

## SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE EXTRUIDOS CERÁMICOS DE BENTONITA PARA LA REMOCIÓN DE Pb (II) EN SOLUCIÓN ACUOSA

**D. Barrera, J. Villarroel, D. Torres, K. Sapag**

Laboratorio de Sólidos Porosos, INFAP-CONICET, Universidad Nacional de San Luis, ARGENTINA

E-mail (autor de contacto): [deicybarrera@unsl.edu.ar](mailto:deicybarrera@unsl.edu.ar)

### RESUMEN

*Múltiples fuentes de contaminación industrial han hecho que el interés por estudiar el desarrollo de materiales de bajo costo para contrarrestar este problema crezca continuamente. Entre los contaminantes ambientales están los metales pesados tales como el Pb el cual es sumamente tóxico aún a concentraciones muy bajas y su exposición ocasiona una amenaza para la salud y los ecosistemas naturales. En procesos de adsorción, el uso de minerales arcillosos ha sido ampliamente estudiado para la remoción de metales pesados. Sin embargo, pese a las propiedades adsorbentes que presentan, estos materiales tienen desventajas operacionales inherentes al momento de ser utilizados en procesos industriales por el hecho de estar en forma de polvo. Por ello se hace necesario desarrollar materiales que contengan estos materiales arcillosos pero con formas físicas diferentes como los conformados, que presenten porosidad uniforme, alta resistencia mecánica, baja caída de presión y por ende alta resistencia al taponamiento en efluentes.*

*En este trabajo, se presenta la síntesis de tres materiales cerámicos para la remoción de Pb (II), obtenidos por extrusión, donde las materias primas utilizadas fueron bentonita natural, alúmina y almidón. Estos materiales fueron producto de estudios previos de formulación, temperatura de calcinación y pruebas de remoción de Pb (II). Los materiales obtenidos fueron caracterizados mediante difracción de rayos X, adsorción-desorción de N<sub>2</sub> a 77 K y porosimetría de mercurio. Posteriormente se estudió su aplicación en la remoción de Pb (II) mediante isotermas de adsorción en solución. Como resultado del trabajo se muestra la correlación existente entre las propiedades estructurales y texturales de los adsorbentes y la capacidad de remoción del metal en estudio.*

**Tópico:** Tópico 4: Materiales Cerámicos

**Palabras clave:** Extruidos cerámicos, Porosimetría de Hg, Adsorción-desorción de N<sub>2</sub>, Remoción de Pb (II).

### 1. INTRODUCCIÓN

Diferentes fuentes de contaminación tanto industriales como domésticas han hecho que el interés por el desarrollo de materiales de bajo costo para contrarrestar este problema se incremente continuamente. Entre los contaminantes que amenazan tanto los ecosistemas como la salud están los metales pesados, donde algunos de ellos aún a bajas concentraciones son sumamente tóxicos y la exposición a estos ocasiona una serie de enfermedades [1]. Entre los que metales pesados se encuentran presentes más comúnmente están el Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr y Hg [2]. De estos metales, el plomo es considerado como uno de los contaminantes prioritarios ya que comúnmente se encuentra en aguas residuales y es una gran amenaza potencial tanto para la atmósfera como para el suelo y el agua [3,4].

Métodos como la precipitación química, filtración por membranas, extracción con disolventes, intercambio iónico y adsorción son los más convencionales en la eliminación de iones de metales pesados a partir de soluciones acuosas y cada uno de ellos presenta ventajas y

desventajas/limitaciones en la aplicación [5-7]. Dentro de la adsorción, algunos adsorbentes naturales como las arcillas o las zeolitas han mostrado resultados más eficientes en la eliminación de iones de metales pesados a partir de soluciones acuosas [8] comparados con otros adsorbentes como los carbones activados, los cuales en el caso de los iones metálicos adsorben cantidades relativamente bajas y su adsorción no es selectiva con el tipo de metal [9]. Adicionalmente, la ventaja que representan estos adsorbentes naturales por su abundancia y bajo costo, los convierte en candidatos potenciales en la remoción de metales pesados. El uso de minerales arcillosos como adsorbentes se ha estudiado ampliamente en procesos de adsorción, tanto para la eliminación de especies orgánicas como de metales pesados [10-13]. Sin embargo, sus aplicaciones se ven fuertemente limitadas debido al comportamiento de estos materiales en suspensión, puesto que se dificulta su extracción del medio a tratar una vez han sido utilizados como adsorbentes.

