadas en vertederos que en los suelos de los ecosistemas de referencia estudiados en el entorno.

**Palabras clave:** Plantas de Vertederos, Suelos Contaminados, Metales pesados.

## Abstract

*Analysing soils and spontaneous plant species of sealed landfills for the phytorestoration of polluted and degraded soils of central Spain.*

The soils of old, sealed landfills in the Madrid Community, which are of a mixed nature (urban and industrial waste), are among the most contaminated in heavy metals of the area. Several features of these environments are presently being evaluated. The aim of this report was to provide an overview of the main plant species growing in these soils. An inventory was made of the plant species that spontaneously grow in the soil cover of 14 landfills. In most of these dumps, pollution-sali-

nity problems are added to those of strong erosion processes. Close to 300 species were recorded in landfills situated on arkose substrates, and 170 species were found growing in landfills overlying granite. Landfills on limestone-marlaceous substrates sustained the growth of some 230 species. Approximately 100 species were found to grow over gypsum. Poaceae were the most numerous species recorded in landfills overlying granite and «gypsum and gypsiferous marl». Asteraceae species were the most abundant in arkosic and «limestone-marlaceous» soils. The third most represented family was the Fabaceae, which was followed by the Caryophyllaceae and Cruciferae. The species *Lolium rigidum* and *Dactylis glomerata* were commonly observed in most of the landfills and substrates. These species are of particular interest, since they are able to fix soils and protect them from erosion. *Anacyclus clavatus* was the most commonly found Asteraceae, and *Hirschfeldia incana* and *Spergularia rubra* were, respectively, the most represented Cruciferae and Caryophyllaceae in all the landfills. Most of the soil variables determined were generally higher in the landfills with respect to those of surrounding reference ecosystems.

**Key words:** Landfill plants, Polluted soils, Heavy metals.

## Introducción

El sellado de los vertederos de residuos sólidos urbanos (VRSU) tiene como objetivo principal preparar el área que ocupan para su restauración, tendiendo a integrar el área de vertido en el medio que le rodea y sin deterioro de las condiciones medioambientales del lugar. Sin embargo, la mayor parte de los mismos tiene una deficiente integración con el entorno donde se ubican. Así presentan, en general, un importante impacto visual negativo, tanto por su visibilidad desde las carreteras, como por su morfología (taludes con pendientes muy acusadas y en sus primeros años casi desprovistos de vegetación).

Por otra parte, los vertederos que estudiamos contienen residuos de origen mixto (urbano e industrial), que hacen aún más dificultosa la «colonización natural» de estos medios (Fernández-Serrano et al. 1992). Pero sin duda, el mayor impacto producido está vinculado a la contaminación por efecto de los lixiviados (Stegman 1982, Cyr et al. 1987, Antigüedad et al. 1991) que afecta especialmente a sus áreas de descarga y a ecosistemas del entorno (Pastor et al. 1993a, Urcelay et al. 1994; Hernández et al. 1998). No obstante, estos vertederos tienen gran interés para la aplicación de la ciencia ecológica, ya que proporcionan un escenario real adecuado para la investigación acerca de las pautas que podemos seguir tanto para la restauración de ecosistemas degradados y contaminados (Lal et al. 1989, Bradshaw 1992), como para el conocimiento de especies vegetales indicadoras de contaminación (Wang 1992) y otras idóneas para la fitorrestauración de suelos degradados.

Durante los últimos años hemos venido trabajando en la línea de estos objetivos y, ahora nos proponemos mostrar

nuevos resultados que nos permitirán dirigir el futuro de estas investigaciones.

## Material y Métodos

Se han estudiado 14 VRSU pertenecientes a la Comunidad de Madrid agrupados sobre la base de las diferentes características litológicas del substrato en que se ubican: 4 en granitos y gneis (en adelante los denominaremos vertederos graníticos, situados en los términos de El Escorial, San Lorenzo, Villalba y Colmenar Viejo); 4 sobre substrato arcósico -facies Madrid- (denominados en adelante vertederos arcósicos) que se encuentran en Navalcarnero, Villaviciosa de Odón, Móstoles y Leganés); otros 5 VRSU están sobre substratos de calizas y margas (en adelante vertederos calizo-margosos) correspondientes a Arganda, Mejorada del Campo, La Poveda, Pinto y Getafe) y finalmente uno localizado sobre yesos (vertedero de Aranjuez). Todos han sido sellados entre 1982 y 1989 y presentan, por lo general, uno o varios taludes con fuertes pendientes (siempre mayores del 30%). La superficie del vertedero varía, entre 50000 y 70000 m<sup>2</sup> generalmente, y se pueden calificar, excepto Villalba, de incontrolados respecto a sus características de explotación y sellado, puesto que no se ejerció ningún tipo de control para dirigir la salida de lixiviados procedentes del vertedero fuera del área de vertido. El material de la cubierta consiste en una capa de unos 20-50 cm de espesor de tierras y escombros del entorno que no contribuyen a su impermeabilización frente a las aguas de precipitación. Esta capa ha sido estudiada por nosotros, a partir de dos muestras medias de 0-15 cm de profundidad, recogidas en diferentes puntos de la superficie de los taludes de cada uno de los VRSU. En ellas han sido analizadas 26 variables fisi-

