

## Biogeoquímica en vertederos clausurados en la zona centro de la Península Ibérica

### *Biogeochemistry of sealed waste landfills in the central Iberian Peninsula*

Pastor, J.<sup>1</sup>; Hernández, A. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IRN Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid  
<sup>2</sup> Universidad de Alcalá (Madrid)

#### Abstract

This study examines several mixed waste landfills (containing solid urban and industrial waste) in central mainland Spain that was sealed for the first time 20 years ago. We evaluated the properties of their cover soils, terraces and slopes as well as the effects of their salts and heavy metal contents on species richness and indicators of the biodiversity of their plant communities and soil organisms using adjacent ecosystems as references. Effects on the growth and development of plant species were also analyzed. Finally, we determined the composition of the leachates generated and their effects on the soil, nearby water channels and plants growth.

Given the volume of data generated, we present only the most revealing results of our biogeochemical analysis of these emerging systems of solid waste residues.

**Keywords:** degraded soils, salts, heavy metals, biodiversity.

#### Resumen

Este trabajo se sitúa en vertederos de residuos mixtos (residuos sólidos e industriales) que fueron sellados por vez primera en el centro peninsular hace unos 20 años. Hemos estudiado, y en esta comunicación damos una breve síntesis, las características de los suelos de cubrición, de sus plataformas y taludes; la incidencia de las sales y de los metales que contienen, sobre la riqueza de especies, la biodiversidad de las comunidades vegetales y la densidad de fauna edáfica (nematodos), que en ellos se desarrollan. Todo esto, en relación a ecosistemas de referencia, ubicados en el entorno. Finalmente, hemos estudiado la incidencia de los lixiviados generados y el impacto de los mismos sobre los suelos, aguas subterráneas y crecimiento o no de plantas.

Excede del tamaño de esta comunicación la exposición pormenorizada de todos los resultados, por lo que se muestran aquellos que pueden ofrecer una mejor aproximación para el estudio de la biogeoquímica en estos sistemas emergentes que son los vertederos de residuos sólidos urbanos.

**Palabras clave:** suelos degradados, sales, metales pesados, biodiversidad

## Introducción

La biogeoquímica siempre ha sido considerada como una disciplina transfronteriza en el conocimiento científico, con la correspondiente implicación de complejidad de escalas en los procesos que tienen lugar a nivel de la Biosfera. De todas maneras, las cuestiones ligadas a los ciclos biogeoquímicos de los elementos, vienen siendo investigadas desde hace tiempo, especialmente aquellas que se derivan de las transferencias y flujos correspondientes a los metales pesados. Uno de los escenarios más trabajados al respecto es el de los emplazamientos mineros. Sin embargo, es menos conocida esta temática por lo que concierne a otros sistemas emergentes en nuestro paisaje, como son los vertederos de residuos sólidos urbanos.

En la actualidad, cantidades elevadas de suelos se encuentran contaminados por metales pesados en España, Europa y el resto del mundo como consecuencia de la existencia de antiguos vertederos, donde se vertían residuos urbanos junto con residuos industriales. En el caso de España, la proliferación de antiguos vertederos ha dejado a lo largo de todo el país, y de manera especial en la zona centro, un número insospechadamente elevado de vertederos que lleva anexa la existencia, en casos, de suelos contaminados por niveles altos de metales pesados y elementos traza, en los que crecen comunidades vegetales, principalmente herbáceas de pasto, que son consumidas por ganado y fauna salvaje, de interés cinegético. Después de 20 años del sellado de muchos de los vertederos en la zona centro peninsular, nos proponemos mostrar una aproximación de la complejidad que supone el estudio biogeoquímico relacionado con los mismos. Una primera aproximación al tema puede verse en Pastor et al. (1993).

## Material y métodos

Los análisis del suelo se han realizado mediante las técnicas y métodos homologados y usuales en el IRN del Centro de Ciencias Medioambientales del CSIC de Madrid, muchas de los cuales pueden verse en Hernández y Pastor (1989), así como en Pastor et al. (1993). Para el análisis de las aguas subterráneas, los métodos se describen en Adarve et al. (1994).

## Resultados y discusión

Los residuos depositados son mixtos en todos ellos (sólidos urbanos, industriales, sanitarios e inertes), sin ningún tipo de tratamiento previo, aunque en adelante nos referiremos a ellos como VRSU. El material edáfico de cobertura no sobrepasó los 40 cm. de profundidad. Todos presentan más de un talud que, por lo general, tienen más de 15 m de altura y, en ocasiones están superpuestos debido a las posteriores reutilizaciones para vertidos, encima de lo ya sellado, como es el caso del VRSU de Getafe, o dispersados en un amplio territorio a consecuencia de depósitos industriales y

escombros, como el caso del VRSU “La Cochera”, ambos en la Comunidad de Madrid (Tabla 1). Por otra parte, presentan pendientes muy acusadas, por encima del 40% en muchas zonas de ellos.

