

VII Congreso Ibérico y X Congreso Nacional de Geoquímica. Soria 21-23 sep 2009.  
Ed. Biblioteca Electrónica de la Exma. Diputación de Soria, nº 17: 530-542.  
ISBN: 84-96695-37-9

## MONITORIZACIÓN DE TRES ANTIGUOS VERTEDEROS: VARIACIONES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS RELEVANTES EN SUELOS Y AGUAS DESPUÉS DE DOS DÉCADAS DE CLAUSURADOS

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

<sup>1</sup> CCMA, IRN, CSIC, Dpto. de Ecología de Sistemas, c/ Serrano, 115 bis 28006 Madrid. [jpastor@ccma.csic.es](mailto:jpastor@ccma.csic.es);

<sup>2</sup> UAH, Dpto. de Ecología, Edificio Ciencias, Campus Universitario, Universidad de Alcalá, Madrid.  
[Anaj.hernandez@uah.es](mailto:Anaj.hernandez@uah.es)

### Abstract

We have realize a comparative study of soil and water affected by the three landfills sealed in Community of Madrid, representative of the actual scenarios in its territory: location substrates arkosic and limestone, their waste from urban and industrial and closed 20 years ago. Shows the variations of 16 chemical parameters in the surface soil layer in their download areas, such as leachate, groundwater and surface water of their environment (nutrients, heavy metals, salts and conductivity). The results show that behavior of the landfill its characteristics urban and industrial is reflected in the chemical variables analyzed.

**Keywords:** Anions, soil nutrients, Zn, B, organic pollutants.

### Resumen

Se ha realizado un estudio comparativo de suelos y aguas afectados por tres vertederos sellados de la Comunidad de Madrid, representativos de los escenarios reales que presenta la mayoría de los mismos en su territorio: ubicación en sustratos arcósico y calizo, origen urbano e industrial de sus residuos y clausurados hace 20 años. Se muestran las variaciones de 16 parámetros químicos, tanto en la capa superficial edáfica en sus áreas de descarga, como en lixiviados, aguas subterráneas y superficiales de sus correspondientes entornos (nutrientes, metales pesados, sales y conductividad en ambos medios). Los resultados revelan que el talante del vertedero, en sus características más urbanas o más industriales, queda reflejado en las variables químicas analizadas.

**Palabras clave:** Aniones, nutrientes del suelo, Zn, B, contaminantes orgánicos.

### Introducción

En la mayoría de los países desde que alcanzan un determinado nivel de desarrollo, se incrementa la preocupación sobre el estado de los vertederos que fueron sellados en el último tercio del pasado siglo, en el que la humanidad experimentó un fuerte incremento habitacional e industrial, que generó cantidades ingentes de residuos urbanos e industriales y que fueron llevadas a vertederos pero sin ser separadas. Ello hace que la mayoría de los mismos sean realmente de

carácter mixto (urbano e industrial). Estos vertederos introdujeron en sus entornos cantidades relevantes de sustancias tóxicas, que afectaron al aire, los suelos y los recursos hídricos. Ahora hay un interés creciente en su recuperación, y además en Europa se está desarrollando una política comunitaria más exigente al respecto, que incluso traslada a los 3<sup>os</sup> países que demandan ayuda para la cooperación al desarrollo.

La realidad de cómo se encontraban estos contaminantes a los pocos años de la clausura de un vertedero (1 a 5 años), sellado con una capa somera de suelos procedentes, en la mayoría de los casos, al vaciado de suelos agrícolas marginales para la instalación de polígonos industriales o para la construcción de viviendas, es un hecho importante como partida en el estudio necesario para poder detectar como habría que actuar en consecuencia. Las dificultades de un estudio comparado son muchas al respecto ya que inicialmente no se analizaron todos los parámetros edáficos, que quizá debían haberse analizado (Pastor et al., 1993a y b), pero también por el hecho de no disponer de estudios previos realizados en el territorio por otros investigadores. Posteriormente hemos añadido nuevos parámetros químicos y nuevos vertederos (Hernández et al, 1998a), a los ahora estudiados. Así como hemos ido estudiando el efecto de los lixiviados generados en distintos vertederos, especialmente el tema de metales pesados y los efectos de la salinidad, sobre plantas y animales (Hernández et al, 1998b, Adarve et al. 1998, Pastor et al. 1993, Urcelay et al. 1994 y 2000). Una visión conjunta y ampliada de estas realidades puede verse en Hernández and Pastor, 2008). Sin embargo este trabajo se propone además mostrar resultados concernientes a los niveles de compuestos inorgánicos que se presentan en los momentos próximos a la clausura y después de dos décadas, con la adenda de los 1<sup>os</sup> datos sobre los contaminantes orgánicos encontrados en la actualidad, en dichos vertederos.