SUBSTRATOS GRANÍTICOS Y GNEISICOS		SUBSTRATOS ARCÓSICOS	
<i>Agrostis capillaris</i> ssp. <i>castellana</i> Boiss. & Reuter	<i>Medicago orbicularis</i> (L.) Bartal	<i>Aegilops geniculata</i> Roth	<i>Hirschfeldia incana</i> (L.) Lagrèze - Fossat
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	<i>Medicago polymorpha</i> L.	<i>Aegilops triuncialis</i> L.	<i>Hordeum murinum</i> L.
<i>Andryala arenaria</i> (DC.) Boiss. & Reuter	<i>Medicago sativa</i> L.	<i>Agrostis capillaris</i> ssp. <i>castellana</i> Boiss. & Reuter	<i>Jasione montana</i> L.
<i>Andryala integrifolia</i> L.	<i>Ornithopus compressus</i> L.	<i>Agrostis pourretii</i> Willd.	<i>Lamium amplexicaule</i> L.
<i>Andryala laxiflora</i> DC.	<i>Paronychia argentea</i> Lam	<i>Alyssum granatense</i> Boiss. & Reuter	<i>Leontodon longirostris</i>
<i>Anthyllis lotooides</i> L.	<i>Plantago coronopus</i> L.	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin
<i>Bellardia trixago</i> (L.) All.	<i>Plantago lanceolata</i> L.	<i>Andryala integrifolia</i> L.	<i>Marrubium vulgare</i> L.
<i>Biserrula pelecinus</i> L.	<i>Pulicaria paludosa</i> Link	<i>Anthyllis cornicina</i> L.	<i>Medicago polymorpha</i> L.
<i>Briza minor</i> L.	<i>Rumex crispus</i> L.	<i>Anthyllis lotooides</i> L.	<i>Ononis spinosa</i> L.
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<i>Senecio jacobaea</i> L.	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso	<i>Papaver rhoeas</i> L.
<i>Bromus tectorum</i> L.	<i>Spergularia rubra</i> (L.) J. et C. Presl.	<i>Astragalus hamosus</i> L.	<i>Plantago coronopus</i> L.
<i>Carex divisa</i> Hudson	<i>Trifolium cernuum</i> Brot.	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	<i>Plantago lagopus</i> L.
<i>Chamaemelum mixtum</i> (L.) All.	<i>Trifolium angustifolium</i> L.	<i>Bellardia trixago</i> (L.) All.	<i>Poa trivialis</i> L.
<i>Chondrilla juncea</i> L.	<i>Trifolium arvense</i> L.	<i>Bromus diandrus</i> Roth	<i>Polygonum aviculare</i> L.
<i>Cichorium inybus</i> L.	<i>Trifolium campestre</i> Schreber	<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<i>Pulicaria paludosa</i> Link
<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	<i>Trifolium cherleri</i> L.	<i>Bromus madritensis</i> L.	<i>Scolymus hispanicus</i> L.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	<i>Trifolium dubium</i> Sibth.	<i>Bromus rubens</i> L.	<i>Silene colorata</i> Poirèt
<i>Cynosurus echinatus</i> L.	<i>Trifolium gemellum</i> Pourret ex Willd	<i>Bromus tectorum</i> L.	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertner
<i>Cynosurus elegans</i> Desf.	<i>Trifolium glomeratum</i> L.	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus	<i>Spergularia rubra</i> (L.) J et C Presl.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Trifolium hirtum</i> All.	<i>Carduus tenuiflorus</i> Curtis	<i>Taenatherum caput-medusae</i> (L.) Nevski
<i>Daucus carota</i> L.	<i>Trifolium scabrum</i> L.	<i>Carthamus lanatus</i> L.	<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertner
<i>Echium vulgare</i> L.	<i>Trifolium smyrnaeum</i> Boiss	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill	<i>Trifolium angustifolium</i> L.
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Her	<i>Trifolium striatum</i> L.	<i>Cichorium inybus</i> L.	<i>Trifolium arvense</i> L.
<i>Filago pyramidata</i> L.	<i>Trifolium strictum</i> L.	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Trifolium campestre</i> Schreber
<i>Gaudinia fragilis</i> (L) Beauv	<i>Trifolium subterraneum</i> L.	<i>Corynephorus fasciculatus</i> Boiss et Reuter.	<i>Trifolium cherleri</i> L.
<i>Heliotropium europaeum</i> L.	<i>Trifolium tomentosum</i> L.	<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	<i>Trifolium gemellum</i> Pourret ex Willd
<i>Hirschfeldia incana</i> (L.) Lagrèze - Fossat	<i>Trisetum panicum</i> (Lam.) Pers.	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Trifolium glomeratum</i> L.
<i>Holcus lanatus</i> L.	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C. Gmelin	<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Trifolium hirtum</i> All.
<i>Hordeum murinum</i> L.		<i>Diploaxis virgata</i> (Cav.) DC.	<i>Trifolium striatum</i> L.
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin		<i>Echium vulgare</i> L.	<i>Trifolium tomentosum</i> L.
<i>Malva sylvestris</i> L.		<i>Eryngium campestre</i> L.	<i>Trisetum panicum</i> (Lam.) Pers.
<i>Marrubium vulgare</i> L.		<i>Filago lutescens</i> Jordan	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C. Gmelin
<i>Medicago lupulina</i> L.		<i>Filago pyramidata</i> L.	

