

ENSAYOS PARA LA RESTAURACIÓN DE VERTEDEROS

Hernández¹, Ana J. y Pastor², J.

¹ Dpto. Ecología, Universidad de Alcalá, Madrid

² CCMA, CSIC, Madrid

Introducción: la restauración del impacto ambiental de vertederos clausurados

Después de 20 años del sellado de muchos de los vertederos ubicados en la Comunidad de Madrid, nos proponemos mostrar una aproximación de la complejidad que supone tanto la revegetación (colonización espontánea de la vegetación procedente del banco de semillas del material edáfico de cobertura), como la fitorremediación a base de especies que puedan adaptarse a las condiciones de cada uno de ellos. Se presenta por primera vez y en forma breve, algunas de las situaciones más comunes en estos sistemas, a fin de que pueda percibirse el modo con el que estamos abordando dicha complejidad.

Los estudios fitoecológicos y edáficos efectuados en estos años, tanto en la cubierta de sellado como en los suelos de las zonas de descarga nos lleva a hacer algunas consideraciones que pueden orientar la restauración ecológica en estos escenarios generadores de impacto. Sin ser considerada como una síntesis de los aspectos señalados, exponemos una sistematización de las principales cuestiones abordadas.

Marco conceptual: el estrés y las estrategias ecológicas

En primer lugar podemos referirnos a la importancia del marco conceptual de los contaminantes desde el punto de vista del estrés que ellos generan para los seres vivos. Otro aspecto de interés es el conocimiento de las teorías de las estrategias adaptativas de los organismos desde el punto de vista ecológico: la teoría de Mac Arthur y Wilson y la de Grime. Según la primera, la selección natural determina la existencia de dos tipos fundamentales de estrategias entre las poblaciones naturales, con un comportamiento diferente de parámetros poblacionales en respuesta a las condiciones del medio («estrategia

de la «r» y de la «K»). Grime, sin embargo, sugiere una hipótesis alternativa a las estrategias adaptativas de las plantas, la cual define claramente la influencia del medio en el éxito de las especies.

Por el papel que pensamos juega la revegetación como técnica para la restauración y/o rehabilitación de ecosistemas terrestres degradados, es fundamental tener en cuenta la clasificación de las estrategias de la historia de la vida de las plantas según Grime, ya que combina la intensidad de la perturbación con la intensidad del estrés. Así, las «especies competidoras» responden mejor para aquellos sistemas en las que las intensidades de las perturbación y el estrés son bajas; cuando el estrés es débil, pero la perturbación es fuerte, pueden ser las especies «ruderales»; y las «estrés-tolerantes», cuando hay mucho estrés y poca perturbación; la estrategia para cuando ambas características son muy altas, no es viable.

No obstante, no podemos olvidar que diferentes tipos de ecosistemas responden a una misma perturbación de distinta forma y/o, que un determinado ecosistema puede responder de varias maneras a distintos tipos de perturbaciones. Todo ello además, en la ausencia de una información de base adecuada que permita la comparación de ecosistemas perturbados y no perturbados, hace difícil el abordar con éxito la restauración de los ecosistemas. Se reconoce la existencia de importantes lagunas en el conocimiento científico y de la propia teoría ecológica en estos aspectos, (Loosse y Van Straalen, 1991; Lubchenco *et al.*, 1991), así como la enorme variabilidad y aleatoriedad ambiental y otras formas irreductibles de incertidumbre asociadas.

Totalmente relacionado con las consideraciones anteriores podemos señalar algunas acepciones del concepto de «adaptación». En ecología se ha empleado desde distintas facetas que no vamos a considerar aquí, pero que sí diremos que es algo que está presente como parte integrante de los estudios sobre poblaciones. En los trabajos acerca de la adaptabilidad de las mismas, se viene distinguiendo dos aspectos distintos del «grado de adaptación»: aquel que refleja la aptitud de las poblaciones de soportar perturbaciones bajo diversas causas, y por tanto la «fitness» es un concepto fisiológico basado en mantener la homeostasis en presencia de perturbaciones variadas y puede ser medida en términos de tolerancia (por ejemplo a la salinidad del suelo, o la tolerancia a un metal pesado); y, otra opción, ligada a la reproducción, por la cual un *ecotipo* puede ser considerado que tiene mayor grado de adaptación que otro si en las generaciones futuras está representado por un número más elevado de descendientes.

Las consideraciones teóricas a las que acabamos de aludir están en relación estrecha, pero nos encontramos ante un problema que tiene planteada toda la Biología: saber cómo opera la selección natural. No obstante, para poder distinguir entre componentes genéticos y no genéticos en el tema de la adaptación ecológica, se parte del hecho de una investigación basada en comparaciones «entre hábitats» y «entre poblaciones», sobre sujetos seleccionados con lazos muy parecidos. Esta cuestión es necesaria a la hora de elegir especies idóneas para la revegetación y la fitorremediación de suelos degradados.

Metodología para la restauración de espacios degradados por la acción del binomio erosión-contaminación

Los vertederos de residuos sólidos urbanos que fueron sellados sin protocolos previos de recuperación, son uno de los escenarios más complejos que hemos encontrado

para la restauración ecológica del impacto ambiental producido por ellos en sus correspondientes entornos, así como para poder estudiar la revegetación de estos sistemas emergentes en nuestros paisajes.