### **Material y métodos**

Se estudiaron 66 muestras de suelos recogidas en la zona de descarga de 3 vertederos de la provincia de Madrid (el de Móstoles “urbano” y los de Torrejón de Ardoz “urbano” y de “residuos industriales”), hacia el 5<sup>o</sup> año de su clausura y después de casi 20 años de su sellado (años 1991 y 2007). La caracterización inicial de estos vertederos se encuentra en Adarve y Rebollo (1993), Adarve et al. (1994), Pastor y Hernández (2007a y b). Asimismo se tomaron 75 muestras de aguas procedentes de lixiviados superficiales y de aguas subterráneas (piezómetros y pozos), así como de dos arroyos circundantes. Las muestras de agua se mantuvieron en frío, hasta que fueron analizadas, y las muestras de suelos, una vez secadas, fueron tamizadas con un tamiz de 2 mm, y una parte de las mismas fueron molidas mediante un mortero de ágata con el fin de determinar a continuación los metales pesados (MAPA, 1982; Hernández y Pastor, 1989). También se realizaron en las muestras de suelos recogidas en el año 2007, análisis de los contaminantes orgánicos existentes, siguiendo las técnicas homologadas en la UE, y en su defecto por la EPA.

Los tratamientos estadísticos (ANOVA), se realizaron con el paquete estadístico SPSS, versión 17, una vez transformados los datos utilizando Log X+1.

### **Resultados y discusión**

#### **a) Estudio de los suelos de las zonas de descarga de los vertederos sellados en la primera y segunda década después de sellados**

En las Tablas de 1 a 3, podemos observar los valores medios y las desviaciones típicas del pH, contenidos de M.O., N, nutrientes, Zn pseudototal y disponible, conductividad eléctrica y principales aniones de los suelos de la zona de descarga de vertederos representativos de los

escenarios reales que presenta la mayoría de los mismos en el territorio de la comunidad de Madrid: ubicación en sustratos arcóscico y calizo, origen urbano e industrial de sus residuos y clausurados hace unos 20 años. Una comparación de las medias mediante ANOVA con los datos de los dos muestreos, transformados logarítmicamente para conseguir su normalización, nos permite detectar diferencias que exponemos a continuación.

Tabla 1a. Contenidos medios y desviaciones típicas del pH, M.O., N y nutrientes de los suelos de la zona de descarga del Vertedero urbano de Móstoles.

Año	Nº	pH	M.O.	N	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
			%				mg/100g			
<u>1991</u>	Media	21	5,6	0,81	0,050	127,3	11,9	15,8	<b>13,3</b>	8,6
	D. típica		1,7	0,53	0,026	72,3	6,3	7,7	24,7	5,8
<u>2007</u>	Media	14	5,5	<b>1,92</b>	<b>0,102</b>	110,09	11,4	<b>27,0</b>	2,9	9,9
	D. típica		0,9	1,05	0,049	52,08	4,1	13,7	3,8	4,4
	F		0,046	22,136	17,567	0,495	0,011	8,575	4,637	1,590
	Sig.		0,831	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,486	0,916	<b>0,006</b>	<b>0,038</b>	0,216

Tabla 1b. Contenidos medios y desv. típicas del Zn pseudototal y disponible, conductividad y principales aniones en los suelos de la zona de descarga del Vertedero urbano de Móstoles.

Año	Nº	Zn <sup>++</sup> Pseudototal mg/kg	Zn <sup>++</sup> Disponible mg/100g	Conductividad µs/con	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	F <sup>-</sup>	
							mg/100g			
<u>1991</u>	Media	21	<b>38,4</b>	<b>0,30</b>	<b>5964,5</b>	<b>31,3</b>	34,7	4,5	0,0	0,0
	D. típica		12,5	0,15	15775,9	9,2	53,9	4,4	0,0	0,0
<u>2007</u>	Media	14	24,4	0,11	270,1	26,7	<b>310,5</b>	<b>36,9</b>	<b>12,5</b>	<b>0,62</b>
	D. típica		8,2	0,14	416,0	44,2	746,7	52,7	8,6	0,40
	F		20,901	16,355	69,128	10,519	1,650	9,693	142,287	79,580
	Sig.		<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>	0,208	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

En las Tablas 1a y b, pueden verse los datos correspondientes al vertedero urbano de Móstoles, situado y recubierto con suelos arcóscicos. En este vertedero las diferencias significativas se observan en los valores más elevados de conductividad eléctrica, cloruros, Na, Zn, en los suelos muestreados el año 1991, y en los contenidos más elevados de M.O, N total, K, nitratos, fosfatos, fluoruros y sulfatos, aunque en estos últimos, el resultado no sea significativo por la elevada desviación típica. Resultados semejantes a los señalados por Adarve et al. (1994a) Los resultados nos parecen totalmente lógicos. Inicialmente en un vertedero abundan los cloruros y el Na, debido a la sal de cocina multipresente en los condimentos, pero fácilmente soluble; y posteriormente se hacen presentes otros aniones mas vinculados a la descomposición de la materia orgánica, la cual también aumenta en los suelos muestreados en el año 2007.

En las Tablas 2a y 2b, correspondientes a suelos de las zonas de descarga del vertedero urbano de Torrejón, ocurre algo bastante similar a lo visto en el vertedero de Móstoles. Destaca la preeminencia de la conductividad eléctrica y de los contenidos de cloruros y Na en el año 1991, y la de nitratos, fluoruros, sulfatos y fosfatos en el 2007. En este año predominan también los contenidos de Zn. Queremos resaltar que “Torrejón urbano” tiene un talante de vertedero mixto, es decir que contiene residuos industriales además de urbanos.

Tabla 2a. Contenidos medios y desviaciones típicas del pH, M.O., N y nutrientes de los suelos de las zonas de descarga del Vertedero urbano de Torrejón de Ardoz.

