

Simulación del Comportamiento de una Arcilla Natural en Contacto con un Lixiviado Ácido

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

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

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la mayoría de los países están obligados a encontrar medidas adecuadas para gestionar la gran cantidad de residuos generados. Los residuos suponen un peligro para el medio ambiente y la salud humana debido a la formación de líquidos contaminantes denominados lixiviados.

Los residuos urbanos se suelen gestionar en vertederos, instalaciones reguladas por la Directiva 1999/31/EC. Dicha directiva obliga que la base y los laterales de los vertederos posean, entre otras barreras de protección, una barrera geológica, es decir, un revestimiento de un material natural que cumpla unas características propicias para el retardo de la contaminación por lixiviados. En caso de que el material localizado in situ no cumpla con esos criterios, se debe añadir una barrera geológica que tenga un espesor o profundidad $\geq 0,5$ m y una conductividad hidráulica equivalente de $K \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s (Anexo I.3, Directiva 1999/31/EC).

El presente trabajo analiza un experimento de 4 años de duración con espesor comparable a las barreras recomendadas por la directiva de la UE. Dicho experimento simula una barrera geológica añadida (un material arcilloso) en contacto con un lixiviado correspondiente a vertederos jóvenes urbanos (lixiviado acetogénico). Los datos experimentales se han utilizado para modelar de forma preliminar la difusión de contaminantes disueltos en el lixiviado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En el experimento se usaron dos materiales: un sustrato mineral y un

lixiviado. El sustrato es una arcilla natural procedente de Bailén (Jaén) seleccionada por tener una mineralogía heterogénea (Tabla 1).

Filosilicatos (%)			No filosilicatos (%)			
52			48			
Ill	Sm	Chl-Fe	Qz	Cal	Dol	Py
33	12	7	30	11	5	1

Tabla 1. Mineralogía original de la arcilla de Bailén. Ill: illita, Sm: esmectita, Chl-Fe: clorita férrica, Qz: cuarzo, Cal: calcita, Dol: dolomita, Py: pirita. Feldespatos <1%.

La arcilla (Tabla 2, siguiente página) tiene una superficie específica de 29,7 m²/g y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 13,2 cmol(+)/Kg, estando el complejo de cambio formado mayoritariamente por Ca²⁺ y en menor medida Mg²⁺. Esta arcilla de Bailén posee un alto contenido salino, con SO₄²⁻ y Ca²⁺ como iones solubles mayoritarios. No posee NH₄⁺ soluble ni intercambiable.

En cuanto al lixiviado, se trata de una disolución sintetizada en el laboratorio que representa la composición media calculada a partir de una revisión de lixiviados en la etapa acetogénica o ácida (Cuevas et al., 2012). El lixiviado utilizado posee un pH de 5 y una conductividad eléctrica (CE) de 3000 mS/m siendo el Na⁺, NH₄⁺ y Cl⁻ las especies inorgánicas más abundantes (47,8, 45,5 y 50,8 mmol/L, respectivamente). La materia orgánica se ha introducido en forma de acetato (167,0 mmol/L).

Métodos

La arcilla de Bailén fue saturada con agua destilada y compactada hasta aproximadamente la densidad Proctor óptima ($\approx 1,9 \cdot 10^{-10}$ m/s) en una columna de 0,25 m de diámetro. Sobre la arcilla (que llegaba hasta una altura

de 0,5 m), se depositó el lixiviado acetogénico (entre 0,5 y 0,95 m de altura en la columna). En total, 12 muestras de arcilla a distintas profundidades se muestrearon después de 4 años en contacto arcilla-lixiviado.

Se analizaron los iones tanto solubles como intercambiables. Los iones solubles se midieron por duplicado en extractos acuosos con una proporción arcilla:agua-destilada de 1:10, a partir de 10 g de muestra sólida no alterada. La mezcla arcilla:agua-destilada estuvo 24 h humectando en el frigorífico y otras 24 h en agitador de vaivén. Los iones se midieron en el sobrenadante después de centrifugarse y filtrarse (0,45 μ m) con cromatografía iónica de alta resolución (METROHM™ 882 Compact IC Plus).