Tabla 1. Características de vertederos sellados hace 20 años en la comunidad de Madrid.

Localidad	Ecosist. descarga principal	Algunos eventos posteriores al sellado	Nº total Taludes 2006
Colmenar Viejo	Arroyo y Pasto vacuno	Pastoreo itinerante ovino; vallado y reforestación con pino	3
San Lorenzo		Pastoreo itinerante de ovino; urbanización en área de descarga	3
El Escorial	Arroyo y fresneda	Reutilización vertido de escombros y pasto de vacuno	4
Móstoles	Arroyo y humedal	Cultivo cereal en parte y pastoreo itinerante de ovino; cereal y rutas a caballo	3
Villaviciosa	Ladera y humedal	Uso para recreo y ocio	1
Navalcarn.	Pasto ovino	Cultivo de cereal; Campo de tiro; nueva utilización para vertidos; urbanización	-
El Álamo	Humedal	Restauración por medio de cubiertas herbáceas propias de la zona	2
Alcalá de Henares	Río	Siembra de acacias; otras siembras de arbóreas; siembras de herbáceas con riego del río	1
Torrejón de Ardoz	Humedal	Siembra de pinos; uso para nuevos vertidos y más relleno del humedal	3
Torrejón La Cochera	Humedal	Nuevos vertidos de escombros; nuevo sellado en 1994; siguen las deposiciones aunque se ha vallado	varios
Mejorada del Campo	Ladera, vaguada y río	Pasto itinerante con ovino; campo de tiro; reestructuración por el AVE; reforestación con pinos; siembra de especies herbáceas no autóctonas.	3
Getafe	Humedal	Reutilizado para nuevos vertidos de inertes y de escombros	12
Pinto	Ladera	Reutilizado para nuevos vertidos; actualmente en uso	4
Arganda	Arroyo	y controlado Incontrolado, se siguen depositando basuras e inertes	2
Aranjuez	Arroyo	Corrección de elevadas pendientes por desmoronamiento después del sellado	1

Las características de los taludes, sino también a las áreas de descarga de los lixiviados de escorrentía superficial. Incluso, en el caso de solo un talud en modelo de abanico, afecta de forma diferente a la biodiversidad del área de descarga. Además, suele haber bastante variación en los parámetros edáficos en un mismo talud (Tabla 7), aunque, lógicamente

existan diferencias en relación al material de cobertura procedente de los distintos sustratos (Tabla 2).

Tabla 2. Variación de dos parámetros en la cubierta edáfica después de diez años de sellado tanto en un VRSU en sustrato básico (Mejorada del Campo = MdC como en otro ubicado en sustrato arcóscico, Móstoles = M) muy relacionados con la geoquímica.

Área	pH		Conductividad (µS/cm)	
	MdC / M		MdC / M	
Talud 1	7,8	7,1	372	546
Talud 2	7,7	6,6	487	470
Talud 3	7,9	4,6	638	1.032
Plataforma	7,9	2,7	352	2.707

Tabla 3. Valores medios alcanzados para parámetros edáficos (mg/kg para aniones y metales pesados totales) que resultaron significativos estadísticamente en los suelos de cubrición de tres vertederos sobre sustrato arcóscico (VRSU de Móstoles, Navalcarnero y Villaviciosa) después de 4 años del 1º sellado.

Parámetros	Vertederos	Entorno
pH	7,2	6,1
M.O.	0,6	3,5
Na	5,9	1,5
Fe	15291	9057
Zn	89	32
Ni	15,0	7,4
Co	1,9	0
Al	37404	24783
Mn	223	112
Cl <sup>-</sup>	4,96	1,73
F <sup>-</sup>	0,33	0,17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8,78	3,34
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,87	1,25
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,06	0,35

Tabla 4. Variación de aniones en la cubierta edáfica de tres vertederos en sustrato arcóscico, a los seis años del primer sellado en relación a la revegetación surgida del banco de semillas del suelo de cubrición.