Año	Nº	pH	M.O.	N	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
			%				mg/100g			
<u>1991</u>	Media	5	7,3	7,4	0,396	956,0	123,2	49,4	<b>78,1</b>	64,6
	D. típica		0,2	4,1	0,212	407,39	107,21	18,78	90,63	26,93
<u>2007</u>	Media	6	<b>7,6</b>	5,8	0,486	630,9	80,63	68,44	7,64	42,58
	D. típica		0,1	2,4	0,396	201,20	96,12	22,2	9,08	17,0
	F		12,4052	0,3290	0,1207	2,8694	0,8489	2,6039	6,2909	2,1756
	Sig.		<b>0,006</b>	0,580	0,736	0,125	0,381	0,141	<b>0,033</b>	0,174

Tabla 2b. Contenidos medios y desviaciones típicas del Zn pseudototal y disponible, C.E y principales aniones, en los suelos de la zona de descarga del Vertedero urbano de Torrejón.

Año	Nº	Zn <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>	Conductividad	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	F <sup>-</sup>	
		Pseudototal	Disponible	ms/con			mg/100g			
		mg/kg	mg/100g							
<u>1991</u>	Media	5	84,32	2,12	<b>7044,0</b>	209,26	1385,72	7,76	0,0	0,0
	D. típica		75,68	3,13	3716,0	207,61	2052,49	5,14	0,0	0,0
<u>2007</u>	Media	6	<b>275,98</b>	<b>7,98</b>	1779,0	43,56	<b>3224,96</b>	<b>74,55</b>	<b>1,22</b>	<b>1,68</b>
	D. típica		185,17	6,05	1027,94	29,45	2626,35	100,11	1,74	1,38
	F		5,9285	5,3279	15,9224	1,5943	3,8066	13,9730	3,5937	19,8183
	Sig.		<b>0,038</b>	<b>0,046</b>	<b>0,003</b>	0,238	<b>0,083(F)</b>	<b>0,005</b>	<b>0,090(F)</b>	<b>0,002</b>

F: Fiable, significativo al nivel del 90%

Tabla 3a. Contenidos medios y desviaciones típicas del pH, M.O., N y nutrientes de los suelos de las zonas de descarga del Vertedero de residuos industriales de Torrejón de Ardoz, en los años 1991 y 2007.

Año	Nº	pH	M.O.	N	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
			%				mg/100g			
<u>1991</u>	Media	4	7,4	3,65	0,184	515,0	<b>80,5</b>	<b>40,7</b>	28,7	13,2
	D. típica		0,06	0,19	0,028	70,89	56,26	5,5	27,8	7,4
<u>2007</u>	Media	16	<b>8,1</b>	2,18	0,106	352,9	34,2	23,9	26,5	12,7
	D. típica		0,5	2,25	0,080	168,76	17,4	10,7	53,3	8,1
	F		6,902	2,352	2,835	1,519	3,256	4,887	1,283	0,095
	Sig.		<b>0,018</b>	0,143	0,111	0,235	<b>0,089(F)</b>	<b>0,041</b>	0,273	0,762

F: Fiable, significativo al nivel del 90%

Tabla 3b. Contenidos medios y desviaciones típicas del Zn pseudototal y disponible, conductividad y principales aniones, en los suelos de la zona de descarga del Vertedero de residuos industriales de Torrejón de Ardoz.

Año	Nº	Zn <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>	Conductividad	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	F <sup>-</sup>	
		Pseudototal	Disponible	ms/con			mg/100gr			
		mg/Kg	mg/100g							
<u>1991</u>	Media	4	<b>121,1</b>	<b>1,43</b>	<b>2933,0</b>	16,43	120,07	10,62	0,0	0,0
	D. típica		15,91	0,52	376,0	12,23	74,31	12,73	0,0	0,0
<u>2007</u>	Media	16	64,41	0,53	555,81	22,57	710,05	22,90	0,58	<b>7,19</b>
	D. típica		42,6	0,63	711,2	27,77	1233,95	40,20	1,27	13,09
	F		4,258	5,676	14,050	0,021	0,063	0,024	0,850	10,162
	Sig.		<b>0,055(F)</b>	<b>0,029</b>	<b>0,002</b>	0,887	0,805	0,879	0,370	<b>0,005</b>

F: Fiable, significativo al nivel del 90%

En las Tablas 3a y 3b, se muestran los resultados de los suelos del vertedero “industrial” de Torrejón, que tiene un comportamiento diferente a los otros dos vertederos de carácter más “urbano”, sin la incidencia relevante de la sal de cocina. En este vertedero, predominan significativamente en el año 1991, además de la conductividad eléctrica, elementos más “industriales” como Mg, K y Zn; mientras que en el año 2007, el pH de los suelos ha aumentado mucho junto con el fluor, posiblemente por la existencia de posteriores vertidos.

b) Características químicas de lixiviados superficiales y profundos, de aguas de pozos y manantiales circundantes en los tres vertederos estudiados durante la primera década

Los datos relacionados con la composición de los lixiviados de vertederos y de su incidencia sobre las aguas superficiales y subterráneas de su entorno, como los que siguen a continuación, han alcanzado una relevancia especial tanto en la bibliografía internacional (Chu et al, 1994; Kjeeldsen, 1993; Fatta et al., 1999; Hogland et al., 2004), como en la española (Adarve y Rebollo, 1993; Hernández et al., 1993; Adarve et al., 1994a y b; Pastor, 1994).

