

## Evaluación de la complejidad de vertederos-cubierta edáfica y suelos de las áreas de descarga-en relación a la revegetación y la fitoremediación

J. PASTOR<sup>1</sup> & A.J. HERNÁNDEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ecología de Sistemas, IRN, CCMA, CSIC. Madrid, España.

<sup>2</sup> Dpto. de Ecología, Universidad de Alcalá. Madrid, España..

### Resumen

Este trabajo muestra una evaluación realizada en 14 vertederos RSU que fueron sellados por vez primera hace unos 20 años en la CAM. Según un informe, la Comunidad, considera que éstos son los enclaves con suelos potencialmente más contaminados existentes en la misma. Los análisis 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: las diferencias de los valores de algunos parámetros edáficos y biodiversidad entre los vertederos y los ecosistemas de referencia, así como las diferencias en parámetros edáficos de los distintos taludes de vertederos. También se ha estudiado 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.

Se concluye que las incidencias y/o usos sufridos continuamente después del primer sellado, así como las características particulares de cada uno de los vertederos conllevan dificultades tanto para la revegetación como para la fitorestaauración de los suelos.

### Abstract

This report describes an evaluation of 14 UWLF in the Madrid Community that were sealed for the first time about 20 years ago. These areas are considered to potentially have the most polluted soils of the region. Phytoecological and soil studies undertaken during the course of these years, both on the sealing soil covers and the soils of disposal areas have revealed certain aspects that could help in the

design of restoration measures for these landscapes. Without simply summarising these aspects, we systematically report the main questions addressed: differences between the landfills and reference ecosystems in soil and biodiversity variables; and differences in soil variables among the different landfill slopes. Also examined was the specialisation of the flora to the different ranges and levels of disturbance, and the adaptive strategies developed by herbaceous species colonizing these settings, as revealed by several biological traits.

Our findings reveal that the events and continued land uses suffered since the initial sealing of the landfills, as well as the particular features of each landfill, have compromised revegetation or soil phytoremediation measures.

## Introducción

Después de 20 años del sellado de muchos de los VRSU de la CAM, 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. En trabajos anteriores (citados en la bibliografía) se argumentan mejor alguno de los aspectos relacionados con esta temática. Sin embargo, 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.

## Material y métodos

Se evalúa 14 VRSU sellados en la Comunidad de Madrid en los que no existió ningún proyecto previo de recuperación. Los análisis se han realizado según Hernández y Pastor (1989).

## Resultados

Los residuos depositados en los catorce vertederos estudiados en este trabajo (tabla 1), son mixtos (sólidos urbanos, industriales e inertes) y sin ningún tipo de tratamiento previo. El material edáfico de cobertura no sobrepasó los 40 cm de profundidad. Los taludes tienen por lo general más de 15 m de altura y, en ocasiones están superpuestos debido a las posteriores reutilizaciones para vertidos encima de lo sellado. Por otra parte, presentan pendientes muy acusadas, por encima del 40% en muchos de ellos. Las características de los taludes afectan no solo a la colonización de la vegetación de estos sistemas, sino también a las áreas de descarga de los lixiviados de escorrentía superficial. Incluso, en el caso de tener un solo talud (Móstoles), su escorrentía presenta un modelo en abanico, por lo que afecta de forma diferente a la biodiversidad del área de descarga (tabla 4). Además, suele haber bastante variación en los parámetros edáficos en un mismo talud (tabla 3), aunque, lógicamente existan diferencias en relación al material de cobertura procedente de los distintos sustratos (tabla 2).

Tabla 1. Vertederos sellados de la CAM objeto de este trabajo.

Localidad	Año de sellado	Ecosistema descarga principal	Usos e incidencias posteriores al sellado	Núm. total taludes 2006
Colmenar Viejo	1986	Pasto vacuno	Pastoreo itinerante de ovino; vallado y reforestación con pinos.	3
San Lorenzo	1987	Vaguada	Ardió a los dos años; pastoreo itinerante de ovino y vacuno; urbanización en área de descarga	3
El Escorial	1988	Fresnedal	Reutilización vertido de escombros y pasto de vacuno	4
Móstoles	1986	Humedal	Cultivo cereal en plataforma y pastoreo itinerante de ovino; rutas a caballo	1
Villaviciosa	1987	Ladera	Uso para recreo y senderismo	1
Navalcarrero	1989	Pasto ovino y humedal	Cultivo de cereal; campo de tiro; nueva utilización para vertidos; urbanización actual	-
Alcalá de Henares	1986	Vaguada	Siembra de acacias; otras siembras de arbóreas; siembras con riego del río	1
Torrejón de Ardoz	1982	Humedal	Siembra de pinos; uso para nuevos vertidos y más rellenos del humedal con vertidos	3
Torrejón Industrial	1991	Humedal con <i>Tamarix</i>	Nuevos vertidos de escombros; nuevo sellado en 1994; siguen las deposiciones.	> de 12
.Mejorada	1986	Ladera y vaguada	Pasto itinerante con ovino; campo de tiro; reestructuración por el AVE; reforestación con pinos; siembra de herbáceas no autóctonas.	3
Getafe	1986	Humedal	Reutilizado para nuevos vertidos de inertes y de escombros industriales	12
Pinto	1986	Ladera y vaguada	Reutilizado para nuevos vertidos; actualmente en uso y controlado	4
Arganda	1987	Ladera y vaguada	Incontrolado, se siguen depositando basuras e inertes	3
Aranjuez	1987	Arroyo	Ardió a los tres años; corrección de elevadas pendientes por desmoronamiento	1