Las características de los taludes que presentan: diferentes alturas, orientación, pendiente, tipos y profundidad de suelos utilizados para su sellado, así como la continua reutilización de deposición de residuos o de otros usos, (como para campos de tiro, por ejemplo), así como en el caso de poseer plataformas (sin apenas pendiente y utilizadas para sembrar cereal en algunas ocasiones), han hecho especialmente difícil la revegetación de estos sistemas. La realidad ha superado lo que constatábamos en un principio (Hernández, 1994). Por ello, una de las tareas de estudio estuvo vinculada al conocimiento de la autoecología de especies herbáceas que crecían en taludes de los mismos entornos donde se presentan los vertederos, al ser considerados sistemas analógicos especialmente para clarificarnos en los mecanismos de la sucesión ecológica implícita en el proceso de la revegetación. Pero también para poder conocer aquellas especies que podrían ser más afines en relación a detener la erosión o pérdida de elementos finos del suelo (Hernández y Pastor, 2008b). En un segundo momento se ha pasado a estudiar el comportamiento de muchas de estas especies frente a la contaminación por la salinidad y los metales pesados que presentaban frecuentemente estos vertederos.

Desde el punto de vista científico, este tipo de escenario que son los vertederos clausurados, nos permite poder ahondar en lo que hemos denominado el binomio erosión-contaminación, que es el caso más frecuente de los mismos en relación al impacto ambiental y no contemplado prácticamente nada en la bibliografía. Sin embargo, lo juzgamos de especial interés a la hora de abordar con realismo la restauración de los vertederos basada en principios ecológicos (Hernández y Pastor, 2008a).

Teniendo todo ello en cuenta, presentamos a continuación los principales pasos metodológicos que hemos abordado para el objetivo de la restauración esencialmente del sistema vertedero, dado que lo consideramos pieza esencial para no seguir produciendo más impactos ambientales en el entorno donde se ubica.

Estudio de las relaciones ecoquímicas cubiertas de sellado-vegetación espontánea y perfiles ecológicos

Se realizaron inventarios florístico en veinte vertederos sellados de la zona centro peninsular, ubicados en diferentes tipos de sustratos (granitos y gneis, arcosas, yesos, calizas y margas), estudiado a la vez la especialización de la flora a los distintos rangos y niveles de perturbación, así como las estrategias adaptativas de las especies colonizadoras de estos ambientes, puestas de manifiesto mediante diferentes atributos biológicos (cuadro 1). En otro trabajo (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).

Cuadro 1.

**LA ESPECIALIZACIÓN DE LA FLORA
A LOS RANGOS DE PERTURBACIÓN**

- * NITROFILIA Y FOSFOROFILIA (Pastor y Hernández, 2001).
- * Comportamiento de las especies en relación a los nutrientes más afectados por la acción antrópica: FERTILIDAD-SALINIDAD. (Hernández *et al.*, 1999).
- * Comportamiento de las especies en relación a las variables edáficas asociadas a la contaminación: SALINIDAD-METALES PESADOS (Adarve *et al.*, 1998; Pastor y Hernández, 2002; Hernández y Pastor, J. 2004).

**ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS DE LAS ESPECIES VEGETALES PUESTAS
DE MANIFIESTO POR DIFERENTES ATRIBUTOS BIOLÓGICOS**

- * Comportamiento frente a los fotoperíodos (cortos o largos) junto al mayor o menor número de días necesarios para completar el ciclo fenológico:
ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES DEL CLIMA MEDITERRÁNEO
(Hernández *et al.*, 2002).
- * Presencia en la comunidad vegetal de especies con diferentes formas, tamaños y dureza de las semillas: PROCESOS LIGADOS A LA SUCESIÓN ECOLÓGICA
(Hernández *et al.*, 2002; Martín *et al.*, 2003).

Sin duda la aplicación de la técnica conocida como «perfiles ecológicos» aporta información muy adecuada respecto a las poblaciones que pueden ser consideradas idóneas para la revegetación de los vertederos. La descripción de esta técnica puede encontrarse en el trabajo de Estalrich (1994). En las tablas siguientes pueden observarse estos perfiles para las variables químicas de los suelos que son más importantes en los vertederos (las relacionadas con la salinidad y los niveles de Zn), para las especies vegetales que, después de estos resultados, son consideradas idóneas para la revegetación de los mismos.

En la Tabla 1-a, podemos ver que *Bromus rubens*, *Bromus hordeaceus*, *Gaudinia fragilis*, *Hordeum murinum* y *Bromus tectorum*, entre las Gramíneas muestran una clara preferencia de especies como los *Bromus* a crecer en suelos de cultivos abandonados, como son la mayoría de los suelos de cubrición de los vertederos de RSUeI. *Vulpia ciliata* tiene un perfil inclinado hacia los valores elevados de sulfatos, mas difuso. *Desmazeria rigida* y *Avena barbata* se inclinan por valores de sulfatos medio-bajos. Entre las Leguminosas *Lathyrus angulatus* parece preferir los suelos con contenidos elevados. Mientras que las especies de tréboles de la lista o tienen un comportamiento abiguo como *Trifolium tomentosum*, o se inclinan por suelos con valores medio-bajos.

Tabla 1a. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índices» de las especies de Gramíneas y Leguminosas, que crecen en los suelos de vertederos que presentan un contenido en Cloruros solubles (mg/kg) elevado, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos bajos, y lo hacen peor, o no crecen, en los suelos con contenidos más elevados.

Cloruros	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas					
				(32) 0,30-0,75	(33) 0,76-1,25	(34) 1,26-2,0	(21) 2,01-3,0	(21) 3,01-5,0	(10) 5,01-17,1
GRAMINEAS									
<i>Bromus rubens</i>	44	0,87	0,13	96	41	90	49	261	102
<i>Bromus hordeaceus</i>	91	0,97	0,08	57	95	102	118	134	132
<i>Gaudinia fragilis</i>	12	0,40	0,06	0	38	111	299	131	251
<i>Hordeum murinum</i>	30	0,72	0,06	94	61	59	71	167	302
<i>Bromus tectorum</i>	69	0,99	0,05	61	86	102	114	135	153
<i>Vulpia ciliata</i>	44	0,87	0,05	53	83	90	114	196	102
<i>Desmazeria rigida</i>	10	0,60	0,10	0	137	133	115	215	0
<i>Avena barbata</i>	22	0,60	0,10	0	83	161	228	98	0
LEGUMINOSAS									
<i>Trifolium tomentosum</i>	58	0,96	0,08	40	134	104	111	148	156
<i>Lathyrus angulatus</i>	22	0,60	0,04	64	83	100	163	112	274
<i>Trifolium glomeratum</i>	81	1,00	0,10	40	112	120	142	101	111
<i>Trifolium campestre</i>	78	1,00	0,08	54	117	102	156	92	77
<i>Trifolium striatum</i>	66	0,99	0,06	57	110	141	119	65	91

Nota: Los perfiles «Índices», se muestran en la fila inferior a la correspondiente a los Perfiles de Frecuencias Corregidas y únicamente en los casos en los que el valor de la clase sea significativa al 95, 99 y 99,9 % (positiva o negativamente). Ello depende del n.º de suelos muestreados en dicha clase y la mayor o menor frecuencia en la misma.