Vemos, a continuación, la composición de los lixiviados, pozos y manantiales, situados en el entorno de los 3 vertederos estudiados y que corresponden al año 1991.

Tabla 4a. Contenidos medios y desviaciones típicas del pH, metales y B de los lixiviados y de los pozos y manantiales, situados a diferente distancia del Vertedero Urbano de Móstoles, en 1991.

Muestras		pH	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
<u>Pozos</u> a 400 m		7,3	108	<b>15</b>	6	40	0	0	0	0	0,05
a 1075-1275 m	Media (3)	7,5	54,0	7,3	1,5	37,5	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0
	D. típica	0,1	14,0	1,2	0,5	2,5	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0
<u>Lixiviados Superficiales</u>	Media (3)	4,5	<b>152,7</b>	9,3	<b>9,7</b>	<b>62,7</b>	<b>0,3</b>	<b>3,1</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>	0,0
	D. típica	0,3	45,3	1,2	2,9	30,7	0,1	2,5	0,06	0,0	0,0
<u>Manantiales aguas potables</u>	Media (3)	7,4	23,5	3,9	1,0	15,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,04
a 150-900 m	D. típica	0,0	9,5	1,3	0,0	5,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,03

Tabla 4b. Contenidos medios y desviaciones típicas de conductividad, D.Q.O. y principales aniones de los lixiviados superficiales y de los pozos y manantiales circundantes, situados a diferente distancia del Vertedero urbano de Móstoles en 1991.

Muestras		C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	D.Q.O. (mg/l O <sub>2</sub> )	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
<u>Pozos</u> a 400 m		870	2,2	33	105	160
a 1075-1275 m	Media (3)	450,0	1,65	25,0	<b>45,0</b>	82,5
	D. típica		60,0	0,45	5,0	3,0
<u>Lixiviados Superf.</u>	Media (3)	<b>1200,0</b>	<b>5,63</b>	<b>137,7</b>	10,3	<b>358,7</b>
	D. típica		435,9	0,87	26,7	8,4
Manantiales potables						
a 150-900 m	Media (3)	370,0	1,50	8,0	31,5	21,0
	D. típica		0,0	0,30	4,0	0,5
						4,0

En las Tablas 4a y b, correspondientes a los contenidos medios de los lixiviados y pozos del vertedero urbano de Móstoles y su entorno inmediato, puede verse que los contenidos más elevados de los elementos analizados corresponden fundamentalmente a lixiviados de escorrentía superficial.

Tabla 5a. Contenidos medios y desviaciones típicas del pH, metales y B de los lixiviados y de los pozos, situados a diferente distancia del Vertedero urbano de Torrejón de Ardoz, en 1991.

Muestras		pH	Fe	Mn	Zn	Cu	B
<u>Lixiviados Superficiales</u>	Media (3)	7,3	0,06	0,92	<b>0,14</b>	<b>0,20</b>	0,46
	D. típica	0,5	0,05	1,28	0,26	0,39	0,27
<u>Piezómetros</u> a 16-21 m	Media (3)	7,4	0,15	1,15	0,0	0,0	<b>0,90</b>
	D. típica	0,1	0,05	1,05	0,0	0,0	0,20
a 30-37 m	Media (3)	7,2	0,07	0,87	0,0	0,07	0,67
	D. típica	0,2	0,06	1,33	0,0	0,06	0,47
a 57-80 m	Media (3)	7,7	<b>0,20</b>	<b>1,85</b>	0,05	0,05	0,60
	D. típica	0,02	0,00	0,55	0,05	0,05	0,10
<u>Pozos</u> a 150-400m	Media (3)	8,3	0,0	0,0	0,06	0,0	0,28
	D. típica	0,1	0,0	0,0	0,06	0,0	0,23
a 300-450 cerca V.antiguo	Media (3)	7,9	0,10	1,5	0,07	0,0	0,33
	D. típica	0,2	0,17	2,3	0,07	0,0	0,26
a 625-800m	Media (3)	8,0	0,0	0,0	0,03	0,0	0,16
	D. típica	0,2	0,0	0,0	0,03	0,0	0,04

Tabla 5b. Contenidos medios y desviaciones típicas de Conductividad, D.Q.O. y principales aniones de los lixiviados superficiales y profundos y de los pozos circundantes, situados a diferente distancia del Vertedero urbano de Torrejón de Ardoz, en 1991.