Los sólidos remanentes después de la extracción de los iones solubles se utilizaron para determinar los cationes de cambio (XNH₄, XNa, XK, X₂Ca, X₂Mg; siendo X el complejo de intercambio catiónico de la arcilla) y la CIC. Los cationes de cambio se extrajeron a temperatura de laboratorio siguiendo el método descrito en Thomas (1982). El XNa y XK, se analizaron en un Fotómetro de Llama Buck Scientific® PFP-7. El X₂Ca y X₂Mg se determinaron por Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama (Unicam™ Solaar M series atomic-absorption spectrometer). El XNH₄ se determinó con el Potenciómetro de Ión Selectivo ORION® 9512 Ammonia Gas Sensing Electrode.

La CIC se determinó a partir del sólido que quedó después de extraer el XNH₄, según Rhoades (1982). La concentración de Na⁺ (equivalente a la CIC) se midió en el fotómetro de llama citado previamente.

También se estudió la mineralogía mediante Difracción de Rayos X

palabras clave: Arcilla de Bailén, Lixiviado acetogénico, Simulación

key words: Bailén clay, Acetogenic leachate, Modelling

	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	pH	XNa	XK	XNH ₄	X ₂ Ca	X ₂ Mg	CIC
	mmol/kg _w									cmol(+)/kg					
Bailén	10,2	8,8	1,7	16,2	12,4	12,5	27,9	1,8	7,5	0,4	0,9	n.d.	8,0	4,2	13,2

Tabla 2. Composición inicial del agua de poro (mmol/kg_w), del complejo de cambio y capacidad de intercambio catiónico, CIC (cmol(+)/kg) en la arcilla de Bailén. n.d.: no detectado.

comprobandose que no existen cambios importantes, incluso en el contenido en carbonatos, ya que la acidez se neutraliza en los primeros mm de la columna. En consecuencia, en el presente trabajo sólo se tratan los aspectos del transporte de solutos.

Modelo geoquímico

Se ha realizado un modelo numérico capaz de reproducir razonablemente los datos analíticos obtenidos en el laboratorio sobre la columna de Bailén después de 4 años en contacto con el lixiviado acetogénico. Para ello se ha empleado el código geoquímico RetrasoCodeBright (RCB) (Saaltink et al., 2005).

La arcilla se ha simulado como un material compuesto por el agua de poro en equilibrio con minerales solubles (calcita, dolomita y yeso) y el complejo de intercambio catiónico. Las constantes de intercambio catiónico se han obtenido a partir de los datos iniciales de la arcilla (de Soto et al., 2012) y se han incorporado al modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de Cl⁻ en el ensayo de Bailén en contacto con el lixiviado acetogénico se ha simulado con tres coeficientes de difusión, D_e (desde el contacto con el lixiviado hasta 0,5 m de profundidad: D_e = 9,5 · 10⁻¹¹, 5,5 · 10⁻¹¹ y 1,5 · 10⁻¹¹ m²/s). Para estos coeficientes, aunque las muestras más cercanas al contacto con el lixiviado (<0,1 m) poseen concentraciones de Cl⁻ más pequeñas que las calculadas por el modelo, en general, el Cl⁻ de la simulación presenta valores cercanos a la concentración del anión medida experimentalmente (Fig. 1).

Las pequeñas modificaciones en los coeficientes de difusión son debidas a las condiciones en las que estuvo la columna. La arcilla, al no estar confinada, se dejó que expandiera libremente, presentando porosidades mayores en el contacto con el lixiviado que en profundidad, lo que modifica los coeficientes de difusión.