Tabla 1-b. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índice» de las especies de Compuestas y «Otras», que crecen en los suelos de vertederos que presentan un contenido en Cloruros solubles (mg/kg) elevados, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos bajos, y lo hacen peor, o no crecen, en los suelos con contenidos más elevados.

Cloruros	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas					
				(32)	(33)	(34)	(21)	(21)	(10)
				0,30-0,75	0,76-1,25	1,26-2,0	2,01-3,0	3,01-5,0	5,01-17,1
COMPUESTAS									
<i>Crepis capillaris</i>	45	0,88	0,04	94	61	78	111	175	134
							+		
OTRAS									
<i>Hirschfeldia incana</i>	41	0,84	0,11	69	33	86	105	192	257
					-			+	++
<i>Polygonum aviculare</i>	9	0,33	0,06	52	50	0	159	159	503
								+	
<i>Reseda lutea</i>	8	0,30	0,05	0	57	111	45	359	188
								+	
<i>Juncus bufonius</i>	8	0,30	0,05	58	0	111	0	359	188
								+	
<i>Plantago coronopus</i>	33	0,76	0,04	42	124	94	65	152	183
				-					
<i>Spergularia rubra</i>	52	0,93	0,05	54	96	93	96	165	145
				-				+	
<i>Silene gallica</i>	46	0,89	0,09	30	149	144	125	62	32
				--	+	+			
<i>Erophila verna</i>	18	0,53	0,05	26	127	111	239	79	0
							+		
<i>Silene colorata</i>	9	0,33	0,04	52	101	246	79	0	0
						+			
<i>Erodium cicutarium</i>	7	0,27	0,05	67	65	317	0	0	0
						+			
<i>Sanguisorba minor</i>	26	0,66	0,05	54	140	112	193	82	0
							+		
<i>Rumex acetosella</i>	23	0,62	0,04	41	159	118	125	93	0

En las Compuestas sólo *Crepis capillaris* prefiere suelos con sulfatos elevados y es bastante indiferente a los suelos con valores medios y bajos.

Entre las «otras familias botánicas»: *Hirschfeldia incana*, *Polygonum aviculare*, *Reseda lutea*, *Juncus bufonius*, *Spergularia rubra* y en menor grado *Plantago coronopus* prefieren los suelos con contenidos elevados de sulfatos, mientras que *Silene gallica*, *Erophila verna*, *Silene colorata*, *Erodium cicutarium*, *Sanguisorba minor* y *Rumex acetosella* prefieren los suelos con valores medio-bajos, pero especialmente destacan por su rechazo a los suelos con contenidos más elevados.

Tabla 2-a. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índice» de las especies de Gramíneas y Leguminosas, que crecen en los suelos de vertederos que presentan un contenido en Sulfatos solubles (mg/kg) elevado, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos bajos, y lo hacen peor, o no crecen, en los suelos con los contenidos más elevados.

Sulfatos	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas					
				(31)	(41)	(26)	(20)	(16)	(15)
				0,8-1,25	1,26-2,0	2,1-3,0	3,1-4,5	4,6-6,6	6,6-84,5
GRAMINEAS									
<i>Hordeum murinum</i>	30	0,72	0,11	45	85	66	75	157	335
<i>Bromus rubens</i>	44	0,87	0,06	93	58	65	120	150	205
<i>Vulpia ciliata</i>	44	0,87	0,04	51	83	105	102	171	160
<i>Bromus tectorum</i>	69	0,99	0,04	72	96	84	109	123	160
<i>Bromus hordeaceus</i>	91	0,97	0,04	85	84	121	116	116	132
<i>Cynosurus echinatus</i>	13	0,42	0,08	35	56	312	174	0	0
<i>Cynodon dactylon</i>	53	0,93	0,06	43	132	120	142	89	56
<i>Vulpia myuros</i>	86	0,99	0,05	79	124	114	105	84	93
LEGUMINOSAS									
<i>Trifolium cernuum</i>	20	0,56	0,09	68	36	29	151	377	100
<i>Medicago polymorfa</i>	7	0,27	0,05	130	0	0	107	269	287
<i>Trifolium arvense</i>	62	0,98	0,06	110	112	121	109	68	81

La Tabla muestra las claras preferencias de *Hordeum murinum* y *Bromus rubens* por los contenidos elevados de Sulfatos, seguidos por *Vulpia ciliata* y *Bromus tectorum*. Mas desdibujado en sus preferencias es *Bromus hordeaceus*. Hacia los valores medios y medio-bajos se inclinan *Cynosurus echinatus*, *Cynodon dactylon* y *Vulpia myuros*.

De las Leguminosas prefiere los valores elevados de sulfatos *Medicago polymorfa*, seguida de *Trifolium cernuum*.

Entre las Compuestas destaca en primer lugar por su preferencia por los contenidos elevados y por los contenidos medio-bajos *Centaurea melitensis*, y por los contenidos medio-bajos, *Hypochoeris glabra*.

