

# Ensayos de Difusión de Lixiviados de Vertederos de Residuos Urbanos en Arcillas Compactadas

/ ISABEL DE SOTO, ANA ISABEL RUIZ, MERCEDES REGADÍO, MANUEL RODRÍGUEZ, JAIME CUEVAS\*

Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco. 28049, Madrid (España)

## INTRODUCCIÓN.

Los vertederos de Residuos Urbanos deben cumplir una serie de medidas técnicas que aseguren el aislamiento de los residuos y la extracción de los efluentes generados. Son necesarias una serie de barreras (criterio multibarrera), las cuales aseguren el retardo de la migración de los contaminantes.

Con el fin de diseñar barreras de ingeniería que cumplan estas propiedades se hace necesario el diseño de experimentos de transporte que permitan obtener parámetros para la modelización de su comportamiento a escalas de tiempo relevantes a la vida del vertedero.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

A partir de arcillas no expansivas de diferentes yacimientos españoles (Ariño, Carboneros, Papiol, Pantoja y Bailén) se prepararon pastillas, de 2 cm de altura y 7 cm de diámetro, saturadas en agua y

compactadas a la densidad del ensayo Próctor. Estas pastillas (Fig.1) se colocaron dentro de una celda en la que circula agua destilada por un extremo y por el otro un lixiviado sintético, similar al obtenido en el vertedero de El Garraf (Barcelona) (Tabla 1).

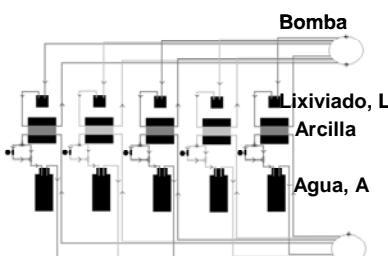


fig.1. Esquema del experimento de difusión.

Las arcillas se eligieron con diferente composición mineralógica (Tabla 2). Así, es posible tener en cuenta diferentes procesos geoquímicos que se pueden producir en estos materiales cuando entran en contacto con los lixiviados (Tabla 3).

El ensayo se puede considerar en tres fases (Fig.1):

**Fase de estabilización:** recirculación de agua destilada en el extremo inferior de la celda. Al finalizar esta etapa se han recogido muestras de agua ( $A_{t0}$ ) con el fin de definir las condiciones iniciales. Además, como medida de control se ha medido en línea la conductividad.

**Fase de difusión:** recirculación del agua estabilizada ( $A_{t0}$ ) en el extremo inferior de la pastilla y recirculación de lixiviado en el extremo superior de la celda para observar la llegada del frente salino.

**Fase de desmantelamiento:** desmonte de la celda y análisis físico-químico de la arcilla. Al final del ensayo se ha llevado a cabo el control de algunos parámetros químicos en el lixiviado (L) y en la disolución recirculada por el otro extremo (A). La pastilla de arcilla fue subdividida en cinco secciones de 4 mm de grosor.

La caracterización mineralógica de las muestras se llevó a cabo mediante Difracción de Rayos X. Además, se determinaron la superficie específica (mediante isotérmica de absorción de  $N_2$ , según el modelo BET); la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (por saturación con acetato sódico a pH 8.2, determinándose el  $Na^+$  por fotometría de llama); y los cationes de cambio (extraídos con acetato amónico a pH 7, en el caso de:  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ; y extraídos con acetato sódico, en el caso del  $NH_4^+$ ).  $Na^+$  y  $K^+$  fueron determinados por fotometría de llama,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  mediante absorción atómica, y  $NH_4^+$  mediante electrodo selectivo.

Finalmente, en las muestras líquidas (A, L y  $A_{t0}$ ) se determinó el contenido en cationes ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ) y contenido en aniones ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $F^-$ ).

Lixiviado	pH	COD (mg/l)	$NH_4^+$ (mg/l)	$Na^+$ (mg/l)	$K^+$ (mg/l)	$Cl^-$ (mg/l)
Garraf	8.6	10500	4575	4500	2300	9.5

Tabla 1. Composición química (Componentes mayoritarios) del lixiviado El Garraf (Barcelona).

Arcillas	Filosilicatos				Cuarzo	f-K	f-Na	Dolomita	Calcita	Otros
	T	C	I	Es						
Pantoja	72	11	60	1	14	4	10	<1	<1	Y (<1)
Ariño	74	62	12	<1	20	1	1	2	1	S (1)
Carboneros	69	<1	69	-	17	4	<1	7	<1	H (2)
Papiol	60	9	34	17	26	4	2	<1	7	H (1)
Bailén	47	6	31	10	29	3	3	4	13	P

Tabla 2. Análisis semicuantitativo de las muestras arcillosas. T: cantidad total de filosilicatos, C: caolinita, I: illita, f-K: feldespato potásico, f-Na: feldespato sódico, Y: yeso, S: siderita, H: hematites, P: pirita.