Tabla 1. Especies más frecuentes que crecen en VRSU sobre substratos graníticos y gneísicos y arcósicos.  
Table 1. Species most frequently growing in landfills on «granitic and gneissic» and arkosic substrates.

SUBSTRATOS CALIZOS Y MARGOSOS		SUBSTRATO YESIFERO	
<i>Aegilops geniculata</i> Roth	<i>Medicago minima</i> (L.) Bartal.	<i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreber	<i>Leontodon taraxacifolium</i>
<i>Aegilops triuncialis</i> L.	<i>Medicago orbicularis</i> (L.) Bartal.	<i>Amaranthus albus</i> L.	<i>Limonium echenoides</i> (L.) Miller
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	<i>Medicago sativa</i> L.	<i>Anagallis arvensis</i> L.	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin
<i>Astragalus hamosus</i> L.	<i>Melilotus sulcata</i> Desf	<i>Artemisia caerulescens</i> L.	<i>Lophocloa cristata</i> (L.) Hyl
<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	<i>Ononis spinosa</i> L.	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso	<i>Marrubium vulgare</i> L.
<i>Avena sterilis</i> L.	<i>Onopordum illyricum</i> L.	<i>Asteriscus aquaticus</i> (L.) Less.	<i>Medicago minima</i> (L.) Bartal.
<i>Biscutella auriculata</i> L.	<i>Papaver rhoeas</i> L.	<i>Atriplex halimus</i> L.	<i>Mercurialis tomentosa</i> L.
<i>Bromus dianthus</i> Roth	<i>Reseda lutea</i> L.	<i>Atriplex rosea</i> L.	<i>Ononis natrix</i> L.
<i>Bromus madritensis</i> L.	<i>Salsola kali</i> L.	<i>Avenula bromoides</i> (Gouan) H. Schloz	<i>Onopordum illyricum</i> L.
<i>Bromus rubens</i> L.	<i>Scorzonera laciniata</i> L.	<i>Brachypodium dichotomum</i> (L.) Beauv.	<i>Papaver rhoeas</i> L.
<i>Carduus tenuiflorus</i> Curtis	<i>Silene nocturna</i> L.	<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<i>Papaver somniferum</i> L.
<i>Centaurea melitensis</i> L.	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	<i>Bromus rubens</i> L.	<i>Pistorinia hispanica</i>
<i>Chondrilla juncea</i> L.	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertner	<i>Bromus squarrosus</i> L.	<i>Plantago afra</i> L.
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Sisymbrium irium</i> L.	<i>Bromus tectorum</i> L.	<i>Portulaca oleracea</i> L.
<i>Coronilla scorpioides</i> (L.) Koch	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<i>Centaurea melitensis</i> L.	<i>Reseda lutea</i> L.
<i>Crepis vesicaria</i> L.	<i>Trigonella monspeliaca</i> L.	<i>Cleonia lusitanica</i> (L.) L.	<i>Scabiosa sicula</i> L.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Trigonella polycerata</i> L.	<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Sedum album</i> L.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Trisetum paniceum</i> (Lam.) Pers.	<i>Desmazeria rigida</i> (L.) Tutin & E.F. War.	<i>Senecio gallicus</i> Chaix
<i>Diploaxis virgata</i> (Cav.) DC.		<i>Echinaria capitata</i> (L.) Desf.	<i>Sisymbrium irium</i> L.
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Her		<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Her	<i>Sisymbrium polyceratum</i>
<i>Eryngium campestre</i> L.		<i>Erysimum cheiri</i> (L.) Crantz	<i>Spergularia rubra</i> (L.) J et C Presl.
<i>Filago pyramidata</i> L.		<i>Filago pyramidata</i> L.	<i>Stoibrax dichotomum</i>
<i>Foeniculum vulgare</i> Miller		<i>Geranium molle</i> L.	<i>Trigonella polycerata</i> L.
<i>Galium parisiense</i> L.		<i>Haplophyllum linifolium</i> (L.) G. Don fil.	<i>Trisetum paniceum</i> (Lam.) Pers.
<i>Hirschfeldia incana</i> (L.) Lagrèze - Fossat		<i>Helianthemum salicifolium</i> (L.) Miller	<i>Vulpia ciliata</i> Dumort
<i>Hordeum murinum</i> L.		<i>Heliotropium europaeum</i> L.	<i>Vulpia membranacea</i> (L.) Dumort
<i>Lactuca serriola</i> L.		<i>Herniaria fructuosa</i>	<i>Vulpia unilateralis</i> (L.) Stace
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin		<i>Herniaria hirsuta</i> L.	
<i>Lophocloa cristata</i> (L.) Hyl		<i>Hordeum hystrix</i> Roth	
<i>Malva neglecta</i> Wallr.		<i>Hordeum murinum</i> L.	
<i>Mantisalca salmantica</i> (L.) Briq et Cavillier		<i>Iberis ciliata</i> All.	
<i>Marrubium vulgare</i> L.		<i>Iberis crenata</i> Lam.	

