

Transporte de Cloruro de Amonio a través de Barreras Compuestas de Diferentes Arcillas Naturales

ANA I. RUIZ GARCÍA (1), JAIME CUEVAS RODRÍGUEZ (1*), ISABEL S. DE SOTO GARCÍA (1), MERCEDES REGADÍO GARCÍA (1), MANUEL RODRÍGUEZ RASTRERO (1)

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

INTRODUCCIÓN.

Los procesos físico-químicos y biológicos que se producen en la transformación de los bioresiduos en un vertedero dan lugar a la generación de lixiviados (Salem y col., 2008).

De esta manera se genera un efluente líquido con una elevada carga de materia orgánica, nitrógeno amoniacal, sales inorgánicas y un contenido variable de metales pesados. Su aspecto característico presenta un intenso color negro/marrón y un desagradable olor y comporta una elevada toxicidad.

En los lixiviados que provienen de vertederos urbanos se observa que la composición está muy ligada al grado de degradación de los residuos y por tanto a la edad del vertedero. Su composición es bastante compleja y variable, sin embargo la concentración de los constituyentes inorgánicos mayoritarios (cloruros y amonio) se mantiene prácticamente constante con el tiempo por lo que, a largo plazo, no se encuentran afectados de manera importante por la biodegradación y otros procesos físico-químicos (Kjeldsen y col.,

2002; El-Fadel y col., 2002).

El control de este lixiviado es uno de los aspectos más importantes en los vertederos, con el fin de no contaminar el suelo y los acuíferos situados bajo el mismo. Para eliminar las emisiones o reducirlas lo suficiente debe diseñarse un sistema de revestimiento utilizando materiales con función barrera (National Research Council (U.S.), 2007).

En nuestro estudio pretendemos evaluar el comportamiento de mezclas minerales con el fin de diseñar específicamente materiales que aseguren la función de barrera mineral frente a la contaminación. Para ello se ha diseñado un seguimiento en línea del transporte de los cloruros y de amonio en diferentes mezclas de componentes minerales: arena y arcilla, incluyendo el empleo de una bentonita comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se ha llevado a cabo a partir de mezclas de arena y arcillas no expansivas seleccionadas de yacimientos españoles (Cuevas y col., 2009), las cuales presentan distintas propiedades hidráulicas y geoquímicas

(mineralogía, capacidad de intercambio catiónico y superficie específica, Tabla 1). La arena empleada en las mezclas se corresponde con la fracción entre 2 y 0.05 mm de una arcosa, de la que se han extraído 500 kg en el término de San Sebastián de los Reyes (Madrid), cuyo contenido en finos (< 0.05 mm) es aproximadamente del 20 %.

Las mezclas minerales se prepararon en la relación arena: arcilla 80%: 20% y se compactaron a una densidad cuyos valores están comprendidos entre 1.8 y 2 kg/dm³. En los ensayos realizados se llevó a cabo un seguimiento de la permeabilidad y se determinó la densidad una vez finalizados.

Con objeto de probar la acción de mejora que supone la adición de bentonita a un terreno natural, también se han preparado mezclas que incluyen arena (Arcosa2b en Fig.3) (88 %), finos de arcosa (10 %) y 2% de bentonita comercial (bentonil C2®). La dosificación de bentonita está de acuerdo con criterios de viabilidad económica en ingeniería civil (Rowe y col., 1995).

Para simular el transporte del lixiviado,

Arcillas	Filosilicatos				Cuarzo	f-Na	f-K	Calcita	Dolomita	Otros	Conductividad Hidráulica (m/s)
	T	C	I	Es							
Ariño	78	64	14	<1	20	1	1	-	-	S: <1	4.0·10 ⁻¹⁰
Ballén	52	7	33	12	30	1	<1	11	5	P: 1	1.9·10 ⁻¹⁰
Carboneros	62	<1	62	-	23	<1	1	<1	12	H: 2	8.2·10 ⁻¹⁰
Pantoja	70	11	58	1	22	5	3	<1	<1	S: <1	1.7·10 ⁻¹⁰
Papiol	58	-	33	16	30	1	1	6	2	H: 2; Cl: 9	5.2·10 ⁻¹⁰
Arena	7	-	2	5	62	10	21	-	-	-	-
Finos de arcosa	86	15	14	70	5	2	3	-	-	-	-

Tabla 1. Análisis semicuantitativo y conductividad hidráulica de las muestras arcillosas. T: cantidad total de filosilicatos, C: caolinita, I: illita, f-Na: feldespato sódico, f-K: feldespato potásico, S: siderita, H: hematites, P: pirita, Cl: Clorita.

palabras clave: Arcillas, Conductividad hidráulica, Lixiviado **key words:** Clays, Hydraulic conductivity, Leachate

se ha preparado un lixiviado sintético basado en el que se obtiene en el vertedero de Garráf, ubicado en el Vall d'en Joan (Barcelona). El lixiviado se compone de NH_4Cl (0.25M), CH_3COONa (0.15 M) y NaHCO_3 (0.1 M) con un pH de 7.8. Esta composición responde a la de un vertedero maduro con un elevado contenido en sales inorgánicas y un pH ligeramente básico.

Para realizar los ensayos se diseñaron y construyeron celdas de dimensiones cilíndricas formadas por un reactor, que consta de un vaso (en cuyo interior se sitúa la mezcla mineral) y una tapa de teflón que se cierra mediante una junta tórica de vitón, asegurándose la total estanqueidad. El conjunto se introduce en una carcasa de acero inoxidable para evitar su deformación. Mediante una bomba de pistón se mantiene una presión constante de 0.8 MPa, que bombea el agua (para el estudio de la permeabilidad y con objeto de lavar los compuestos solubles) y posteriormente el lixiviado para el experimento de transporte iónico. La presión de inyección crea un flujo advectivo, permitiendo que el agua o el lixiviado puedan muestrearse a la salida de la mezcla mineral.