VRSU (mg/Kg)	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	F <sup>-</sup>
<b>Villaviciosa</b>				
Suelo bajo gramin	10,5	14,8	10,0	1,2
Suelo bajo legum	23,4	20,8	7,3	1,3
Suelo desnudo	<b>47,8</b>	<b>374</b>	<b>36,7</b>	3,3
<b>Móstoles</b>				
Suelo bajo gramin	11,0	5,6	0,9	1,4
Suelo bajo legum	15,9	10,6	0,9	0,9
Suelo desnudo	11,0	3,3	0,9	0,9
<b>Navalcarnero</b>				
Suelo bajo gramin	11,1	8,3	3,8	0,9
Suelo desnudo	<b>123</b>	<b>146</b>	<b>43,3</b>	0,9

Tabla 5a. Valores medios de parámetros edáficos en ecosistemas de áreas de descarga de VRSU ubicados en sustratos básicos (Vert.) en comparación con otros similares del entorno, pero no afectados (Ent). Los aniones en mg/100 g de suelo y la conductividad (C.E. en µS/cm). Resultados al 7º año del sellado.

	Valdilecha		Arganda		Guadalajara	
	Vert.	Ent.	Vert.	Ent.	Vert.	Ent.
pH	7,4	7,8	7,4	7,9	7,3	7,5
C.E.	993,3	580	1430	530	1950	1030
Cl <sup>-</sup>	48,3	9,0	33,5	5,0	8,0	1,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8	3,0	68,5	1,0	11,8	3,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,9	5,0	4,2	2,0	23,4	15,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,3	0,9	1,1	0,9	1,0	0,7

Tabla 5b. Valores medios de parámetros edáficos en ecosistemas de áreas de descarga de VRSU ubicados en sustratos básicos (V) en comparación con otros análogos del entorno pero no afectados (E). Los aniones en mg/100 g suelo y la conductividad (C.E. en µS/cm) Resultados al 7º año del sellado.

	Alcalá		Torrejón		Getafe	
	Vert.	Ent.	Vert.	Ent.	Vert.	Ent.
pH	7,4	7,6	7,3	7,2	7,6	7,4
C.E.	3890	1200	8065	2960	11045	3940
Cl <sup>-</sup>	22,0	5,0	177,5	7,0	76,5	18,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	155,5	4,0	521,0	345,0	4544,0	412,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,9	0,5	9,1	2,5	31,3	19,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2,1	1,3	1,5	1,0	2,6	1,4

En la Tabla 3, se muestran los parámetros edáficos de carácter químico, en los que hubo diferencias significativas, con respecto a los niveles de los mismos de suelos de ecosistemas del entorno. Destacan las diferencias de pH, contenidos de M.O., Fe, Zn, Ni, Mn, entre otras. En la Tabla 4, podemos observar varios años después del 1º sellado, contenidos más elevados de aniones solubles en los suelos que aún permanecían desnudos.

Finalmente, en las Tablas 5a y 5b, pueden verse la influencia de los lixiviados sobre el pH de los suelos, la conductividad eléctrica y los aniones solubles de los ecosistemas situados en las zonas de descarga de 6 vertederos situados al sur y sudeste de Madrid comparados con ecosistemas del entorno, tomados como referencia. Destacan especialmente las diferencias en conductividad junto con las de sulfatos y cloruros.

Tabla 6. Resultados en relación a parámetros biológicos (datos medios) que han mostrado una diferencia estadísticamente significativa (99,9 %) correspondientes a 36 muestras de vertederos en el territorio arcóscico (5º año del primer sellado de los mismos) y a 55 en ecosistemas de referencia en el mismo territorio (5º año de abandono de cultivo cerealístico).

Parámetros biológicos	Vertederos	Ecosistemas de referencia
Recubrimto. 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
Densid. Nematodos (n /100cm <sup>3</sup> )	45,6 ± 38,3	122 ± 50,7

Los aspectos fundamentales de la biogeoquímica de los VRSU están vinculados a lo que podríamos llamar el eje edáfico, en cuanto a la naturaleza y profundidad de la cubierta de sellado. Aunque ésta proceda de suelos del entorno al vertedero, hay pérdida de elementos a causa de la erosión producida en sus taludes, así como de retención de compuestos y elementos químicos también en sus áreas de descarga, que afectan tanto a los organismos vivos (Tablas 6 y 7), como a la composición de las aguas (Tabla 8).

La geoquímica de estos VRSU está asociada a efectos de contaminación por salinidad y metales pesados, tanto si se refiere a la contaminación puntual (en el propio sistema vertedero), como a la contaminación difusa (en los ecosistemas de áreas de descarga de flujos preferentes de lixiviados).

Tabla 7. Variación de la biodiversidad vegetal (riqueza de especies vasculares = nº total) en distintas zonas de las áreas de descarga de tres VRSU, a los 5 años de su primer sellado (N= ecosistema de referencia), afectadas por los flujos de lixiviados de escorrentía superficial producidos en los mismos

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	3	71

Tabla 8. Análisis físico-químico de muestras de agua subterráneas contaminadas por lixiviados procedentes de un vertedero después de 10 años del primer sellado (Torrejón de Ardoz) en comparación con otras del mismo entorno no afectado. (Valores medios de muestras estacionales: mg/l para los parámetros químicos y µS/cm para la conductividad).