Tabla 2. Especies más frecuentes que crecen en VRSU sobre substratos calizo-margosos y yesíferos.  
Table 2. Species most frequently growing in landfills on limestone-marlaceous and gypsiferous substrates.

co-químicas, según los métodos expuestos en Hernández & Pastor (1989).

De la misma manera, se han tenido en cuenta estas características en los ecosistemas del entorno no afectados, considerados en el estudio como referentes en orden a las comunidades de terófitos, según se expone en Pastor et al. (1993a).

En cada vertedero se han realizado a lo largo de tres años diversos inventarios para llegar a un inventario fitoecológico relativamente completo, especialmente durante el año en que fueron recogidas las muestras de suelo para realizar los análisis referidos anteriormente y que viene a coincidir con el 4º o 5º año después del sellado. En aquellos VRSU que no han sufrido alguna otra intervención antrópica posterior, se ha continuado realizando en años sucesivos nuevos inventarios florísticos con el fin de conocer la evolución de la cubierta vegetal en los mismos.

## Resultados y Discusión

La cubierta vegetal espontánea existente en los VRSU estudiados se ve determinada por la existencia en el entorno de cada uno de ellos de propágulos de especies y por el banco de semillas que contiene el material de sellado que, por lo general, como ya dijimos, corresponde a suelos del entorno.

En los cuatro vertederos sobre substratos graníticos se han inventariado unas 170 especies; 300 en los ubicados sobre arcosas; 230 en los situados sobre substratos de calizas y margas y alrededor de 100 especies en el vertedero sobre yesos. En las Tablas 1 y 2 se recogen aquellas especies que resultan con una representación de al menos el 60% en cada uno de los grupos de VRSU considerados.

Las gramíneas constituyen la familia más representada en frecuencia de especies, en los vertederos sobre granitos y yesos y margas yesíferas; la familia de las compuestas en los vertederos arcósicos y calizo-margosos; la tercera familia en importancia son las leguminosas, seguida de las cariofiláceas y crucíferas.

*Lolium rigidum* y *Dactylis glomerata*, son dos especies frecuentes en la mayoría de los vertederos y substratos. Esto es de interés por su capacidad encespedante que ayuda a fijar la cubierta edáfica frente a los procesos erosivos que se dan en los taludes de estos VRSU; con esta misma función puede citarse también *Cynodon dactylon* para los vertederos arcósicos y graníticos. Menos frecuentes, pero también muy comunes, son *Hordeum murinum* subsp. *leporinum* y *Trisetaria pancea*. Otras especies frecuentes y comunes a los VRSU arcósicos y calizo-margosos son *Aegilops geniculata*, *A. triuncialis*, *Bromus rubens*, *B. madritensis* y *B. diandrus*.

Las especies de *Trifolium* son las leguminosas mejor representadas en los VRSU graníticos y arcósicos. En estos últimos también crecen dos especies de *Anthyllis*, dos de *Medicago*, y una de *Lathyrus*, *Ononis* y *Astragalus*. *Astragalus hamosus* es, además la leguminosa más frecuente que crece

en los VRSU calizo-margosos, junto a *Coronilla scorpiodes*, *Medicago minima*, *M. sativa*, *M. orbicularis*, *M. sulcata*, *Trigonella polyceratia*, *T. monspeliaca* y *Ononis spinosa*.