**palabras clave:** Difusión, Arcilla, Lixiviado, Vertedero

**key words:** Diffusion, Clay, Leachate, Landfill site

Arcillas	Precipitación de carbonatos	Oxidación - Reducción	Propiedades de adsorción	Otros
Pantoja	7	$\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$	Superficial/Interlaminar	
Ariño	$\text{FeCO}_3$	$\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	Superficial Hidrólisis ácida	Materia orgánica
Carboneros	$\text{CaMgCO}_3$	$\text{Fe}^{\text{III}} \rightarrow \text{Fe}^{\text{II}}$	Superficial	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Papiol	$\text{CaCO}_3$	$\text{Fe}^{\text{III}} \rightarrow \text{Fe}^{\text{II}}$	Interlaminar/superficial	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Bailén	$\text{CaMgCO}_3/\text{CaCO}_3$	$\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	Interlaminar/superficial	$\text{FeS}_2$

Tabla 3. Propiedades relevantes en el estudio del comportamiento geoquímico de las arcillas seleccionadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Desde un punto de vista mineralógico, no existen variaciones importantes en el porcentaje de las distintas fases minerales en las muestras de las cinco secciones de arcilla comparadas con las arcillas originales. La arcilla de Carboneros es una excepción ya que se produce la disolución de dolomita y precipitación de calcita. En cuanto a la superficie específica no se aprecian variaciones significativas entre las distintas secciones.

A la vista de los datos de conductividad (Fig. 2), se aprecia un aumento de los valores al poner en contacto a la arcilla con el lixiviado (comienzo de la segunda

etapa del experimento). La observación de la llegada del frente salino depende del tipo de arcilla. Se observa cómo en las arcillas de Pantoja y Bailén la llegada del frente salino es más evidente que en las otras tres arcillas. Estas arcillas contienen inicialmente una mayor proporción de sales solubles (sulfatos y cloruros). Esto contrasta con la velocidad, más lenta si el transporte hubiera sido meramente advectivo (Cuevas y col., 2008, en prensa). En cualquier caso, en todas ellas se detecta la difusión de solutos desde el extremo del lixiviado en un tiempo inferior a un mes.

En cuanto al pH, aumenta en el extremo del lixiviado (L, Tabla 4) llegando a valores entorno a 9. Esto lo podemos relacionar con la disolución de los

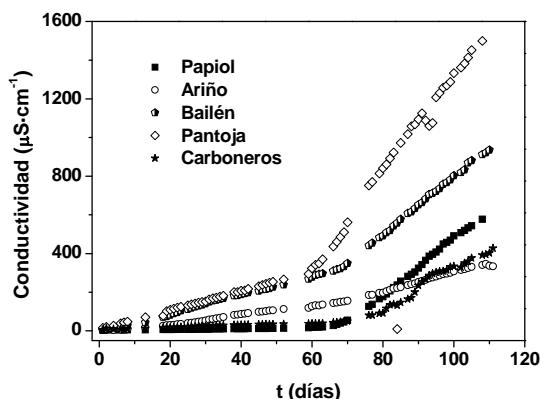


fig. 2. Representación de la conductividad en función del tiempo para las distintas arcillas.

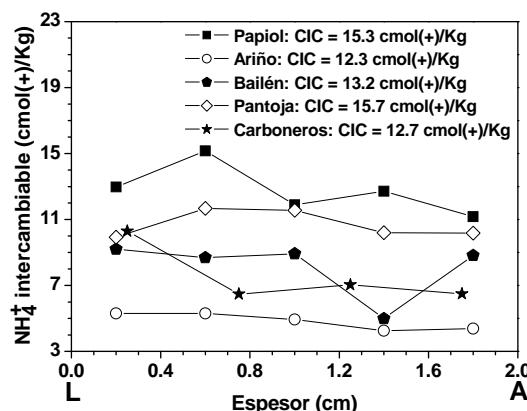


fig. 3. Perfiles de catión amonio intercambiable en función del espesor de las pastillas arcillosas.

carbonatos y el aumento de la alcalinidad (Bradbury y Baeyens, 2003).

Arcillas	pH A <sub>10</sub>	pH A	pH L
Papiol	6.92	7.79	9.14
Ariño	6.29	6.56	8.74
Bailén	7.29	7.79	9.01
Pantoja	6.79	8.02	9.07
Carboneros	7.25	7.85	8.87

Tabla 4. Variaciones de pH.

La Figura 3 muestra la distribución de amonio intercambiable a lo largo del espesor de la pastilla observándose una mayor concentración en las secciones cercanas al lixiviado. La disminución de concentración en este catión de la primera a la segunda sección puede relacionarse con la transformación de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$  debido a que se encuentra en contacto directo con el lixiviado sintético a pH próximo a 9.

La cantidad de amonio incorporada en cada una de las arcillas es proporcional a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de cada una de ellas. Aunque existe cierto gradiente desde el extremo del lixiviado, los valores están muy próximos al valor de la CIC para las arcillas que contienen esmectita. Esto confirma que la difusión de solutos tiene lugar de forma significativa a través de las arcillas compactadas.

La finalidad de este estudio consiste en la elaboración de una base de datos que se usará para modelizar la difusión de solutos en las barreras arcillosas de los vertederos de Residuos Urbanos.

## AGRADECIMIENTOS.

Este estudio se enmarca en el Plan I+D+i (A113/2007/3\_02.6) del Ministerio de Medio Ambiente, realizándose en cooperación con Geotecnia y Cimientos S.A. (GEOCISA), el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), y el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA - CSIC).

## REFERENCIAS.

- Bradbury, M.H., Baeyens, B. (2003): Porewater chemistry in compacted re-saturated MX-80 bentonite. Journal of Contaminant Hydrology, **61** (1-4), 329-338.  
 Cuevas, J., Leguay, S., Garralón, A., Rodríguez, M., Procopio, J.R., Sevilla, M.T., Sánchez, N., Rodríguez, R., Garrido, A. (2008): Behavior of kaolinite and illite-based clays as landfill barriers. Applied Clay Science. En prensa.