De las «Otras familias»: *Hirschfeldia incana*, *Polygonum aviculare*, *Spergularia rubra*, *Juncus bufonius*, y *Diplotaxis virgata* prefieren contenidos elevados de sulfatos. Especialmente las dos primeras especies. Las otras especies de la tabla inclinan sus preferencias por los contenidos medio-bajos, pero más claramente por su rechazo a los suelos con contenidos elevados de sulfatos.

Tabla 2-b. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índice» de las especies de Compuestas y Otras, que crecen en los suelos de vertederos que presentan un contenido en Sulfatos solubles (mg/kg) elevado, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos bajos, y lo hacen peor, o no crecen, en los suelos con los contenidos más elevados.

Sulfatos	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas					
				(31)	(41)	(26)	(20)	(16)	(15)
				0,8-1,25	1,26-2,0	2,1-3,0	3,1-4,5	4,6-6,6	6,6-84,5
COMPUESTAS									
<i>Centaurea melitensis</i>	18	0,53	0,06	50	40	64	83	262	279
<i>Hypochoeris glabra</i>	42	0,85	0,04	43	122	207	142	0	23
				-		+++		-	-
OTRAS									
<i>Hirschfeldia incana</i>	41	0,84	0,13	44	53	70	128	184	270
				-	-			+	+++
<i>Polygonum aviculare</i>	9	0,33	0,08	0	0	64	251	209	335
									+
<i>Spergularia rubra</i>	52	0,93	0,07	52	84	89	116	199	135
				-				++	
<i>Juncus bufonius</i>	8	0,30	0,06	0	92	0	94	235	377
									+
<i>Diplotaxis virgata</i>	34	0,77	0,04	80	54	85	155	166	148
					-				
<i>Silene gallica</i>	46	0,89	0,11	109	120	101	180	0	21
							++	--	-
<i>Sanguisorba minor</i>	26	0,66	0,07	105	155	134	87	0	0
								-	
<i>Rumex acetosella</i>	23	0,62	0,06	99	112	126	196	0	0
<i>Erophila verna</i>	18	0,53	0,05	152	131	161	125	0	0
<i>Parentucellia latifolia</i>	16	0,49	0,05	85	92	181	188	0	0
							+		
<i>Silene colorata</i>	9	0,33	0,04	50	122	258	83	0	0
						+			

Entre el comportamiento de las especies de Gramíneas respecto a los contenidos de sodio cambiante de los suelos, en el rango que presentan los suelos de los vertederos y los suelos de referencia de su entorno, los perfiles ecológicos ponen de manifiesto la clara preferencia de *Hordeum murinum*, *Vulpia myuros* y *Bromus tectorum* por los suelos con contenidos elevados de sodio.

Bromus hordeaceus, *Bromus madritensis*, y *Bromus madritensis* no presentan un comportamiento claro frente al contenido de sodio cambiante de los suelos.

Desmazeria rigida y *Cynosurus echinatus* prefieren suelos con contenidos medios y rechazan los suelos de contenidos más elevados; aunque se trata de especies no muy muestreadas, por ello la información sobre su comportamiento podría aparecer como más difuso, pero ello no ocurre con *Cynosurus echinatus*.

Tabla 3-a. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índices» de las especies de Gramíneas y Leguminosas, que crecen en los suelos de vertederos que presentan un contenido de Sodio cambiante (mg/100gr) elevado, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos medios, y lo hacen peor en los suelos con los contenidos más elevados.

Sodio	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas				
				(63)	(22)	(31)	(17)	(18)
				0,50-1,10	1,11-1,70	1,71-2,90	2,91-4,50	4,51-35,0
GRAMINEAS								
<i>Hordeum murinum</i>	30	0,72	0,11	63	45	48	177	307
				—				+++
<i>Vulpia myuros</i>	44	0,87	0,08	49	109	99	181	190
<i>Bromus rubens</i>	44	0,87	0,07	81	93	44	201	171
						—	+	+
<i>Bromus tectorum</i>	69	0,99	0,06	100	89	80	167	121
						—	+	
<i>Bromus hordeaceus</i>	91	0,97	0,04	92	98	80	136	129
							+	
<i>Bromus madritensis</i>	45	0,88	0,03	74	122	108	98	167
<i>Desmazeria rigida</i>	10	0,35	0,03	71	205	121	266	0
<i>Cynosurus echinatus</i>	13	0,42	0,06	36	211	224	0	64
				—		+		
LEGUMINOSAS								
<i>Trifolium cernuum</i>	20	0,56	0,06	23	102	121	222	209
				—				
<i>Trifolium tomentosum</i>	58	0,96	0,03	90	82	83	168	117
							+	

En lo que respecta a las Leguminosas, *Trifolium cernuum* prefiere los suelos de contenidos más elevados, mientras que *Trifolium tomentosum* muestra una mayor indiferencia pero sus perfiles de frecuencias corregidas e índice, señalan como suelos preferenciales a los comprendidos entre 2,91 y 4,50 mg/100g de sodio cambiante.

Los perfiles ecológicos de las tres compuestas que aparecen en la Tabla: *Crepis capillaris*, *Carduus tenuiflorus* y *Anacyclus clavatus* muestran una discreta preferencia por los suelos con contenidos de sodio elevados.

En el grupo de «Otras Familias Botánicas» se llevan claramente la palma *Hirschfeldia incana* y *Polygonum aviculare*, seguidas de *Spergularia rubra*, *Diplotaxis virgata* y *Plantago coronopus*.

Las otras especies de la Tabla: 3-b, *Erophila verna*, *Silene gallica*, *Sanguisorba minor*, *Rumex acetosella* y *Parentucellia latifolia* prefieren los suelos con contenidos medios de sodio cambiante y rechazan claramente los suelos con contenidos más elevados.

Finalmente, *Silene colorata* se decanta claramente por los suelos con contenidos bajos y rechaza los de contenidos elevados de sodio, aunque esta especie no apareció en muchas ocasiones en los muestreos de parcelas efectuados.