Entre los minerales arcillosos, se encuentra la montmorillonita, un silicato laminar de la familia de las esmectitas, la cual es una de las más utilizadas, presentando además un mayor hinchamiento en agua con respecto a otras arcillas. La arcilla utilizada particularmente es la bentonita, una roca que se compone principalmente de montmorillonita, donde sus propiedades adsorbentes en suspensión están relacionadas con su gran superficie específica expuesta (cuando se abren las láminas), la presencia de cargas negativas superficiales y la alta capacidad de intercambio [14-16].

En general, se considera que los iones de metales pesados pueden interactuar con la arcilla, ya sea por intercambio iónico, fisisorción, complejación superficial, interacción hidrofóbica e interacción electrostática [17-22]. En el caso del plomo, se han realizado varios estudios sobre la adsorción utilizando bentonita como adsorbente [23,24], sin embargo, pese a las propiedades adsorbentes de la bentonita, ésta tiene desventajas operacionales al ser utilizadas en procesos industriales por estar en forma de polvo, por lo cual se hace necesario desarrollar materiales conformados tales como pellets, aglomerados, monolitos entre otros, que conserven las propiedades de la arcilla y a la vez contrarresten los problemas que ésta presenta en suspensión.

Los materiales cerámicos conformados se destacan por tener alta resistencia mecánica, baja caída de presión y por ende alta resistencia al taponamiento en efluentes y por presentar una porosidad bastante uniforme [25,26]. La fabricación de pellets, anillos Raschig y monolitos de materiales cerámicos se suelen llevar a cabo mediante el uso de las técnicas de extrusión [27], donde el resultado, después de un tratamiento térmico debe ser de un material con buena resistencia mecánica.

Con el fin de estudiar la síntesis de anillos raschig con diferentes proporciones de bentonita, alúmina y almidón, como aglutinante, ligante y generador de porosidad [28-29] se realizó un estudio previo [30] a partir de un diseño experimental, en el cual se sintetizaron anillos raschig con diferentes proporciones de bentonita, alúmina y almidón donde el dominio de este diseño fue: bentonita 30 - 60 %, alúmina 20 - 50 % y almidón 10 - 30 % para mezclas y temperaturas de calcinación entre 600 y 700 °C para el factor de proceso. Se encontró que el área superficial que presentaron estos materiales estuvo dada principalmente por el aporte de la arcilla natural; el almidón fue la materia prima principal en la generación de porosidad del material cerámico; en el caso de la alúmina, ésta no proporcionó ningún beneficio a esta propiedad textural por lo cual se concluyó que en el rango de temperaturas estudiadas y bajo las condiciones de síntesis, afectaba de forma negativa las propiedades finales de los materiales y por ende la capacidad de remoción de Pb(II). Estos materiales presentaron la mayor capacidad de remoción de Pb (II) cuando fueron calcinados a una temperatura de 600 °C.

A partir de estos resultados se sintetizaron tres nuevos materiales, arcilla + alúmina + almidón, arcilla + almidón y arcilla a una temperatura de calcinación de 600 °C, los cuales se caracterizaron estructuralmente por difracción de rayos X y texturalmente por adsorción-desorción de N<sub>2</sub> a 77 K y porosimetría de Hg. La evaluación de estos materiales se llevó a cabo mediante isotermas de adsorción en solución de Pb (II).