Muestras		C.E. $\mu\text{S/cm}$	D.Q.O. (mg/l O <sub>2</sub> )	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
<u>Lixiviados Superficiales</u>	Media (3)	4240,0	8,02	329,4	19,8	1284,6
	D. típica	2124,4		1,70	213,8	612,4
<u>Piezómetros</u> a 16-21 m	Media (3)	<b>7225,0</b>	<b>9,20</b>	<b>887,5</b>	25,5	<b>1900,5</b>
	D. típica	25,0		0,20	89,5	153,5
a 30-37 m	Media (3)	4980,0	6,43	507,7	22,7	1376,0
	D. típica	379,9		1,46	130,5	255,3
a 57-80 m	Media (3)	5550,0	7,60	495,5	10,0	1517,0
	D. típica	60,0		1,00	44,5	115,0
<u>Pozos</u> a 150-400 m	Media (3)	1730,0	3,13	77,7	<b>89,3</b>	342,0
	D. típica	611,0		0,64	21,4	267,7
a 300-450 m cerca V. antiguo	Media (3)	2586,7	3,73	112,0	42,0	1232,7
	D. típica	304,4		1,51	19,1	347,5
a 625-800 m	Media (3)	2343,3	1,73	114,7	68,3	1221,8
	D. típica	899,9		0,23	66,6	874,3

En las Tablas 5a y b que exponen datos del vertedero “urbano” de Torrejón, los contenidos más elevados se encuentran en los lixiviados superficiales y en los piezómetros. Con la excepción de un contenido elevado de nitratos en un pozo, consecuencia de la contaminación difusa que reciben los pozos en áreas de agricultura convencional y en las Tablas 6a y b vemos que las cantidades más elevadas de los parámetros químicos estudiados, se encuentran, como en los casos anteriores, en los lixiviados superficiales-

Tabla 6a. Contenidos medios y desviaciones típicas del pH, metales y B de los lixiviados superficiales y profundos y de los pozos circundantes, situados a diferente distancia del Vertedero de residuos industriales de Torrejón de Ardoz, en 1991.

Muestras		pH	Fe	Mn	Zn	Cu	B
<u>Piezómetros</u>	(1)	8	0,4	0,6	0,08	0	0,49
<u>Lixiviados Superf.</u>	Media (3)	7,8	0,10	<b>0,43</b>	0,0	<b>0,07</b>	<b>4,13</b>
	D. típica	0,4	0,0	0,38	0,0	0,06	1,63
<u>Pozos</u> 185-325 m	Media (6)	8,1	0,0	0,02	0,02	0,0	0,22
	D. típica	0,2	0,0	0,04	0,02	0,0	0,15
400-425 m	Media (3)	7,9	<b>0,13</b>	<b>0,43</b>	<b>0,03</b>	0,0	0,27
	D. típica	0,2	0,12	0,59	0,02	0,0	0,04
575-1150 m	Media (3)	8,25	0	0	0,01	0	0,3
	D. típica	0,1	0	0	0,01	0	0,01

Tabla 6b. Contenidos medios y desviaciones típicas de Conductividad, D.Q.O. y principales aniones de los lixiviados superficiales y profundos y de los pozos circundantes, situados a diferente distancia del Vertedero de residuos industriales de Torrejón de Ardoz, en 1991.

Muestras		C.E. $\mu\text{S/cm}$	D.Q.O. (mg/l O <sub>2</sub> )	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
<u>Piezómetros</u>	(1)	5700	<b>35,4</b>	517	25	<b>1979</b>
<u>Lixiviados Superf.</u>	Media (3)	<b>4133,3</b>	12,3	<b>631,7</b>	12,3	710,3
	D. típica	2157,2		2,4	436,4	6,5
<u>Pozos</u> 185-325 m	Media (6)	1851,7	3,08	151,8	<b>67,2</b>	313,5
	D. típica	576,3		0,82	83,8	40,8
400-425 m	Media (3)	2510,0	5,97	231,7	19,0	523,0
	D. típica	1060,8		5,05	119,1	16,5
575-1150 m	Media (3)	1040,0	3,9	38	48	139,5
	D. típica	200,0		0,5	10	31

c) Comparativa de las características químicas de las aguas de los arroyos que circundan a dos de los vertederos, y de una poza que recoge lixiviados y agua de lluvia, en los tres vertederos estudiados

En las Tablas 7 a 9, mostramos la comparación de las aguas de dos arroyos y una poza afectados por los lixiviados de los vertederos.

En las Tablas 7a y 7b, que muestran las aguas del arroyo Peñaca, a la entrada, parte media y salida del vertedero urbano de Móstoles, vemos que los contenidos de Mg, K, Na, Mn, B, conductividad eléctrica y aniones, fueron más elevados en la zona de entrada del arroyo al pie del vertedero el año 1991, mientras que el pH del agua y la D.Q.O. fueron claramente más altos en el año 2007. En la zona media del vertedero, en las aguas del arroyo ocurren hechos similares a los anteriores. En la zona de salida del arroyo Peñaca del vertedero, casi todo ocurre de igual manera que en los puntos de muestreo anteriores. Tanto en 1991 como en 2007, los valores más elevados se presentan fundamentalmente en las aguas del arroyo en su salida del vertedero. Otro hecho digno de atención son los elevados pHs del agua del arroyo en los puntos muestreados en el año 2007

Tabla 7a. Comparación del pH y los contenidos medios y desviaciones típicas en nutrientes y metales pesados en los años 1991 y 2007 de las aguas, tomadas en 3 zonas, del arroyo Peñaca, que circunda el Vertedero urbano de Móstoles.