Tabla 3-b. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índices» de las especies de Compuestas y de otras Familias, que crecen en los suelos de vertederos que presentan un contenido de Sodio cambiante (mg/100gr) elevado, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos medios, y lo hacen peor o no crecen en los suelos con contenidos más elevados.

Sodio	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas				
				(63)	(22)	(31)	(17)	(18)
				0,50-1,10	1,11-1,70	1,71-2,90	2,91-4,50	4,51-35,0
COMPUESTAS								
<i>Crepis capillaris</i>	45	0,83	0,08	69	30	173	118	149
				-	-	++		
<i>Carduus tenuiflorus</i>	28	0,69	0,05	77	73	52	158	239
<i>Anacyclus clavatus</i>	83	0,99	0,04	103	90	79	128	131
						-		
OTRAS								
<i>Hirschfeldia incana</i>	41	0,84	0,18	52	50	59	238	265
				--			++	+++
<i>Polygonum aviculare</i>	9	0,33	0,06	0	152	127	296	186
				-				
<i>Spergularia rubra</i>	58	0,93	0,04	73	79	112	136	161
<i>Diplotaxis virgata</i>	34	0,77	0,03	91	60	71	130	197
								+
<i>Plantago coronopus</i>	33	0,76	0,03	76	101	72	196	183
<i>Erophila verna</i>	18	0,53	0,08	79	114	243	0	0
						++		
<i>Silene gallica</i>	46	0,89	0,08	114	119	137	57	0
								--
<i>Sanguisorba minor</i>	26	0,66	0,07	82	131	206	34	0
<i>Rumex acetosella</i>	23	0,62	0,05	104	89	190	38	0
<i>Parentucellia latifolia</i>	16	0,49	0,04	74	214	171	111	0
<i>Silene colorata</i>	9	0,33	0,03	159	76	108	0	0

En la Tabla 4, podemos observar un dato de gran interés, que es el que las especies: *Hordeum murinum*, *Bromus rubens*, *Bromus tectorum*, *Desmazeria rigida*, *Medicago polymorpha*, *Carduus tenuiflorus*, *Chondrilla juncea*, *Hirschfeldia incana*, *Polygonum aviculare*, *Juncus bufonius* y *Reseda lutea*, son capaces de crecer en suelos de vertederos con valores elevados de conductividad eléctrica.

Los valores mostrados en la Tabla son los comúnmente encontrados en los vertederos. Por tanto las especies mencionadas pueden intervenir en la revegetación de estos suelos en los taludes, generalmente de fuertes pendientes, «salinizados» y en las «zonas de descarga» de muchos de los vertederos, y así contribuir a reducir la generación de lixiviados contaminante, evitando que puedan llegar a los cursos de agua y a los cultivos y pastos frescos, situados en el entorno.

Tabla 4. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» e «índices» de las especies que crecen en los suelos de vertederos que presentan una conductividad eléctrica ($\mu\text{mho/cm}$) elevada, junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos bajos, y lo hacen peor, o no crecen, en los suelos con valores más elevados.

Conductividad	Abundancia (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	N.º de muestras de suelos estudiadas					
				(25)	(29)	(27)	(32)	(26)	(12)
				43-75	76-95	96-125	126-185	186-275	276-695
$\mu\text{mho/cm}$									
GRAMINEAS									
<i>Hordeum murinum</i>	30	0,72	0,17	40	0	74	110	154	377
					--				+++
<i>Bromus rubens</i>	44	0,87	0,07	54	59	63	117	184	142
								++	
<i>Bromus tectorum</i>	69	0,99	0,07	105	98	67	123	115	164
					--				++
<i>Desmazeria rigida</i>	10	0,35	0,04	0	104	93	55	235	116
								+	
LEGUMINOSAS									
<i>Medicago polymorpha</i>	9	0,33	0,05	86	74	0	134	112	539
									+
COMPUESTAS									
<i>Carduus tenuiflorus</i>	28	0,69	0,05	86	37	79	84	165	224
									+
<i>Chondrilla juncea</i>	16	0,49	0,04	75	97	139	147	101	157
OTRAS									
<i>Hirschfeldia incana</i>	41	0,84	0,20	14	12	68	126	212	245
				--	---			+++	++
<i>Polygonum aviculare</i>	9	0,33	0,07	0	0	124	104	138	559
									++
<i>Juncus bufonius</i>	8	0,30	0,04	0	65	0	176	217	157
<i>Reseda lutea</i>	8	0,30	0,04	0	195	104	117	145	157
<i>Silene colorata</i>	9	0,33	0,04	67	115	63	262	64	0
							+		
<i>Sanguisorba minor</i>	26	0,26	0,06	162	120	86	146	22	0
								-	
<i>Rumex acetosella</i>	23	0,62	0,06	210	113	71	123	50	0
				+					
<i>Silene gallica</i>	46	0,89	0,04	105	135	121	112	50	27
								-	

Por último, en la tabla 5, podemos observar un dato de gran interés que es el que las especies: *Vulpia ciliata*, *Hordeum murinum*, *Centaurea melitensis*, *Crepis capillaris*, *Filago pyramidata*, *Carduus tenuiflorus*, *Hirschfeldia incana*, *Spergularia rubra* y *Neotostema apulum* son capaces de crecer en suelos de vertederos con cantidades elevadas de Zn. Los valores elevados presentados en la Tabla son los comúnmente encontrados en los vertederos, no así en los suelos de minas abandonadas, en donde el Zn alcanza valores mucho más elevados.

Por tanto las especies mencionadas pueden intervenir en la revegetación de estos suelos en los taludes, generalmente de fuertes pendientes en muchos de los vertederos, y así contribuir a frenar los procesos erosivos al reducir el arrastre de los mismos, la generación de grietas y de lixiviados contaminantes que puedan llegar a los cursos de agua y a los cultivos y pastos frescos, situados en su inmediato entorno.