Tabla 2. Valores medios alcanzados para 22 parámetros edáficos después del 4º año del sellado inicial (datos medios de 4 muestras/vertedero tomadas en la misma primavera).

Variables edáficas	Granitos y gneises	Arcosas	Calizas y margas	Margas yesferas
pH	7.0±0.2	7.1±0.4	7.6±0.1	7.6±0.3
M.O. (%)	1.5±0.5	0.6±0.3	1.5±0.03	0.36±0.3
N total (%)	0.080±0.030	0.033±0.010	0.094±0.056	0.048±0.004
P (mg/100g)	21.1±19.2	13.2±9.0	6.3±2.5	9.0±1.3
Na (mg/100g)	1.8±0.7	6.9±3.7	1.3±0.2	1.9±1.5
K (mg/100g)	17.2±9.5	21.8±3.8	32.3±9.9	13.1±1.1
Ca (mg/100g)	350.0±172.9	335.0±144.5	715.0±65.0	1396.7±1108.2
Mg (mg/100g)	9.6±3.6	37.2±23.3	25.1±2.8	6.60±1.7
Fe (mg/Kg)	525.5.2±2546.6	13890.9±1855.6	91.0±42.0	126.0±49.0
Zn (mg/Kg)	125.5±69.8	83.5±146.0	57.5±10.5	33.3±5.7
Cu (mg/Kg)	8.7±19.4	150.9±730.2	13.0±11.0	5.0±5.2
Pb (mg/Kg)	7.7±5.6	72.8±297.0	28.5±3.5	0.0±0.0
Ni (mg/Kg)	22.2±3.6	15.7±8.1	22.5±3.5	17.7±1.2
Co (mg/Kg)	0.0±0.0	1.5±2.3	0.0±0.0	0.0±0.0
Argilla (%)	11.8±0.9	20.4±4.3	23.4±3.4	11.7±2.9
Limo (%)	19.1±1.5	23.1±7.8	26.3±2.1	11.2±3.5
Arena tot (%)	69.1±2.3	55.6±14.0	50.6±1.1	66.3±16.2
Arena gr (%)	47.8±3.0	36.4±10.4	27.1±4.4	15.3±5.7
Arena fina (%)	21.2±2.1	20.0±2.6	23.2±3.3	51.0±10.6
C. Campo (%)	10.9±1.0	18.5±4.1	22.1±4.3	20.3±3.5
P. March (%)	5.9±0.6	10.2±3.1	13.0±0.8	12.1±1.3
Aigua útil (%)	5.0±0.5	8.3±1	9.1±3.5	8.2±2.4

Tabla 3. Variación de parámetros en los suelos de los taludes y en sus respectivas plataformas después de diez años de sellado (suelos básico y ácido).

	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
Talud 1	Mejorada 7.8-7.9-7.6	Móstoles 7,1-7,1-7,4	Mejorada 297-361-460
Talud 2	7,6-7,7-7,7	7,3-7,4-4,2	Móstoles 706-484-452
Talud 3	7,9-7,6-7,6	3,4-3,2-7,4	450 -494-669
Plataforma	7,9-7,7-7,9	2,1-2,7-2,6	1.032-1.882-394
			2.810-2.690-2.620

Tabla 4. Variación de la biodiversidad vegetal (riqueza de especies vasculares) en las áreas de descarga de tres VRSU a los 5 años de su sellado inicial, afectadas por los flujos de lixiviados de escorrentía superficial producidos (N= ecosistema de referencia).

Alcalá		Torrejón				Móstoles											
N	A	B	N	A	B	C	D	N	A	B	C	D	E	F	G	H	
75	36	46	61	32	45	35	50	73	32	32	35	35	37	40	35	71	

Sin duda, los resultados relacionados con la vegetación (tablas 4, 5 y 6) nos han llevado a estudiar más profundamente algunas características del efecto de la perturbación en las especies y comunidades que se presentan con más frecuencia en estos escenarios y que resumimos en el cuadro 1.

Tabla 5. Resultados que muestran diferencias significativas (99,9 %) correspondientes a 36 muestras tomadas en vertederos del territorio arcóscico (5º año después del sellado inicial) y a 55 tomadas en ecosistemas de referencia en el mismo territorio.