Año/Área		pH	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	B	Zn	Cu
<u>1991</u>	Media (3)	6,9	42,5	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>	<b>166,0</b>	0,4	<b>0,2</b>	<b>0,55</b>	0,02	0,05
Z. Entrada	D. típica	0,1	7,5	0,0	2,0	14,0	0,3	0,0	0,05	0,02	0,05
<u>2007</u>	Media (3)	<b>8,1</b>	38,4	5,8	7,7	28,6	0,18	0,05	0,10	0,02	0,04
Z. Entrada	D. típica	0,1	2,11	0,70	0,3	1,5	0,01	0,01	0,0	0,0	0,05
	F	152,14	0,714	63,881	64,465	930,213	0,504	589,98	330,460	0,044	0,094
	Sig.	<b>0,000</b>	0,446	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	0,517	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,844	0,774
<u>1991</u>	Media (3)	6,9	<b>235,0</b>	<b>35,0</b>	<b>15,4</b>	<b>177,5</b>	0,05	<b>2,05</b>	0,15	0,04	0,0
Z. Media	D. típica	0,2	25,0	5,0	5,6	17,5	0,05	1,15	0,05	0,00	0,0
<u>2007</u>	Media (3)	<b>8,3</b>	32,9	3,87	7,8	27,3	0,03	0,06	0,40	0,03	0,04
Z. Media	D. típica	0,1	1,2	0,35	0,2	2,2	0,0	0,00	0,51	0,04	0,04
	F	97,3	888,457	481,055	7,783	646,327	0,333	19,137	0,646	0,299	2,484
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,049</b>	<b>0,000</b>	0,595	<b>0,012</b>	0,467	0,614	0,190
<u>1991</u>	Media (3)	7,0	<b>250,0</b>	<b>40,0</b>	<b>90,0</b>	<b>465,0</b>	0,15	1,9	0,35	0,05	0,0
Z. Salida	D. típica	0,1	30,0	0,0	2,0	15,0	0,05	0,5	0,05	0,01	0,0
<u>2007</u>	Media (3)	<b>8,7</b>	110,4	24,8	61,2	210,5	<b>0,36</b>	<b>1,97</b>	0,23	0,03	0,0
Z. Salida	D. típica	0,2	3,5	1,3	1,9	3,8	0,02	1,1	0,0	0,0	0,0
	F	215,4	758,17	2584,30	12643,3	3336,43	18,08	98,37	0,00	0,61	2,48
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>	0,874	0,992	0,477	0,190

En las Tablas 8a y b, correspondientes al análisis de las aguas del arroyo Pelayo, que se encuentra al pie del vertedero urbano de Torrejón de Ardoz, vemos algunos hechos similares a lo observado en casos anteriores, como son valores de conductividad eléctrica, cloruros y Na más elevados en 1991 que en 2007, y valores de D.Q.O. más elevados en 2007.

Tabla 7b. Comparación en los años 1992 y 2007, de los contenidos medios y desviaciones típicas de la Conductividad, D.Q.O. y principales aniones de las aguas del arroyo Peñaca, que circunda el Vertedero urbano de Móstoles.

Año/Área		C.E. $\mu\text{S/cm}$	D.Q.O. (mg/l O <sub>2</sub> )	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
<u>1991</u>	Media (3)	<b>945,0</b>	10,2	<b>120,5</b>	<b>26,0</b>	<b>113,5</b>
Entrada	D. típica		75,0	0,05	14,5	9,0
<u>2007</u>	Media (3)	215,67	<b>66,2</b>	17,5	0,18	25,2
Entrada	D. típica		11,5	5,3	0,5	0,02
	F	711,375	1555,797	704,101	235,621	1662,530
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
<u>1991</u>	Media (3)	<b>1935,0</b>	12,5	<b>222,0</b>	<b>4,5</b>	<b>302,5</b>
P. Media	D. típica		85,0	2,3	118,0	2,5
<u>2007</u>	Media (3)	343,7	<b>98,2</b>	17,9	0,06	27,9
P. Media	D. típica		11,9	3,2	0,7	0,02
	F	2870,083	392,354	46,834	30,258	684,778
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,005</b>	<b>0,000</b>
<u>1991</u>	Media (3)	4175,0	21,3	<b>699,0</b>	<b>19,0</b>	<b>307,0</b>
Salida	D. típica		75,0	2,2	8,0	0,0
<u>2007</u>	Media (3)	<b>2491,7</b>	<b>207,4</b>	568,8	4,47	61,4
Salida	D. típica		17,6	2,1	8,3	0,45
	F	12410,91	644,43	30615,61	123565,10	433,75
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>



Tabla 8a. Comparación del pH y los contenidos medios y desviaciones típicas en nutrientes y metales pesados, en los años 1991 y 2007, de las aguas del arroyo Pelayo, que se encuentra al pie del vertedero urbano de Torrejón.

Años		pH	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
1991	Media (3)	<b>7,8</b>	700,0	610,0	9,0	<b>1643,3</b>	0,13	0,33	0,03	0,10	<b>1,60</b>
	D. típica	0,1	158,7	430,3	6,1	1183,1	0,06	0,49	0,06	0,0	0,44
2007	Media (3)	7,5	629,5	246,3	<b>41,8</b>	217,1	0,03	0,81	0,06	0,20	0,44
	D. típica	0,1	39,4	14,1	1,1	14,3	0,06	0,02	0,00	0,24	0,02
	F	6,736	0,371	1,878	23,265	5,558	4,628	3,055	0,466	0,465	31,839
	Sig.	<b>0,060(F)</b>	0,575	0,242	<b>0,009</b>	<b>0,078(F)</b>	0,098	0,155	0,532	0,532	<b>0,005</b>

Tabla 8b. Comparación de los contenidos medios y desviaciones típicas de la Conductividad, D.Q.O. y principales aniones de las aguas de los años 1991 y 2007, del arroyo Pelayo, situado al pie del Vertedero urbano de Torrejón.