Los datos de XNH₄ experimentales y de

la simulación reflejan una importante concentración del catión en los primeros centímetros de la columna que se disipa en profundidad. Los datos analíticos y de la simulación se aproximan en magnitud pero no se ajustan a la forma de la curva, ya que a 0,5 m de profundidad, se han detectado valores más bajos de XNH₄ en los experimentos que en la simulación (Fig. 2).

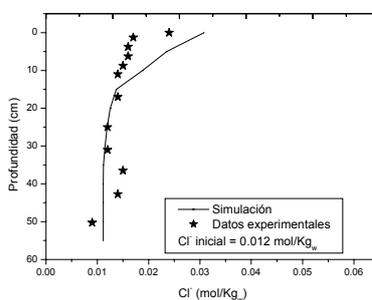


fig 1. Comparación del Cl⁻ del agua de poro con la profundidad de la arcilla de Bailén: datos experimentales y de la simulación después del ensayo.

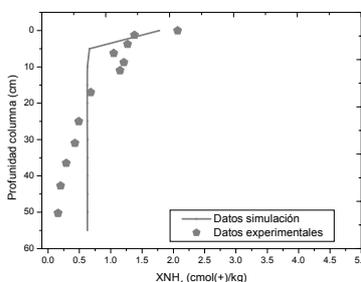


fig 2. Comparación del amonio intercambiable de la arcilla de Bailén: datos experimentales y de la simulación después del ensayo.

Este desajuste se interpreta por la existencia de una variación continua de la densidad en la probeta que no es posible simular con tres zonas de porosidad o de difusión diferentes. No obstante, la magnitud del intercambio sí valida las constantes empleadas.

CONCLUSIONES

Los principales procesos estudiados en el contacto arcilla-lixiviado ácido de la base de los vertederos son la difusión de contaminantes a través de los materiales compactados y el intercambio catiónico, principalmente intercambio de X₂Ca por XNH₄. Éste último indicador es importante en la

medida de la profundidad que alcanza la contaminación, que en este caso es aproximadamente 0,40 m coincidiendo también con la estabilización del anión Cl⁻. Este hecho es compatible con los 0.50 m de espesor de la barrera geológica añadida, establecidos en normativa. No obstante será necesario analizar otro tipo de lixiviados y profundizar en la simulación de los procesos para ganar confianza en la función de barrera establecida.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se encuadra en el Proyecto I+D+i (A113/2007/3_02.6) del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, en cooperación con Geotecnia y Cimientos S. A. (GEOCISA) y el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

REFERENCIAS

Cuevas, J., Ruiz, A.I., de Soto, I.S., Sevilla, M.T., Procopio, J.R., Da Silva, P., Gísmara, M.J., Regadio, M., Sánchez Jiménez, N., Rodríguez Rastrero, M., Leguey, S. (2012): The performance of natural clay as a barrier to the diffusion of municipal solid waste landfill leachates. *Journal of Environmental Management* **95**, S175-S181.

Directive 1999/31/EC, of 26 April 1999 on the landfill of waste. O.J.L. 005. *Legislación de la Unión Europea*.

Rhoades, J. D. (1982): Cation exchange capacity. in: "Methods of Soil analysis Part 2" Miller, A.L., & Keeney, D.R. eds.. *Soil Sci. Soc. Am. Madison*, 149-157.

Saaltink, M.W., Ayora, C., Olivella, S. (2005): User's guide for RetrasoCodeBright (RCB). Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña e Instituto de Ciencias de la Tierra. *Barcelona*, 117 p.

de Soto, I. S., Ruiz, A. I., Ayora, C., García, R., Regadio, M., Cuevas, J. (2012): Diffusion of landfill leachate through compacted natural clays containing small amounts of carbonates and sulfates. *Applied Geochemistry*, **27**, 1202-1213. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2012.02.032.

Thomas, G. W. (1982): Exchangeable cations. in: "Methods of Soil analysis, Part 2" Miller, A.L., & Keeney, D.R. eds. *Soil Sci. Soc. Am. Madison*, 159-165.