La compuesta mejor representada es *Anacyclus clavatus* acompañada de *Andryala integrifolia* y *Carduus tenuiflorus* en los vertederos arcósicos y, además, de *Centaurea melitensis*, *Chondrilla juncea*, *Mantisalca salmantica* y *Silybum marianum* en los calizo-margosos. Por último, *Hirschfeldia incana* y *Spergularia rubra*, son la crucífera y cariofilácea, respectivamente, mejor representadas en todos los grupos de VRSU.

Así como las especies que crecen en las cubiertas de sellado de los respectivos VRSU se corresponden con muchas de las herbáceas catalogadas en los ecosistemas de referencia, hay una mayor incidencia de especies ruderales y de medios antropizados. Los valores de la mayoría de las variables edáficas analizadas son, en general, más elevados en los VRSU que en los suelos de los ecosistemas de referencia estudiados y situados en el entorno, (con el inconveniente de presentar cantidades apreciables de metales pesados: Zn, Cu, Pb y Ni, y cantidades más bajas de materia orgánica y N total (Tabla 3).

Los contenidos de Na y B son también claramente más elevados en la cubierta edáfica de los vertederos que en los ecosistemas de referencia situados en el entorno, como ya hemos podido comprobar en otras ocasiones (Pastor et al. 1993, Hernández et al. 1998). Estas cuestiones hacen propicio el estudio del comportamiento ecológico de muchas de estas especies para poder ser utilizadas en la restauración de ecosistemas degradados y contaminados por metales pesados. De ahí que estemos además estudiando los perfiles ecológicos de especies que nos parecen idóneas a los fines que perseguimos, como es el caso de *Hirschfeldia incana*, *Vulpia ciliata* y algunas especies de *Bromus* que crecen en los suelos con altos contenidos de Zn (datos no publicados). En un trabajo anterior (Pastor et al. 1993b), hemos expuesto algunos parámetros vegetales considerados también como muy importantes al respecto (como son: éxito en la germinación, tolerancia a heladas tempranas, producción de semilla, hábito de crecimiento que favorece la protección del suelo y facilidad para la dispersión de semillas).

Sin embargo, a la hora de proponer algunas plantas para la siembra sobre las cubiertas de sellado de los vertederos, no es posible recomendar solamente especies que crecen atendiendo solamente a alguna de las características aludidas, ya que nos encontramos ante escenarios de indudable complejidad. Así, no es posible en absoluto recomendar un número demasiado limitado de especies según la ubicación de los substratos estudiados, ya que las características de la cubierta de sellado interactúan con la descomposición de las basuras y con los lixiviados superficiales que se producen al llover, dando lugar a cambios importantes en las cubiertas de los vertederos. Por ejemplo, se muestran en la Tabla 4 las diferencias de pH y de conductividad en distintas zonas de la cubierta edá-