El tubo de salida del efluente se conecta a un depósito de recogida de disoluciones. Éste, en el caso del estudio del transporte, está conectado a una sonda que va monitorizando en tiempo real la concentración de cloruro y amonio, pudiendo hacer así un seguimiento de dichos iones (Fig. 1).

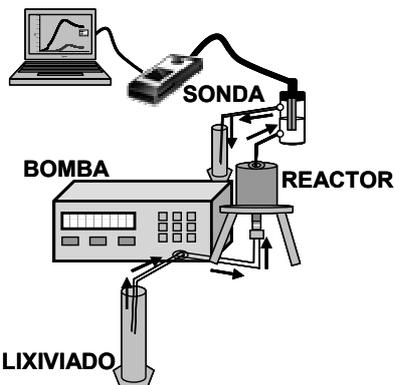


fig 1. Esquema del experimento de transporte de cloruro y amonio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los ensayos de permeabilidad han mostrado que todas las mezclas compactadas a una densidad \geq de 1.90 kg/dm^3 cumplen la directiva de vertido

1999/31/EC (conductividad hidráulica $< 1 \cdot 10^{-9}$ m/s). Sin embargo, si se compactan a densidades menores se reduce de forma importante su valor de conductividad hidráulica (Fig. 2).

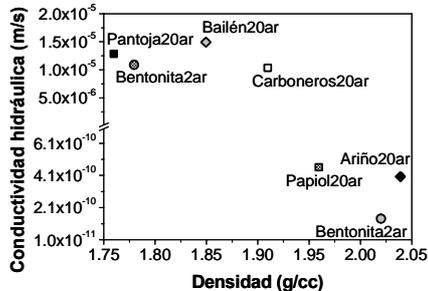


fig 2. Representación de la permeabilidad de las mezclas arena:arcilla respecto a la compactación.

Una vez conocida la compactación necesaria para cumplir los requisitos de la directiva europea, se comenzó con el estudio de transporte iónico bombeando el lixiviado sintético.

Desde un punto de vista mineralógico, frente al transporte, podemos separar en dos grupos el conjunto de las arcillas de nuestro estudio: las que contienen esmectita (siempre menor del 20%, Bailen y Papiol) y las que se componen casi exclusivamente de caolinita e illita (Ariño, Carboneros y Pantoja).

En las arcillas caoliníticas y/o íliticas, la concentración salina (NH_4Cl) se iguala a la de infiltración a partir de la salida de los dos primeros volúmenes de poro (Fig. 3, (Ariño20ar)). Sin embargo, las arcillas que contienen esmectita muestran durante el proceso de transporte capacidad para retrasar el transporte de cloruro, ya que la concentración inicial se recupera tras la salida de 6 a 8 volúmenes de poro. El transporte de amonio se ve todavía más retrasado al poder incorporarse como catión de cambio en la esmectita (Fig. 3: Papiol20ar (20% arcilla de Ariño más 80% de arena de arcosa)).

Este comportamiento se podría justificar por efectos de membrana semipermeable atribuidos a los minerales esmectíticos de alta superficie específica. Esto se confirma al comprobar que la adición de bentonita en pequeñas proporciones reduce la conductividad hidráulica y retrasa el frente salino de manera importante con respecto a las arcillas naturales (Arcosa 2b en figura 3).

Como consecuencia, se demuestra que

la adición de minerales esmectíticos, en proporciones compatibles con la estabilidad mecánica de la barrera es la mejor elección en el diseño de arcillas con propiedades de barrera, previniendo la propagación de lixiviado.

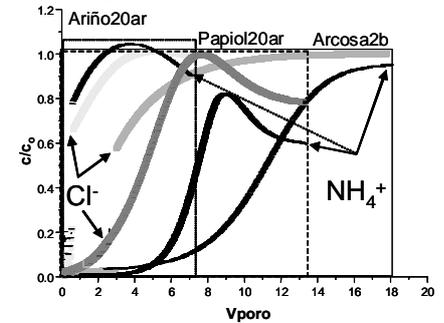


fig 3. Curva de concentración de cloruro y amonio frente a volúmenes de poro de distintas mezclas minerales.

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 Jaime Almera (ICTJA - CSIC).

REFERENCIAS.

- Cuevas, J., Leguey, L., Garralón, A., Rodríguez, M., Procopio, J.M., Sevilla, M.T., Sánchez, N., Rodríguez Abad, R., Garrido, A. (2009): Behavior of kaolinite and illite-based clays as landfill barriers. *Appl. Clay Sci.*, **42** (3-4), 497-509.
- El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., Alayli, B. (2002): Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Manag.*, **22**, 269-282.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Bann, A., Ledin, A., Christensen, T.H. (2002): Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Crit. Rev. Env. Sci. Tec.* **32**(4), 297-336.
- National Research Council (U.S.). Committee to Assess the Performance of Engineered Barriers, National Academies Press (COR), National Research Council (2007): Assessment of the performance of engineered waste containment barriers. National Academies Press, 121 pp.
- Rowe, R.K., Quigley, R.M., Booker, J.R. (1995): Clayey barrier systems for waste disposal facilities. Spon Press. Abingdon, Oxon. 390 pp.
- Salem, Z., Hamouri, K., Djema R., Allia K. (2008): Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination* **220** (1-3), 108-114.