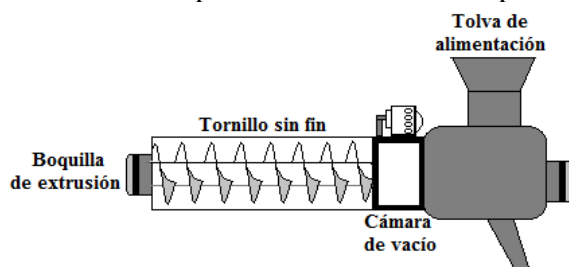
## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Síntesis de los materiales cerámicos

*Pasta cerámica:* Se utilizaron tres materias primas para la obtención de la pasta cerámica: arcilla natural (bentonita) procedente de la zona de Cuyo, Argentina, alúmina y almidón de maíz. Los polvos en seco de las tres materias primas se pasaron por un tamiz malla 100 (150  $\mu\text{m}$ ) y posteriormente se mezclaron en un tambor horizontal a 80 rpm durante 1 h para asegurar la homogeneidad de la mezcla precursora. La cantidad de agua adicionada para obtener un punto adecuado de plasticidad estuvo entre 30 y 35 % p/p.

*Extrusión:* La pasta con las propiedades de humedad y reológicas necesarias, se alimenta a una extrusora como la que se muestra en la Fig.1 mediante una tolva de alimentación. Con el fin de desairear la pasta y homogeneizarla, ésta se hace pasar dos veces por la extrusora sin utilizar la boquilla; posteriormente se instala la boquilla y se obtienen anillos raschig de 20 cm de largo, 1 cm de diámetro y 1 mm de espesor, cortándolos a un tamaño final de 1 cm.

*Secado y tratamiento térmico:* Una vez extruídos, los materiales se secan en moldes tubulares de yeso durante 24 h a temperatura ambiente para evitar su deformación. Posteriormente son llevados a un horno en el cual se realiza el tratamiento térmico desde temperatura ambiente hasta 600 °C con una rampa de calentamiento de 1 °C/min permaneciendo a esta temperatura durante una hora.



**Figura 1.** Extrusora utilizada para el conformado de anillos raschig

A partir de los datos texturales y de remoción de Pb(II) estudiados anteriormente [30], se sintetizaron tres materiales: uno con las mismas proporciones del mejor adsorbente encontrado en dicho estudio; un segundo material eliminando la alúmina de su composición por las conclusiones obtenidas sobre el efecto negativo de esta materia prima y un tercer material compuesto solamente de arcilla tomando en consideración que fue la mezcla con la mayor cantidad de arcilla la que presentó las mejores propiedades texturales y de remoción de Pb(II). La composición de estos tres materiales se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición de las muestras  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$

MUESTRA	% Arcilla	% Alúmina	% Almidón
$M_1$	60	20	20
$M_2$	70	--	30
$M_3$	100	--	--

### 2.2. Caracterización

Las propiedades estructurales se evaluaron mediante difracción de rayos X (Rigaku con radiación  $\text{CuK}\alpha$ , en un rango de  $2\theta$  de 2 a 70°, a un paso de 0,05 y 1°/min). Las propiedades texturales se midieron por adsorción-desorción de  $\text{N}_2$  a 77 K (Quantachrome, AUTOSORB-1MP) y porosimetría de Hg (Micromeritics, AUTOPORE III 9410). Las muestras analizadas por adsorción-desorción de  $\text{N}_2$  se desgasaron previamente a una temperatura de 250 °C durante 12 h; se estimó el área superficial específica ( $S_{\text{BET}}$ ) mediante el método de Brunauer, Emmet y Teller, BET. Los

materiales caracterizados por porosimetría de Hg se desgasaron hasta una presión residual de 50  $\mu\text{m}$  de Hg; se obtuvo información sobre el área superficial vista por el Hg ( $S_{\text{Hg}}$ ), porosidad y distribución de tamaño de los poros interconectados.