Variables Edáficas	GRANITOS Y GNEISES		SUBSTRATOS ARCÓSCICOS		CALIZAS Y MARGAS		SUBSTRATO YESÍFERO	
	Vertederos	Ecosistemas referencia	Vertederos	Ecosistemas referencia	Vertederos	Ecosistemas referencia	Vertederos	Ecosistemas referencia
pH	7.0±0.2	5.8±0.2	7.1±0.4	6.2±0.2	7.6±0.1	7.7±0.1	7.6±0.3	7.8 ±0.1
M.O. (%)	1.5±0.5	2.1±0.7	0.6±0.3	3.3±2.1	1.5±0.03	2.1±0.6	0.36±0.3	2.2±0.7
N total (%)	0.080±0.030	0.215±0.038	0.033±0.010	0.136±0.011	0.094±0.056	0.159±0.010	0.048±0.004	0.200±0.050
C/N	11.6±4.5	13.6±2.43	10.8±2.5	15.4±12.8	10.8±4.4	7.8±3.7	4.3±4.1	6.5±5.3
P asimilable (mg/100g)	21.1±19.2	3.8±1.3	13.2±9.0	5.0±2.9	6.3±2.5	6.0±0.6	9.0±1.3	8.5±1.1
Na (mg/100g)	1.8±0.7	0.5±0.1	6.9±3.7	1.5±1.3	1.3±0.2	0.5±0.0	1.9±1.5	0.6±0.4
K (mg/100g)	17.2±9.5	8.7±1.8	21.8±3.8	22.2±11.0	32.3±9.9	13.0±3.4	13.1±1.1	39.0±6.1
Ca (mg/100g)	350.0±172.9	72.3±15.6	335.0±144.5	215.4±70.2	715.0±65.0	438.0±70.0	1396.7±1108.2	430.0±96.0
Mg (mg/100g)	9.6±3.6	51±0.8	37.2±23.3	29.9±12.0	25.1±2.8	9.0±1.0	6.60±1.7	11.8±2.3
B (mg/Kg)	63.5±7.1	15.0±2.2	13.5±11.2	2.5±5.3	43.0±10.0	0.0±0.0	60.7±20.9	0.0±0.0
Fe (mg/Kg)	5255.2±2546.6	480.0±185.5	13890.9±1855.6	9091±4216	91.0±42.0	80.0±31	126.0±49.0	190.0±53.0
Zn (mg/Kg)	125.5±69.8	74.0±30.5	83.5±146.0	31.9±9.6	57.5±10.5	31.0±9.0	33.3±5.7	41.0±15.0
Cu (mg/Kg)	8.7±19.4	0.0±0.0	150.9±730.2	18.5±29.8	13.0±11.0	0.0±0.0	5.0±5.2	0.0±0.0
Pb (mg/Kg)	7.7±5.6	19.3±4.2	72.8±297.0	7.7±21.7	28.5±3.5	11.0±2.0	0.0±0.0	0.0±0.0
Cd (mg/Kg)	0.0±0.0	0.0±0.0	1.5±3.1	0.1±1.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
Cr (mg/Kg)	0.0±0.0	0.0±0.0	4.4±4.5	2.5±2.6	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
Ni (mg/Kg)	22.2±3.6	0.0±0.0	15.7±8.1	7.0±5.9	22.5±3.5	0.0±0.0	17.7±1.2	0.0±0.0
Co (mg/Kg)	0.0±0.0	0.0±0.0	1.5±2.3	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
Arcilla (%)	11.8±0.9	9.3±1.2	20.4±4.3	18.1±7.0	23.4±3.4	19.6±2.0	11.7±2.9	17.6±3.4
Limo (%)	19.1±1.5	20.2±2.3	23.1±7.8	15.3±3.4	26.3±2.1	26.7±8.9	11.2±3.5	22.6±4.2
Arena total (%)	69.1±2.3	70.5±30.4	55.6±14.0	67.0±8.1	50.6±1.1	53.7±8.1	66.3±16.2	59.8±13.7
Arena gruesa (%)	47.8±3.0	44.8±2.9	36.4±10.4	49.1±8.9	27.1±4.4	28.6±3.5	15.3±5.7	15.5±4.9
Arena fina (%)	21.2±2.1	25.7±3.1	20.0±2.6	18.0±5.7	23.2±3.3	25.1±4.1	51.0±10.6	44.3±7.5
C. Campo (%)	10.9±1.0	14.6±2.4	18.5±4.1	16.2±5.9	22.1±4.3	16.7±2.9	20.3±3.5	14.3±2.3
P. Marchitez (%)	5.9±0.6	6.9±1.2	10.2±3.1	9.9±3.1	13.0±0.8	10.3±0.7	12.1±1.3	9.0±0.9
Agua útil (%)	5.0±0.5	7.7±1.3	8.3±1	6.3±3.0	9.1±3.5	6.4±2.3	8.2±2.4	5.3±1.1

Tabla 3. Valores medios alcanzados en las 26 variables analizadas en las cubiertas edáficas de los vertederos y en los suelos de los ecosistemas de referencia estudiados.  
Table 3. Mean values of the 26 variables analyzed in the soils covering the landfills and in reference ecosystems.