Tabla 5. Perfiles ecológicos de «frecuencias corregidas» de las especies tolerantes al Zn (que crecen preferentemente en los suelos de vertederos que lo contienen en cantidades elevadas), junto con aquellas otras (sombreadas en gris) que crecen preferentemente en suelos con contenidos muy bajos o bajos de Zn, y lo hacen peor, o no crecen, en los suelos con contenidos elevados .

Cinc	Abund. (n.º)	Entropía Especie	Inf. mutua Especie- Factor	Contenidos de Zn (mg/kg)					
				10-20	21-60	61-100	101-300	301-600	> 600
GRAMINEAS									
<i>Vulpia ciliata</i>	44	0,87	0,26	28	55	64	110	343	300
<i>Hordeum murinum</i>	30	72,0	0,03	62	81	73	143	168	189
<i>Thaenatherum caput-medusae</i>	77	1,00	0,10	114	113	114	105	0	49
LEGUMINOSAS									
<i>Trifolium glomeratum</i>	81	1,00	0,13	147	126	100	86	15	23
<i>Trifolium cherlerii</i>	83	0,99	0,05	121	111	106	90	75	22
<i>Trifolium striatum</i>	66	0,99	0,05	142	118	85	106	57	28
<i>Trifolium scabrum</i>	23	0,62	0,05	54	211	82	93	54	0
COMPUESTAS									
<i>Centaurea melitensis</i>	18	0,53	0,08	0	27	104	119	349	209
<i>Crepis capillaris</i>	45	0,88	0,10	83	64	62	119	195	293
<i>Filago pyramidata</i>	59	0,97	0,07	63	82	74	155	170	127
<i>Carduus tenuiflorus</i>	28	0,69	0,03	67	69	89	96	179	269
<i>Andriala integrifolia</i>	61	0,97	0,03	92	111	128	61	61	92
<i>Logfia gallica</i>	72	1,00	0,03	113	128	104	74	69	52
OTRAS									
<i>Hirschfeldia incana</i>	41	0,84	0,22	61	23	69	118	276	368
<i>Spergularia rubra</i>	52	0,93	0,06	84	65	78	124	193	181
<i>Neotostema apulum</i>	11	0,38	0,03	0	44	114	147	228	171
<i>Plantago coronopus</i>	33	0,76	0,06	209	118	47	81	114	57
<i>Cerastium glomeratum</i>	54	0,94	0,09	93	153	116	69	0	69

Por tanto, las especies mencionadas pueden intervenir en la revegetación de estos suelos en los taludes, generalmente de fuertes pendientes, en muchos de los vertederos, y así contribuir a frenar los procesos erosivos al reducir el arrastre de los mismos, la generación de grietas y de lixiviados contaminantes que puedan llegar a los cursos de agua y a los cultivos y pastos frescos, situados en su inmediato entorno. Y, más interesante aún, el que pudieran utilizarse para cubiertas pluriespecíficas.

Ensayos en campo

Paralelamente con los estudios realizados expuestos en el apartado anterior se han llevado a cabo distintos ensayos en tres cubiertas de vertederos (Móstoles, Villaviciosa y Mejorada) después del quinto año de sellado. Básicamente hemos empleado el mismo modelo de restauración: enmiendas de fertilidad en la cubierta edáfica del VRSU (N, P, K), siembra de especies autóctonas y comerciales y adición de mezcla de semillas autóctonas al banco del suelo. En la tabla 6 se pueden observar las características esenciales de estos ensayos, todos ellos de parcelas de 500 cm², con tres replicaciones por control y tratamiento.

Tabla 6. Características de los ensayos experimentales de restauración en tres VRSU e I de la CM mediante enmiendas de fertilidad en el suelo (añadiendo N, P, K o los tres a la vez) o semillas después del 5.º año de sellado.

Vertederos	C	N	P	K	NPK	Semillas autóctonas	Semillas comerciales
Villaviciosa Plataforma (suelo sin pendiente)	+	+	+	+	+	<i>Ornithopus compressus</i> <i>Medicago lupulina</i>	Lupino
Móstoles Zonas en el talud con suelo desnudo	+	+	+	+	+	Mezcla del banco de semillas de suelos de ecosistemas referencia	-
Mejorada Talud con suelo desnudo < 30% pendiente Talud con suelo desnudo > 30% pendiente	+	+	+	+	+	Mezcla banco semillas suelos ecosistemas referencia -	- Albardín

La biomonitorización a lo largo de dos años consecutivos ha conducido a escasos resultados en relación a la mejora de la revegetación en los mismos. Las principales causas estriban en diferentes factores: erosión constante del material fino y manchas puntuales de metales pesados en el caso del VRSU de Móstoles, excesiva salinidad y escaso material edáfico en el VRSU de Mejorada y acciones constantes no previstas en las cubiertas de los vertederos (caso de Villaviciosa y de Mejorada en que se iban superponiendo usos no contemplados). Sin embargo, los resultados también nos conducen a ver más la posibilidad de siembras de cubiertas poliespecíficas, frente a la siembra de una sola especie a la hora de fijar la cubierta edáfica de los taludes y tolerancia de especies al Zn del suelo. Lógicamente, la selección de las especies debe ir vinculada a la composición de los suelos de cubrición.

A la vez que se estudiaba el comportamiento a nivel de especie y de comunidad, también se realizaron ensayos en campo (Finca de la Higuera, del CSIC y taludes de carretera), que permitieran conocer algunas respuestas de las plantas a factores abióticos de tipo físico (pendiente del talud y orientación de taludes), así como bióticos (tales como hábito de crecimiento de la especie en relación a la cobertura horizontal del suelo, tipos de enraizamiento con fines a la sujeción en suelos poco profundos, y posibilidad de producción de semillas). Las características señaladas (Tabla 7), juegan un importante papel para la revegetación de los vertederos y no solamente pueden tenerse en cuenta las relaciones ecoquímicas.

