

EVALUACIÓN POR DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA LIXIVIACIÓN DE Cd y Pb DE CENIZAS INMOVILIZADAS POR CEMENTACIÓN

Graciela Noemí Avila, Florencia Capalbi, María Marta Tejerina y Julio César Arroyo

Departamento de Química- Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta
Avenida Bolivia 5150 - c/p 4400
julioarroyo87@gmail.com

Introducción

En los sistemas de gestión de residuos cuando los tratamientos térmicos cobran especial importancia, contemplan la **incineración** como tratamiento de “solución final” de residuos no-reciclables; es decir, después de haber sido el residuo sometido a minimización (reducción y recuperación de componentes valiosos). Puede darse una definición, como “un proceso controlado que utiliza la combustión para convertir un residuo en otro material de menor volumen, menos tóxico o menos nocivo”. Sus productos son mayoritariamente CO₂, H₂O y cenizas, pero existen otros productos minoritarios que son los más preocupantes, fundamentalmente, productos que contienen nitrógeno, azufre y halógenos.

Entre los objetivos del tratamiento térmico de residuos se destaca la reducción del volumen y/o destrucción del residuo, estabilización del residuo por lo que las cenizas resultantes del incinerador son considerablemente más inertes que el material de entrada, fundamentalmente por la oxidación de los componentes orgánicos del residuo y la desinfección de residuos. Fundamentalmente de residuos orgánicos en los que se consigue la destrucción de patógenos previa a la eliminación final. Así la incineración de residuos peligrosos posee carácter de solución final en cuanto a que se consigue la destrucción de los contaminantes. No obstante, dicha destrucción no conduce a la ausencia total de residuos, pero esto constituye una característica general de cualquier sistema de tratamiento. Tras el proceso se producen gases como dioxinas y furanos de alto poder tóxico. Además se generan cenizas volantes que los acompañan, las mismas puede contener metales pesados. Parte de estas cenizas quedan en el fondo del horno que pueden requerir de una disposición especial.

El objetivo de este trabajo es ofrecer un tratamiento alternativo de las cenizas de incineradores de disposición final de residuos peligrosos con el fin de disminuir la contaminación a largo plazo de las corrientes de agua naturales. Para ello se estudiaron y adecuaron proceso de inmovilización mediante la transformación de las cenizas en sólidos compactos, duros y resistentes, con características que impidan la lixiviación de los metales pesados. Estos sólidos, en forma de ladrillos o placas incluso podrían utilizarse como material de cobertura vial, con lo cual, además de disminuir la contaminación, también se eliminaría el impacto que es inherente a la actual forma de disposición.

Materiales y métodos

Con el fin de evaluar la viabilidad en la utilización de cenizas productos de la incineración de residuos peligroso de la corriente Y48 en la elaboración de materiales de construcción, se estudió la lixiviación de cadmio y plomo, en morteros de cemento Portland adicionados con tres tipos de cenizas muestreadas durante el año 2010 (B, N y DM). Para ello se estudió la lixiviación de Pb y Cd mediante los ensayos correspondientes a un diseño factorial completo 2^3 con dos réplicas. Las variables explicativas estudiadas son: el pH a dos niveles (2-5), el porcentaje de ceniza utilizado para la preparación de los morteros (10 y 25%) y el tiempo de lixiviado (12 y 18 meses)

Se prepararon probetas de cenizas con cemento Portland de 1,00 cm de diámetro y de 6,00 cm de longitud por duplicado para cada muestra de ceniza mezclando los sólidos con el cemento y agregando agua hasta formar una pasta fluida para disponer en los moldes. Las mismas se retiran luego de 28 días de fraguado.

Las probetas preparadas se trituraron y se sometieron a un proceso de lixiviación de 12 y 18 meses en condiciones de acidez nítrica a pH 2 y 5. Las soluciones resultantes se separaron por filtración y se determinó la concentración de plomo y cadmio usando un Espectrómetro de Absorción Atómica GBC 904AA.

Las cenizas tratadas poseen diferentes cantidades de los metales estudiados. **B** 3gPb/Kg y 18gCd/Kg, **N** contiene 6gPb/Kg y 28gCd/Kg y **DM** 10g Pb/Kg y 1 gCd/Kg.

En la **Tabla 1** se presenta las variables utilizadas en el diseño de experimento y los valores de los niveles empleados

Tabla 1

Variable explicativa	Nivel	Valor
pH	-	2
	+	5
% ceniza	-	10
	+	25
Tiempo de lixiviado (meses)	-	12
	+	18

Los límites de máximos permitidos para caracterizar la toxicidad de acuerdo a las guías de la EPA (USA) son de 0,2 mg/l para plomo y de 0,05 mg/l para cadmio.