CUBIERTA EDÁFICA DEL VRSU DE MEJORADA			CUBIERTA EDÁFICA DEL VRSU DE MÓSTOLES		
	pH	Conductividad		pH	Conductividad
ZONA 1	Subzona 1 <sup>a</sup> : 7,8 Subzona 2 <sup>a</sup> : 7,8 Subzona 3 <sup>a</sup> : 7,9 <b>Media:</b> <b>7,8</b>	297 µS/cm 361 µS/cm 460 µS/cm <b>373 µS/cm</b>	ZONA 1	Subzona 1 <sup>a</sup> : 7,1 Subzona 2 <sup>a</sup> : 7,1 Subzona 3 <sup>a</sup> : 7,4 <b>Media:</b> <b>7,2</b>	706 µS/cm 484 µS/cm 452 µS/cm <b>547 µS/cm</b>
ZONA 2	Subzona 1 <sup>a</sup> : 7,6 Subzona 2 <sup>a</sup> : 7,7 Subzona 3 <sup>a</sup> : 7,7 <b>Media:</b> <b>7,7</b>	395 µS/cm 553 µS/cm 514 µS/cm <b>487 µS/cm</b>	ZONA 2	Subzona 1 <sup>a</sup> : 7,3 Subzona 2 <sup>a</sup> : 7,4 Subzona 3 <sup>a</sup> : 4,2 <b>Media:</b> <b>6,3</b>	450 µS/cm 494 µS/cm 669 µS/cm <b>538 µS/cm</b>
ZONA 3	Subzona 1 <sup>a</sup> : 7,9 Subzona 2 <sup>a</sup> : 7,6 Subzona 3 <sup>a</sup> : 7,6 <b>Media:</b> <b>7,7</b>	564 µS/cm 551 µS/cm 810 µS/cm <b>642 µS/cm</b>	ZONA3	Subzona 1 <sup>a</sup> : 3,4 Subzona 2 <sup>a</sup> : 3,2 Subzona 3 <sup>a</sup> : 7,4 <b>Media:</b> <b>4,6</b>	1.032 µS/cm 1.882 µS/cm 394 µS/cm <b>1.103 µS/cm</b>
ZONA 4	Subzona 1 <sup>a</sup> : 7,9 Subzona 2 <sup>a</sup> : 7,7 Subzona 3 <sup>a</sup> : 7,9 <b>Media:</b> <b>7,8</b>	282 µS/cm 364 µS/cm 405 µS/cm <b>350 µS/cm</b>	ZONA 4	Subzona 1 <sup>a</sup> : 2,1 Subzona 2 <sup>a</sup> : 2,7 Subzona 3 <sup>a</sup> : 2,6 <b>Media:</b> <b>2,5</b>	2.810 µS/cm 2.690 µS/cm 2.620 µS/cm <b>2.707 µS/cm</b>

Tabla 4. Valores de pH en agua y conductividad en diferentes zonas de la cubierta edáfica de un mismo vertedero después de 10 años de sellado y sin ser sometido a ninguna otra intervención.  
Table 4. Soil pH conductivity at different points in the soil cover of a single landfill, 10 years after sealing.

VRSU	ppm			
<b>Villaviciosa de Odón</b>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Fl
Suelo bajo gramíneas	10,5	14,8	10,0	1,2
Suelo bajo leguminosas	23,4	20,8	7,3	1,3
Suelo desnudo	47,8	374,4	36,7	3,3
<b>Móstoles</b>				
Suelo bajo gramíneas	11,0	5,6	0,9	1,4
Suelo bajo leguminosas	15,9	10,6	0,9	0,9
Suelo desnudo	11,0	3,3	0,9	0,9
<b>Navalcarnero</b>				
Suelo bajo gramíneas	11,1	8,3	3,8	0,9
Suelo desnudo	123,4	145,6	43,3	0,9

Tabla 5. Concentraciones de aniones (ppm) en la cubierta de tres vertederos situados en terrenos arcósicos

Table 5. Anion concentrations (ppm) in soil covers of three landfills located on arkosic substrates.

ESPECIES ALTAMENTE COMPETIDORAS CON LAS DEL BANCO DE SEMILLAS	ESPECIES QUE SE MANTIENEN	ESPECIES QUE DESAPARECEN DESPUÉS DE LA COMPETENCIA INTERESPECÍFICA
<i>Medicago polymorpha</i> <i>Medicago rigidula</i> <i>Trifolium hirtum</i>	<b>Autóctonas</b> <i>Medicago orbicularis</i> <i>Ornithopus compressus</i> <i>Trifolium tomentosum</i> <i>Trifolium glomeratum</i> <i>Trifolium cherleri</i> <i>Trifolium subterraneum</i> <i>Bromus hordaceus</i> <i>Dactylis glomerata</i> <i>Lolium rigidum</i>  <b>Comercial</b> <i>Medicago sativa</i> (alfalfa)	<i>Trifolium striatum</i> <i>Trifolium smyrnaeum</i> <i>Medicago lupulina</i>

Tabla 6. Estimación de resultados acerca de especies herbáceas sembradas en un suelo arcósico con pH neutro, al finalizar un ensayo para el estudio de la competencia con las especies provenientes del banco de semillas del mismo.

Table 6. Estimating the number of herbaceous species grown from seeds in an arkosic soil of neutral pH at the end of a trial designed to evaluate competition with species from the soil's own seed bank.

fica de dos de los vertederos seleccionados para este estudio (uno sobre substrato arcósico y otro sobre substrato calizomargoso). En la mencionada tabla podemos observar que frente a la homogeneidad del pH de la cubierta edáfica en el vertedero de Mejorada, destaca la enorme heterogeneidad del pH entre las diferentes zonas consideradas en el vertedero de Móstoles (de 2,5 a 7,2) y también dentro de las diferentes subzonas de una misma zona (de 3,2 a 7,4). En este último vertedero, se alcanzan valores muy bajos, que imposibilitan la colonización de dichas áreas. En lo referente a la conducti-

vidad, en el vertedero de Mejorada existen diferencias, sí bien no muy acusadas, entre las diferentes zonas y también dentro de las subzonas pertenecientes a una misma zona. Las diferencias en conductividad en el vertedero de Móstoles al igual que lo que sucedía con el pH, son muy acusadas tanto entre zonas, como dentro de la misma área.