Por otra parte, el binomio perturbación-sucesión implica conocer los mecanismos posibles de interacciones entre especies. Podemos decir que hay tres modelos de rutas que producen la secuenciación de especies en la sucesión: facilitación, tolerancia e inhibición. Es suficientemente conocido el hecho de que una perturbación abre un «espacio» relativamente amplio en relación a los recursos. Así, el medio perturbado puede sólo favorecer a especies pioneras, o también puede favorecer a cualquier especie adaptada a sus condiciones. En el primero de los casos, la ruta seguirá un modelo de «facilitación», mientras que en el segundo, puede darse o un modelo de tolerancia o el de inhibición. Por ejemplo, si nos encontramos ante un caso de ecosistema degradado por un cambio de uso del suelo, es probable acertar haciendo una rehabilitación del mismo mediante la introducción de una especie pionera de la sucesión; para ello se tendrá en cuenta un ecosistema de referencia (análogo al que deberíamos tener antes de producirse la perturbación). Pero si nos encontramos ante un caso de ecosistema con suelo contaminado,

podremos hacer una rehabilitación mediante especies tolerantes a los factores del medio después de la perturbación.

Tabla 7. 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.

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 orbicularis</i> <i>Medicago rigidula</i> <i>Trifolium hirtum</i>	<p style="text-align: center;"><i>Autóctonas</i></p> <i>Ornithopus compressus</i> <i>Trifolium striatum</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> <p style="text-align: center;"><i>Comercial</i></p> <i>Medicago sativa (alfalfa)</i>	<i>Trifolium smyrnaeum</i> <i>Medicago lupulina</i>

Valoración global de resultados

Teniendo en cuenta el trabajo de Pastor y Hernández (2002a), 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 8 las diferencias de pH y de conductividad en distintas zonas de la cubierta edáfica 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 conductividad, 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.

Tabla 8. Variación de la conductividad (S/cm) a los diez años del sellado en un mismo VRSU con varios taludes (Mejorada) o con solo un talud pero con zonas muy diferentes en sus partes alta, media y baja (Móstoles).

CUBIERTA EDÁFICA DEL VRSU DE MEJORADA				CUBIERTA EDÁFICA DEL VRSU DE MÓSTOLES			
		<i>pH</i>	<i>Conductv. (iS/cm)</i>			<i>pH</i>	<i>Conductiv.</i>
TALUD 1	Suelo 1	7,8	297	ZONA 1	Suelo 1	7,1	706
	Suelo 2	7,8	361		Suelo 2	7,1	484
	Suelo 3	7,9	460		Suelo 3	7,4	452
TALUD 2	Suelo 1	7,6	395	ZONA 2	Suelo 1	7,3	450
	Suelo 2	7,7	553		Suelo 2	7,4	494
	Suelo 3	7,7	514		Suelo 3	4,2	669
TALUD 3	Suelo 1	7,9	564	ZONA3	Suelo 1	3,4	1.032
	Suelo 2	7,6	551		Suelo 2	3,2	1.882
	Suelo 3	7,6	810		Suelo 3	7,4	394
TALUD 4	Suelo 1	7,9	282	ZONA 4	Suelo 1	2,1	2.810
	Suelo 2	7,7	364		Suelo 2	2,7	2.690
	Suelo 3	7,9	405		Suelo 3	2,6	2.620

Así mismo, en dicha tabla 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.

Las especies vegetales que crecen espontáneamente en la cubierta de vertederos de residuos mixtos (urbanos e industriales) que fueron sellados en las décadas pasadas, 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.

Los ensayos realizados nos lleva a concluir que las incidencias y/o usos sufridos continuamente después del primer sellado, así como las características particulares de cada uno de los vertederos presentan muchas dificultades tanto para la revegetación como para la fitorrestauración de su suelo de sellado.

Podemos afirmar que hay mucha complejidad de los procesos implicados en la restauración de vertederos debido a causas antrópicas. Esta complejidad se amplifica en todo lo relacionado con los mecanismos que se ponen en juego por la acción humana en la gestión del territorio, usos inapropiados de recuperación del vertedero, deposición continua, muchas veces, de otros vertidos. Por otra parte, si no conocemos el comportamiento «normal» de un ecosistema afectado por el impacto del vertedero, no podemos saber aquellos componentes del mismo que son afectados. De ahí, la importancia de contar con un ecosistema de referencia lo más análogo posibles al que se desea restaurar.

Agradecimientos: Al Programa EIADES de la Comunidad de Madrid y al Proyecto CTM 2008-04827/TECNO del MCEI.