Resultados

Mediante el software XLSTAT se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de estudiar los resultados obtenidos en el diseño de experimento propuesto. Los resultados de contenido de plomo y cadmio en los lixiviados de los diferentes ensayos replicados se muestran a continuación:

Porcentaje	pH	Tiempo	[Cd] ppm			[Pb] ppm		
			B	N	DM	B	N	DM
10	2	12	0,009	0,018	0,003	0,058	1,057	1,148
10	2	12	0,008	0,018	0,003	0,058	0,394	0,816
10	5	12	0,005	0,008	0,005	0,022	0,020	0,346
10	5	12	0,004	0,006	0,009	0,024	0,019	0,346
10	2	18	0,013	0,013	0,021	1,123	1,390	1,430
10	2	18	0,019	0,014	0,016	1,123	1,057	1,843
10	5	18	0,011	0,011	0,003	0,015	0,002	0,538
10	5	18	0,016	0,016	0,005	0,014	0,003	0,538
25	2	12	0,015	0,027	0,013	1,662	1,498	1,903
25	2	12	0,013	0,018	0,006	1,635	1,498	1,299
25	5	12	0,013	0,011	0,006	0,065	0,474	0,538
25	5	12	0,011	0,012	0,005	0,022	0,021	0,538
25	2	18	0,028	0,028	0,018	1,692	1,873	1,294
25	2	18	0,022	0,039	0,013	1,480	1,259	1,294
25	5	18	0,018	0,014	0,013	1,057	0,096	0,422
25	5	18	0,004	0,031	0,011	0,346	0,088	0,543
ppm promedio lixiviados			0,018	0,013	0,009	0,650	0,672	0,927

Nota: en *bastardilla* los valores aleatorizados entre 0 y el L. D. para poder realizar el análisis de la varianza sin perder información.

Los modelos de regresión obtenidos para las diferentes muestras y para cada metal estudiado se muestran a continuación:

$$[Cd]_B = 0.002 - 2,74 \cdot 10^{-3} \cdot pH + 9,66 \cdot 10^{-4} \cdot tiempo + 6,21 \cdot 10^{-4} \cdot Porcentaje$$

$$[Cd]_N = -0.003 - 1,80 \cdot 10^{-3} \cdot pH + 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot tiempo + 3,39 \cdot 10^{-4} \cdot Porcentaje$$

$$[Cd]_{DM} = -0.004 - 1,53 \cdot 10^{-3} \cdot pH + 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot tiempo + 1,78 \cdot 10^{-4} \cdot Porcentaje$$

$$[Pb]_B = -0,133 - 0,30 \cdot pH + 6,89 \cdot 10^{-2} \cdot tiempo + 4,60 \cdot 10^{-2} \cdot Porcentaje$$

$$[Pb]_N = 1,36 - 0,39 \cdot pH + 1,65 \cdot 10^{-2} \cdot tiempo + 0,02 \cdot Porcentaje$$

$$[Pb]_{DM} = 1.56 - 0,30 \cdot pH + 2.01 \cdot 10^{-2} \cdot tiempo + 6.87 \cdot 10^{-3} \cdot Porcentaje$$

Nota: en *bastardilla* y **negrita** las variables significativas al 95% de confianza

Conclusiones

El modelo ANOVA para la lixiviación de cadmio presenta al tiempo y el pH como variables explicativas significativas para las tres muestras, con correlación positiva y negativa respectivamente. Estos resultados eran de esperar ya que a mayor acidez se puede extraer mayor cantidad de metal. No obstante la concentración de cadmio obtenido

para todos los ensayos resultaron menores que máximo permitido para los ensayos de lixiviación de 0,05 ppm.

Por otro lado la modelización del proceso de lixiviación de plomo presenta un buen ajuste con el pH como variable explicativa significativa. No obstante el procedimiento de inmovilización no reduce significativamente los valores por debajo del máximo permitido, de 0.2 mg/l, en el 64 % de los ensayos.

A la luz de los resultados obtenidos se considera altamente satisfactorio el tratamiento de inmovilización probado para cadmio no así para plomo.

Debido a los riesgos ambientales y a las implicaciones que se pueden desprender de la disposición en trincheras, la selección de esta alternativa por parte del disporitor debe tomarse como última opción y cuando se hayan agotado todas las demás estrategias alternativas.

Esto marca la importancia de la realización de análisis químicos de las cenizas antes de concretar su disposición final ya que puede requerir de acondicionamiento especial.

Referencias

- Hulya Genc--Fuhrman, Peter S. Mikkelsen, Anna Ledin. Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents. *Water Research* 41 (2007) 591 – 602.
- Matthew M. Matlock, Brock S. Howerton, David A. Atwood. Chemical precipitation of heavy metals from acid mine drainage. *Water Research* 36 (2002) 4757–4764.
- Trezza, Mónica A. Influencia del Fillers Calcáreo en la Solidificación /Estabilización de Metales Pesados. *Revista Matéria*, v. 11, n. 2, pp. 162 – 173,2006.