	Vertederos	Ecosistemas de referencia
Recubrimiento total vegetación (%)	34,9 ± 17,1	60,6 ± 25,0
Altura media vegetación (cm)	14,9 ± 9,1	22,7 ± 10,2
Diversidad vegetal (n / m <sup>2</sup> )	15,5 ± 7,3	29,5 ± 11,4
Densidad Nematodos (n /100cm <sup>3</sup> )	45,6 ± 38,3	122 ± 50,7

Tabla 6. Variación de aniones (ppm) en la cubierta edáfica de tres vertederos sustrato arcóscico a los seis años del sellado inicial en relación a la revegetación surgida del banco de semillas del suelo de cubrición.

VRSU	Sulfátos	Cloruros	Nitratos	Fluoruros
<b>Mejorada</b>				
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>Navalcarrero</b>				
Suelo bajo gramíneas	11,1	8,3	3,8	0,9
Suelo desnudo	123,4	145,6	43,3	0,9

Cuadro 1.

<b>LA ESPECIALIZACIÓN DE LA FLORA A LOS RANGOS DE PERTURBACIÓN</b>	
* NITROFILIA Y FOSFOROFILIA	(Pastor y Hernández, 2001)
* Comportamiento de las especies en relación a los nutrientes más afectados por la acción antrópica: FERTILIDAD-SALINIDAD AD. (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).	
<b>ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS DE LAS ESPECIES VEGETALES PUESTAS DE MANIFIESTO POR DIFERENTES ATRIBUTOS BIOLÓGICOS</b>	
* Comportamiento frente a los fotoperíodos ( cortos o largos) junto al mayor o menor número de días necesarios para completar el ciclo fenológico:	
<b>ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES DEL CLIMA MEDITERRÁNEO (Hernández et al., 2002)</b>	
* Presencia en la comunidad vegetal de especies con diferentes formas, tamáños y dureza de las semillas: PROCESOS LIGADOS A LA SUCESIÓN ECOLÓGICA (Hernández et al., 2002; Martín et al., 2003)	

## Conclusiones

Se concluye que las incidencias y/o usos sufridos continuamente después del primer sellado, así como las características particulares de cada uno de los vertederos, conlleven dificultades tanto para la revegetación como para la fitorrestauración de los suelos. Sin embargo, entre la complejidad de los procesos implicados en los mismos, para que las plantas puedan hacer frente a la erosión y contaminación presentada conjuntamente en estos sistemas, ha resultado muy positiva la clarificación de una metodología que pueda responder a la temática abordada: estudio de las características de cada VRSU y de su material de sellado, así como el conocimiento de especies herbáceas autoctonas que puedan servir para la fitoestabilización y/o fitoextracción de contaminación de la cubierta de sellado; posibles mecanismos vinculados a la estabilidad de comunidades herbáceas en sistemas mediterráneos sometidos a la acción antrópica; tener en cuenta las interacciones planta-planta que afectan al establecimiento y persistencia de la vegetación con el fin de establecer una comunidad vegetal que pale los efectos de erosión de los taludes del vertedero sellado.

Agradecimientos  
Al Proyecto "EIADES" de la Comunidad de Madrid.

## Referencias

- Adarve, M.J., Hernández, A.J., Gil, A., & Pastor, J. (1999). B, Zn, Fe and Mn content in four grassland species exposed to landfill leachates. *Journal of Environmental Quality* 27:1286-1293.
- Hernández, A.J., & Pastor, J. (1989). Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. *Herares, Rev. Geol.* 3:67-102.
- Hernández, A.J., Adarve, M.J., & Pastor, J. (1998). Some impacts of urban waste landfills on Mediterranean soils. *Land Degradation & Development* 9:21-33.
- Hernández, A.J., Adarve, M.J., Gil, A., & Pastor, J. (1998). Soil salinization from landfill leachates: effects on the macronutrient content and plant growth of four grassland species. *Chemosphere* 38:1693-1711.
- Hernández, A.J. Urcelai, A., & Pastor, J. (2002). 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 arcóscico. En: Chocarro, C., *et al.* (eds.). Producción de pastos, forrajes y céspedes, 153-158. Ediciones de la Universidad de Lleida. Lleida.
- Hernández, A.J., & Pastor, J. (2004). Incidencia del Zn de suelos contaminados de la región central sobre comunidades herbáceas de pastizales. En: García Criado, B., *et al.* (eds.). Pastos y Ganadería Extensiva. SEEP. Salamanca. Pp.: 179-184,
- Pastor, J., & 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. CIBIO, Generalitat Valenciana. Valencia. Pp.:161-167.
- Pastor, J., & Hernández, A.J. (2002). Estudio de suelos de vertederos sellados y de sus especies vegetales espontáneas para la fitorestauración de suelos degradados y contaminados del centro de España. *Anales de Biología* 24:159-167.
- Martín, J.M., Pastor, J., & 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., & Marqués, J. (eds). Control de la erosión y degradación del suelo. IMIA, 87-90. Comunidad de Madrid. Madrid.