Referencias bibliográficas

- ADARVE, M. J.; HERNÁNDEZ, A. J.; GIL, A., y PASTOR, J. (1998). «B, Zn, Fe and Mn content in four grassland species exposed to landfill leachates». *J. Environmental Quality*, 27: 1286-1293.
- ESTALRICH, E. (1994). *Estudio Ecológico de Taludes de Carretera*. Tesis doctoral, Universidad de Alcalá.
- HERNÁNDEZ, A. J.; ADARVE, M. J.; GIL, A., y PASTOR, J. (1998). «Soil salination from landfill leachates: effects on the macronutrient content and plant growth of four grassland species». *Chemosphere*, 38: 1693-1711.
- HERNÁNDEZ, A. J.; URCELAI, A., y PASTOR, J. (2002a). «Características químicas de suelos y características importantes de las fases vegetativa y regenerativa de especies colonizadoras de vertederos sellados en relación a barbechos y pastos del territorio arcésico». En: C. CHOCARRO *et al.* (eds.), *Producción de pastos, forrajes y céspedes*, 153-158. Ediciones de la Universidad de Lleida.
- HERNÁNDEZ, A. J.; PASTOR, J.; PRIETO, N., y LACASTA, C. (2002b). «Evaluación de cubiertas de tréboles subterráneos y de vegetación residente encaminada hacia estrategias de manejo para establecer un viñedo ecológico». En: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario*. E. DAPENA y J. L. PORCUNA (eds.): 645-657. Ed. SEAESERIDA, Gijón.
- HERNÁNDEZ, A. J. y PASTOR, J. (2004). «Incidencia del Zn de suelos contaminados de la región central sobre comunidades herbáceas de pastizales». *Pastos y Ganadería Extensiva*. B. García Criado *et al.* (eds.). Ed. SEEP: 179-184.
- HERNÁNDEZ, A. J. y PASTOR, J. (2005). «Incidencia conjunta de metales pesados en pastos de vacuno ubicados en el entorno de una mina abandonada en la Sierra de Guadarrama». En *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural*. B. de la Roza.; A. Martínez-Fernández.; A. Carballal (eds.): 955-963. Ed. SERIDA, Gijón.
- HERNÁNDEZ, A. J. y PASTOR, J. (2008a). «Validated Approaches to Restoring the Health of Ecosystems Affected by Soil Pollution». En: J. B. Dominguez y Frank Columbus (eds.). *Chapter 2: Soil Contamination Research Trends*, pp. 51-72. Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, NY USA.
- HERNÁNDEZ, A. J. y PASTOR, J. (2008b). «La restauración ecológica de ecosistemas degradados». En *Contaminación de Suelos. Tecnologías para su Recuperación*. Ed. CIEMAT: 61-82.
- LOOSE, E. N. G. y STAARLEN, N. M. (1001). «Developments and present status of terrestrial ecotoxicology». En *Ecological Responses to environmental Stresses*. J. Rozema y Verkleij, J. A. C. (eds.): 210-218. Ed. Kluwer Academic Publishers, The Netherland.
- LUBCHENCO, J. *et al.* (1991). «The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda». *Ecology*, 72: 371-412.
- MARTÍN, J. M.; PASTOR, J., y HERNÁNDEZ, A. J. (2003). «Sucesión ecológica en canteras de yesos como proceso de referencia para la gestión de su restauración con cubiertas vegetales». En: Bienes, R. y Marqués, M. J. (eds.). *Control de la erosión y degradación del suelo*. IMIA, 87-90. CAM, Madrid.
- PASTOR, J. y HERNÁNDEZ, A. J. (1999). «Fitorrestauración en vertederos RSU: Ensayos, Metodologías y Resultados. En: *Fitorrestauració de Sòls contaminats*: 56-60. Ed. ICEA. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- PASTOR, J. y HERNÁNDEZ, A. J. (2001). «Estudio del carácter nitrófilo de las especies de comunidades vegetales pastadas por ganado ovino, vinculado a procesos de antropización». En *Biodiversidad en Pastos*: 161-167. Ed. Generalitat Valenciana y Cibio.
- PASTOR, J. y HERNÁNDEZ, A. J. (2002a). «Estudio de suelos de vertederos sellados y de sus especies vegetales espontáneas para la fitorrestauración de suelos degradados y contaminados del centro de España». *Anales de Biología*, 24: 159-167.

- PASTOR, J. y HERNÁNDEZ, A. J. (2002b). «Evaluation of the suitability of two grass species for phytorestoration of contaminated soils from landfills under field and experimental conditions». *Man and Soil at the Third Millennium*. J. L. Rubio *et al.* (eds.). Ed. Geoforma: 1687-1701.
- PASTOR, J. y HERNÁNDEZ, A. J. (2002c). «Estudio de suelos de vertederos sellados y de sus especies vegetales espontáneas para la fitorrestauración de suelos degradados y contaminados del centro de España». *Anales de Biología*, 24: 159-167.
- PASTOR, J.; HERNÁNDEZ, A. J., y PRIETO, N. (2002c). Phytoremediation studies of Zn polluted soils using *Bromus rubens* L. *Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions*. A. Faz; R. Ortiz y A. R. Mermut (eds.). Ed. Quaderna Editorial/Interlibro, vol. II: 445-447.
- PASTOR, J.; HERNÁNDEZ, A. J.; MARTÍN, J. M., y CASTELLÓ, R. (2003). «Estudio de los contenidos de la materia orgánica y nitrógeno en escombreras de yeso en diferente fase de abandono como base para acciones de revegetación». En: *Control de la erosión y degradación del suelo*, 95-98. Bienes, R. y Marqués, M. J. (eds.). CAM, Madrid.
- PASTOR, J. y HERNÁNDEZ, A. J. (2004). «Evaluating the response of plant community to Zn polluted soil as a basis for the revegetation/remediation of polluted sites». *Fourth International Conference on Land Degradation*. Cartagena, Murcia (España), 12-17 septiembre.
- URCELAY, A.; PASTOR, J.; OLIVER, S.; SÁNCHEZ, A., y HERNÁNDEZ, A. J. (1993). «Use of herbaceous species in land reclamation of dumps areas in Central Spain». En: *Aire-Residuos, Proc. III Congreso de Ingeniería Ambiental*: 524-532. Bilbao Nazioarteko Erakustazoka, Bilbao.



Estudio multidisciplinar de vertederos sellados

Caracterización y pautas de recuperación

Editoras:

Ana Jesús Hernández

Carmen Bartolomé



Universidad
de Alcalá

SERVICIO DE PUBLICACIONES



R. 20.452

El contenido de este libro no podrá ser reproducido,
ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor.
Todos los derechos reservados.

© Universidad de Alcalá, 2010
Servicio de Publicaciones
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares
www.uah.es

I.S.B.N.: 978-84-8138-865-7
Depósito Legal: M-11864-2010

Diseño de cubierta: Gráficas 85, S. A.
Composición: Gráficas 85, S. A.
Impresión y encuadernación: Gráficas 85, S. A.
Impreso en España