## 2.2. Isotermas de adsorción en solución de Pb(II)

Las isotermas de adsorción de Pb(II) en solución acuosa se obtuvieron para una masa definida de adsorbente ( $\approx 0,5$  g), a temperatura ambiente ( $22 \pm 1$  °C) y pH inicial igual a 3. Cada punto de la isoterma se tomó en condiciones tales que, la masa conocida del adsorbente cerámico se pone en contacto con un volumen de solución (100 ml) de concentración conocida de Pb(II) (5 - 600 ppm, preparadas a partir de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), la cual después de 24 h de agitación (110 rpm) y asegurando llegar al equilibrio, se filtra y se determinan las concentraciones en equilibrio residuales de Pb(II). Estas determinaciones se llevaron a cabo en un equipo de Absorción Atómica (Varian, SpectrAA 50). Las isotermas en solución se ajustaron a los modelos de Freundlich y Langmuir.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig.2 muestra la difracción de rayos X de los tres materiales sintetizados y la identificación mineralógica de cada uno de ellos. En la muestra  $M_2$  se observa la fase correspondiente a la *montmorillonita calentada* (M) la cual típicamente aparece a un espaciado basal alrededor de 9,8 Å e indica que la montmorillonita ha sido completamente deshidratada [31]. También se observa la leve formación de la fase *alúmina* indicando que parte de la estructura de la montmorillonita deshidratada colapsó formando fases de sílice y alúmina. En la muestra  $M_3$  además de observarse la fase correspondiente a la montmorillonita deshidratada también se puede apreciar la presencia de una montmorillonita parcialmente deshidratada (m), por presentar un pico superior a los 9,8 Å (11,45 Å), pudiendo estar hidratada con menos de una capa de agua [31]. En esta muestra y con mayor intensidad que en la  $M_2$ , se observa un incremento considerable de las fases de *cuarzo* y *alúmina*, indicando que una mayor cantidad de montmorillonita deshidratada colapsó.

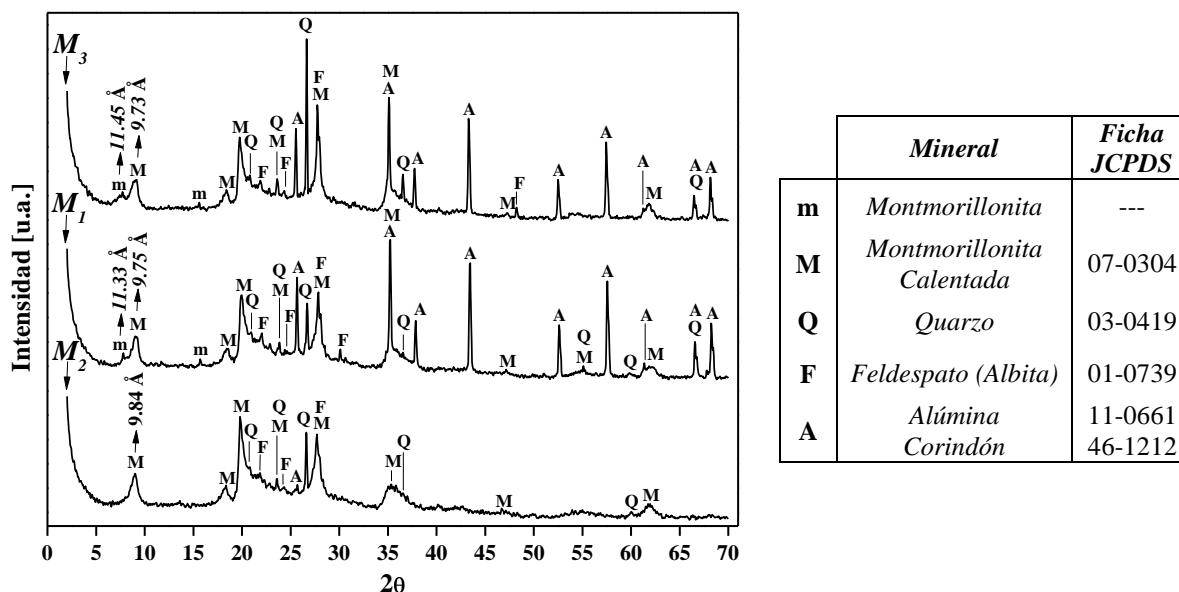
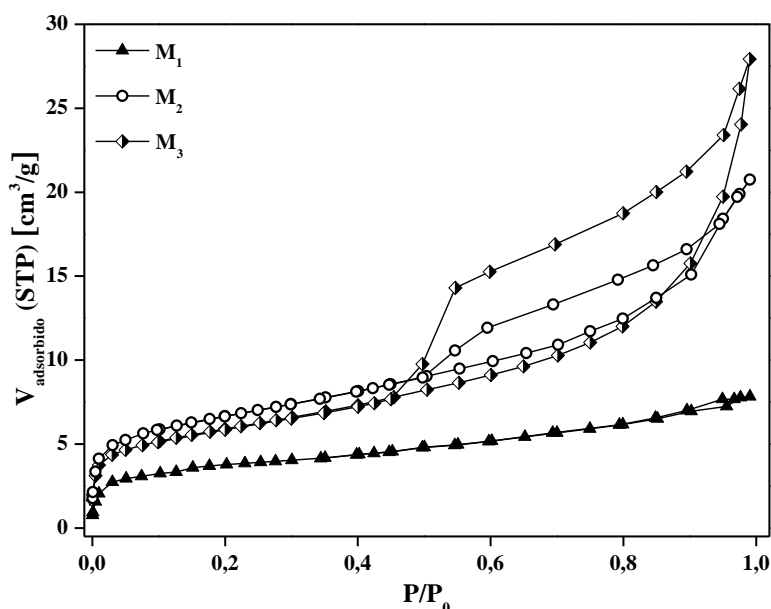