Así mismo, en la Tabla 5 se exponen también las variaciones que presentan los valores de los aniones en los suelos de tres de los vertederos arcósicos. Los valores elevados de ciertos aniones en algunas parcelas de suelo desnudo pueden



ser la explicación de la falta de crecimiento en ellas de las especies vegetales, y no solo atribuirse este hecho a la escasez o casi inexistencia de un banco de semillas.

Lógicamente se deberán tener en cuenta también, las interacciones entre especies a la hora de hacer siembras de aquellas que puedan parecer más idóneas para crecer en las cubiertas edáficas de sellado, ya que la competencia con las especies que provienen del banco de semillas, puede ser un importante obstáculo para las labores de fitorrestauración. Una aproximación a este aspecto del estudio lo ha constituido un ensayo realizado con 16 especies herbáceas que podrían ajustarse para la fitorrestauración de vertederos arcósicos (Tabla 6). En ella podemos ver tres especies de leguminosas que después de sembradas, crecieron bien y soportaron la competencia con las especies existentes en el banco de semillas. Otras 10 especies se mantuvieron con mayor o menor presencia en las parcelas y finalmente tres desaparecieron por completo.

## Conclusiones

Las especies vegetales que crecen espontáneamente en la cubierta de vertederos de residuos mixtos (urbanos e industriales) que fueron sellados en casi su totalidad en la década de los noventa en la Comunidad de Madrid, se corresponden por lo general con las especies herbáceas de los ecosistemas del entorno durante los primeros años después del sellado. Pero al existir no sólo menores cantidades de materia orgánica en la cubierta edáfica de los VSRS, sino mayores concentraciones de metales pesados, así como una gran variabilidad de los niveles que presentan los diferentes parámetros edáficos en dicha cubierta, no se hace fácil la tarea de la fitorrecuperación de las mismas.

## Agradecimientos

Agradecemos a la CICYT, Proyecto AMB99-1219, la ayuda prestada.

## Referencias

- Antigüedad I, Luengo C, Zubiaga R, Granado J M & Bonilla A. 1991. Lixiviación en vertederos de residuos urbanos en la Comunidad Vasca. *Tecnoambiente* 10: 39-47.
- Bradshaw AD. 1992. Pollution and Ecosystem. In *The Treatment and Handling of Wastes*. (Bradshaw AD et al., eds.). London: Chapman and Hall, pp. 7-55.
- Cyr F, Mehr MC & Mallet V N. 1987. Leaching of chemical contaminants from municipal landfill sites. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 38: 775-782.
- Fernández-Serrano ME, Herráez I, Carreras N & Quejido A. 1992. Environmental degradation caused by municipal solid wastes disposal in Collado Villalba landfill. *Proceedings 6<sup>th</sup> International Solid Wastes Congress and Exhibition* 1.
- Hernández AJ & Pastor J. 1989. Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. *Henares, Revista Geología* 3: 67-102.
- Hernández AJ, Adarve MJ & Pastor J. 1998. Some impacts of urban waste landfills on mediterranean soils. *Land Degradation & Development* 9: 21-33.
- Lal R, Hall, GF & Miller FP. 1989. Soil degradation: I. Basic processes. *Land Degradation and Rehabilitation* 1: 51-69.
- Pastor J, Urcelay A, Oliver S & Hernández AJ. 1993a. Impact of Municipal Waste on Mediterranean Dry Environments. *Geomicrobiology Journal* 11: 247-260.
- Pastor J, Urcelay A, Hernández AJ & García A. 1993b. Investigations on the revegetation problems of landfill soils in semiarid environment. In *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection*. (Eijsackers HJP & Hamers T, eds.), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 323-326.
- Stegman R. 1982. The pollution potential of sanitary landfill. Effects of waste disposal on groundwater and surface water. *INMS Publications* 139: 125-135.
- Urcelay A, Pastor J & Hernández AJ. 1994. Los contaminantes inorgánicos de suelos de vertederos de RSU en relación a los organismos vivos. In *II Congreso Internacional de Suelos Contaminados*, Vitoria-Gasteiz, pp. 17-20.
- Wang F. 1992. Use of plants for the assessment of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 126: 87-127.