Parámetros	Zonas de Descarga		Entorno
	I	II	
pH	7,6	7,8	7,7
Conductividad	9107	5068	2700
DQO	18,7	11,7	3,0
TSD	7213	4572	2605
Dureza Total	338	266	161
Cl	1870	513	126
SO <sub>4</sub>	2338	2058	1255
CO <sub>3</sub>	0,7	3,3	6,3
HCO <sub>3</sub>	880	726	431
NO <sub>3</sub>	37,3	7,2	77,0
F	0	0	0,05
PO <sub>4</sub>	0,7	0,0	0,3
Ca	744	663	453
Mg	434	286	144
Na	888	295	94
K	17,8	13,9	20,2
NH <sub>4</sub>	6,17	3,47	0,25
B	1,03	0,77	0,19
Fe	0,22	0,23	0,01
Cu	0,03	0,03	0,01
Zn	0,06	0,16	0,01
Mn	0,38	0,89	0,01

Tabla 9a. Metales, C.E. y Aniones en el año 2007.

	Torrejón	Cochera	Getafe	Mejorada
Cr	45	40	36	4
Cu	281	25	286	22
Ni	64	26	51	9
Pb	82	19	71	12
Zn	276	64	299	83
Cd	2,6	0,0	0,0	0,0
Mn	444	269	626	249
Fe	20032	17854	101387	24703
C.E	1521	638	1112	801
Cl	38	25	62	27
NO <sub>3</sub>	65	26	64	196
SO <sub>4</sub>	2696	861	1372	531

La erosión y la contaminación son pues dos procesos que se implican mutuamente a la hora de estudiar la biogeoquímica en los vertederos.

Finalmente en las Tablas 9a y b, pueden verse resultados medios del año 2007 en suelos de vertederos, observándose que los contenidos en metales y en varios aniones, son actualmente más elevados que en el pasado.

Tabla 9b. Metales, C.E. y Aniones en el año 2007.

	SLorenzo	Escorial	Pinto	Arganda
Cr	6	10	13	3
Cu	21	114	27	14
Ni	5	6	4	4
Pb	89	100	25	22
Zn	101	352	100	43
Cd	0,0	0,0	0,0	0,0
Mn	190	290	327	136
Fe	19569	36971	21820	12656
C.E.	439	491	500	642
Cl	9	10	19	20
NO <sub>3</sub>	202	454	155	2594
SO <sub>4</sub>	26	61	220	497

## Aspectos conclusivos

Hemos identificado los principales contaminantes que, a través de las principales líneas de flujo de los lixiviados producidos en los vertederos, afectan a la capa superficial edáfica y a las comunidades vegetales de sus cubiertas y áreas de descarga. El seguimiento continuo en una veintena de estos VRSU desde su primer sellado hasta la fecha, nos permite conocer los muchos factores implicados en los procesos biogeoquímicos que tienen lugar en los mismos. Procesos en que vienen implicándose aspectos erosivos y de contaminación por la incidencia de los lixiviados producidos. El estudio ha permitido establecer la importancia de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, así como de diferentes metales. Los análisis numéricos de los suelos han permitido concluir que los efectos derivados de la ubicación de los emplazamientos contaminados, tales como la transformación de sustancias químicas, su flujo y acumulación, dependen además del sustrato de la existencia de nuevas interacciones debidas ampliamente a los metales pesados, que tienen una acción potencial sobre la circulación a través de las redes tróficas.

## Agradecimientos

Esta investigación está siendo financiada mediante el Programa EIADES de la CAM y los Proyectos CTM2005-02165/TECNO del Mº de Educación y Ciencia, así como con un proyecto del Mº del M.A.

## Referencias

- Adarve MªJ., Hernández AJ., Rebollo L., 1994. La contaminación de las aguas subterráneas por lixiviados de un vertedero sellado de residuos sólidos urbanos localizado en Torrejón de Ardoz (Madrid). Agua y Medio Ambiente. Tiasa, Zaragoza, pp.162-170.
- Hernández A.J., Pastor J., 1989. Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. Henares, Rev. Geol. 3, 67-102.
- Pastor J., Urcelay A., Hernández, AJ., 1993. Impacto antrópico de los residuos urbanos en ambientes mediterráneos xéricos del Centro de España. En: JF Gallardo (Ed.) Biogeoquímica de Ecosistemas. J de Castilla -León, pp. 275-282.