Figura 2. Difracción de rayos X de las muestras  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$

Por otro lado, en la muestra  $M_1$  se observan también fases de montmorillonita deshidratada y parcialmente deshidratada. Así mismo, se aprecia la fase de *alúmina* como *corindón* debido al contenido de alúmina utilizado en la síntesis de esta muestra. Mediante la identificación de las

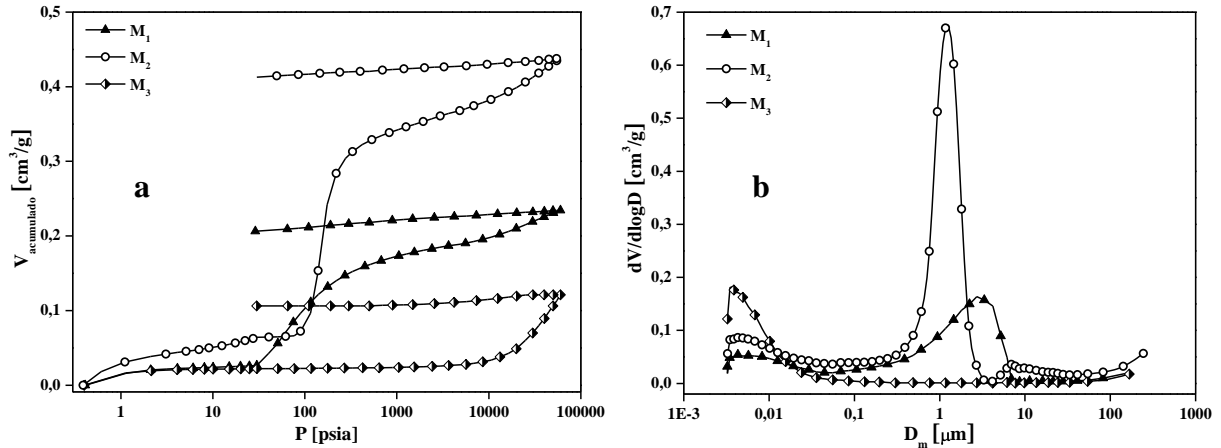
diferentes fases de montmorillonita y las intensidades de los picos correspondientes a las fases de *cuarzo* y *alúmina*, se puede inferir que el grado de “colapsamiento” de la estructura de la montmorillonita presente en las muestras, en orden decreciente es:  $M_3 > M_2 > M_1$ . Que la muestra  $M_1$  presente el menor grado de “colapsamiento” quizás esté relacionado con la mejora de la estabilidad térmica de la mezcla por la incorporación de alúmina.