Años		C.E. $\mu$ S/cm	D.Q.O. (mg/l O2)	Cloruros	Nitrato s	Sulfatos
1991	Media (3)	<b>14060,0</b>	15,967	<b>3119,0</b>	72,3	2641,3
	D. típica	7705,0		7,731	2324,0	52,0
2007	Media (3)	2259,7	<b>158,3</b>	302,3	52,3	2106,7
	D. típica	110,5		7,1	7,8	2,7
	F	15,9459	51,2929	6,7423	0,0001	0,2601
	Sig.	<b>0,016</b>	<b>0,002</b>	<b>0,060(F)</b>	0,991	0,637

En las Tablas 9a y b vemos como sucedía en casos anteriores, un pH del agua más elevado en el 2007 que en el 1992. Una conductividad eléctrica y unos contenidos de cloruros y Na, también igualmente que en casos anteriores, más elevados en el año 1991. Una D.Q.O. igualmente más elevada en el año 2007. El comportamiento de otros elementos en esos dos años es más aleatorio.

Tabla 9a. Comparación del pH y los contenidos medios y desviaciones típicas en nutrientes y metales pesados, en los años 1991 y 2007, de las aguas que inundan una antigua gravera, que se encuentra al pie del Vertedero industrial de Torrejón.

Año		pH	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
1991	Media (3)	7,9	<b>265,0</b>	615,0	<b>83,0</b>	<b>1200,0</b>	<b>0,45</b>	0,0	0,03	0,05	3,4
	D. típica	0,0	20,2	205,0	24,2	115,5	0,2	0,0	0,02	0,03	1,7
2007	Media (3)	<b>8,8</b>	118,6	390,3	11,2	507,2	0,02	0,01	0,01	0,01	<b>81,2</b>
	D. típica	0,1	3,6	13,1	1,5	4,4	0,01	0,01	0,02	0,00	3,3
	F	193,067	102,529	0,687	31,344	76,470	5,354	1,000	0,993	1,605	43,199
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	0,454	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0,082(F)</b>	0,374	0,375	0,274	<b>0,003</b>

Tabla 9b. Comparación de los contenidos medios y desviaciones típicas de la Conductividad, D.Q.O. y principales aniones de las aguas de los años 1991 y 2007, de las aguas que inundan una antigua gravera, que se encuentra al pie del Vertedero industrial de Torrejón.

Año		C.E. $\mu$ S/cm	D.Q.O. (mg/l O2)	Cloruros	Nitrato s	Sulfatos
1991	Media	<b>9600,0</b>	42,1	<b>1469,0</b>	22,5	2804,5
	D. típica	346,4	17,3	372,4	13,0	954,1
2007	Media	4796,7	<b>133,0</b>	636,6	0,35	1469,2
	D. típica	55,1	2,3	10,2	0,05	14,5
	F	355,305	7,156	7,764	2,961	1,614
	Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,056 (F)</b>	<b>0,049</b>	0,160	0,273

Tabla 10. Contaminantes orgánicos encontrados en los 3 vertederos en el año 2007.

Vertederos	Fenoles	Insecticidas	Hidrocarburos	PCBs	PAHs
Móstoles urbano		gamma-HCH (Lindano) gamma-HCH			
Torrejón urbano	Cresoles Pentaclorofenol Fenol, Cresoles	gamma-HCH; p,p'-DDE	165.6 84.52 54.48 189.91	0.037 0.223 0.057 0.158 4.139	Benzo(a)pireno Varios PAHs
Torrejón industrial	Fenol Cresoles	gamma-HCH Hexaclorobenceno gamma-HCH	228.97 92.69	0,562 0,055 0,176 0,060	Benzo(a)pireno Benzo(a)pireno

Finalmente en la Tabla 10, podemos ver la existencia de contaminantes orgánicos, algunos de especial peligrosidad, como sucede en los que se encuentran en los dos vertederos de Torrejón de Ardoz. El vertedero de residuos industriales, colindante a la antigua base militar conjunta norteamericana y española, siempre tuvo fama de especialmente peligroso. En su día la INTERPOL investigó, ignoramos con que resultados, y según informaciones suministradas por la Administración española actual, a un transporte que venía de un país europeo a verter su contenido en el mismo.

### Conclusiones

Los resultados hablan de la heterogeneidad de contaminantes inorgánicos que, debido a la escasa cantidad de tierra de cobertura y a las fortísimas tormentas locales en territorio semiárido o subhúmedo, donde realizamos este estudio, dejan al descubierto y propician el arrastre de muchos residuos y lixiviados contaminantes. Además, existe el agravante de que, al igual que ocurre en los vertederos de Torrejón, muchos de ellos se ubicaron rellenando concavidades cercanas a arroyos y pozas, incluso en zonas que se encharcaban (humedales). Esta situación les confiere mayores riesgos para las aguas subterráneas. Lógicamente y en general, los contenidos más elevados, se encuentran en las aguas muestreadas a la salida del arroyo de la zona afectada por el vertedero.

**Agradecimientos:** Al Programa EIADES (CAM) y al Proyecto CTM2008-04827/TECNO (MCI)

### Bibliografía

- Adarve, M<sup>a</sup> J. y Rebollo, L. 1993. Incidencia ambiental de un vertedero sellado de residuos sólidos localizado en Móstoles (Madrid) sobre la composición natural de las aguas subterráneas. *Geogaceta*, 13: 3-6.
- Adarve, M<sup>a</sup> J.; Hernández, A. J. y 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*: 162-170. Ed. TIASA, Madrid.
- Adarve, M<sup>a</sup>.J.; Hernández, A.J.; Pastor, J. y Oliver, S. 1994c. Contribución de los vertederos de residuos sólidos urbanos a la salinización y nitrificación del suelo sobre sustratos básicos. En: *Suelos Contaminados*. II: 21-24. Ed. Eusko Jaurlaritza, IHOBE, Vitoria-Gazteiz.
- Adarve, M<sup>a</sup>.J; Hernández, A.J.; Gil, A; Pastor, J. 1998. B, Zn, Fe and Mn content in four grassland species exposed to landfill leachates. *J. Environmental Quality*, 27: 1286-1293.
- Chu, L. M., Cheung, K. C., Wong, M. H. 1994. Variations in the Chemical Properties of Landfill Leachate. *Environmental Management*, 18:105-117.
- Fatta, D. Papadopoulos A. Loizidou, M. 1999. A study of the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area. *Environmental Geochemistry and Health*. 21: 175-190.

- Hernández A.J. y Pastor, J. 1989. Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo- planta. *Henares, Rev. Geol.*, 3: 67-102.
- Hernández, A.J.; Adarve, M<sup>a</sup>.J.; Rebollo L.F.; Urcelay, A. & Pastor, J. 1993a. Water flows in ecological systems disturbed by landfills. In: *Ecotoxicology and Environmental Chemistry. A Global Perspective*: 252-254. Ed. SETAC. Commissions of the European Communities, Lisboa.
- Hernández, A.J.; Adarve, M<sup>a</sup>.J.; Pastor, J.1998a. Some impacts of urban waste landfills on Mediterranean soils. *Land Degradation. & Development* 9: 21-33.
- Hernández, A.J.; Adarve, M<sup>a</sup> J.; Gil, A. and Pastor, J.1998b. Soil salination from landfill leachates: effects on the macronutrient content and plant growth of four grassland species. *Chemosphere*, 38: 1693-1711.
- Hernández, A.J. & Pastor, J. 2008. Validated Approaches to Restoring the Health of Ecosystems Affected by Soil Pollution In: J. B. Dominguez (Ed.). Chapter 2. In: *Soil Contamination Research Trends*, pp. 51-72. Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, NY USA.
- Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S. 2004. Lanfill mining and wasre characterization : a strategy for remediation of contaminated areas. *J. Mater Cycles Waste Management*, 6:119-124.
- Kjeldsen, P., 1993. Groundwater pollution source characterization of an old landfill. *J. of Hydrology*, 142: 349-371.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 1982. *Métodos Oficiales de Análisis de Suelos y Aguas*.
- Pastor, J.; Urcelay, A.; Oliver, S. and Hernández, A. J. 1993a. Impact of Municipal Waste on Mediterranean Dry Environments. *Geomicrobiology Journal*, 11: 247-260.
- Pastor, J.; Hernández, A.J.; Adarve, M<sup>a</sup>.J. & Urcelay, A. 1993b. Chemical characteristics of sedimentary soils in the Mediterranean environment: a comparison of undisturbed and disturbed soils. *Applied Geochemistry*. Sp.2: 195-198.
- Pastor, J.; Alia, M.; Hernandez,A.J.; Adarve, M.J.; Urcelay, A. and Anton, F.A. 1993. Ecotoxicological studies on effects of landfill leachates on plants and animals in Central Spain. *Science of the Total Environment*, 140: 127-134.
- Pastor, J. 1994. Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados. En: *Contribución a la educación ambiental: el tratamiento de los residuos urbanos*, pp. 49-65. Cuadernos del ICE, 11. Ed. Universidad Autónoma de Madrid.
- Pastor, J. & Hernández, A. J. 2007a. Biogeoquímica en vertederos clausurados en la zona centro de la península Ibérica. *VI Congreso Ibérico de Geoquímica, Portugal*, pp. 430-433.
- Pastor, J. & Hernández, A. J. 2007b. Evaluación de la complejidad de vertederos-cubierta edáfica y suelos de las áreas de descarga, en relación a la revegetación y la fitorremediación. En; *Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo*. N. Bellinfante & A. Jordán (eds.) pp. 947-953.
- Urcelai, A.; Pastor, J. y Hernandez, A.J. 1994. Los contaminantes inorgánicos de suelos de vertederos de RSU en relación a los organismos vivos. En: *Suelos Contaminados*, Vol. II, pp. 17-20. Eusko Jaurlaritza, IHOBE, Vitoria.
- Urcelai, A.; Hernandez, A. J. and Pastor, J. 2000. Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *Science of the Total Environment*, 247: 253-261.