En la Fig.3 se muestran las isotermas de adsorción-desorción de  $N_2$  a 77 K de los tres materiales sintetizados, donde la muestra  $M_1$  presenta una menor cantidad adsorbida en comparación a las muestras  $M_2$  y  $M_3$ . Las isotermas de las muestras  $M_2$  y  $M_3$  se pueden clasificar como isotermas tipo II irreversibles y la  $M_1$  como tipo II reversible de acuerdo a la clasificación de la IUPAC [32]; este tipo de isotermas son propias de materiales con presencia de superficie externa abierta como en las arcillas. Esto evidencia que la muestra  $M_1$  tiene una estructura mesoporosa distinta a las presentadas en las muestras  $M_2$  y  $M_3$ . Dado que esta técnica de caracterización no permite obtener información cuantitativa de los macroporos, y el crecimiento rápido de la cantidad adsorbida a presiones relativas altas de las muestras  $M_2$  y  $M_3$ , da indicios de la presencia de poros de mayor tamaño, se obtuvo por porosimetría de Hg las curvas de intrusión y extrusión de Hg y la distribución de tamaño de poros que se muestran en la Fig.4.



**Figura 3.** Isotermas de adsorción – desorción de  $N_2$  a 77 K

En la Fig.4a se observa una diferencia en los volúmenes de intrusión de Hg, siendo en orden creciente  $M_3 < M_1 < M_2$ . Este incremento de volumen de intrusión de Hg está directamente relacionado con el porcentaje de almidón utilizado en la síntesis del material. La Fig.4b muestra tres distribuciones de tamaño de poros definidas; la muestra  $M_3$ , a diferencia de las otras dos no presenta porosidad en el rango de los macroporos, debido a que en la síntesis de esta muestra no se utilizó almidón, por lo tanto, se puede inferir que el almidón genera porosidad en este rango de tamaño de poros de 0,5 - 6  $\mu m$  y que a medida que el contenido de éste es mayor en la composición inicial del material, la porosidad se ve favorecida. La contribución de tamaño de poros menores a 0,01  $\mu m$  está relacionada con el contenido de bentonita presente en las muestras, así, la mayor contribución observada corresponde a la muestra  $M_3$  con un 100 % de arcilla.



**Figura 4.** Curva de intrusión y extrusión de Hg (a) y distribución de tamaño de poros (b)

En la Tabla 2 se resumen las propiedades texturales discutidas anteriormente por las técnicas de adsorción – desorción de  $N_2$  a 77 K y la porosimetría de Hg. Se observa que el área superficial exhibida por la muestras  $M_2$  y  $M_3$  son mayores en comparación a la de la muestra  $M_1$ , sin embargo la porosidad de esta última presenta un valor intermedio con respecto a las otras dos.

**Tabla 2.** Propiedades texturales de las muestras  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$

MUESTRA	<i>Ads-Des de <math>N_2</math> a 77 K</i>		<i>Porosimetría de Hg</i>			
	$S_{BET}$ [m <sup>2</sup> /g]	$V_{TP}$ [cm <sup>3</sup> /g]	Volumen total de intrusión [cm <sup>3</sup> /g]	Porosidad [%]	Diámetro de poro medio (V) [μm]	$S_{Hg}$ [m <sup>2</sup> /g]
$M_1$	14	0,012	0,234	31	1,41	26
$M_2$	24	0,032	0,438	50	1,10	42
$M_3$	21	0,042	0,121	23	0,0072	67

Las isothermas de adsorción en solución de Pb(II) de los tres materiales se muestran en la Fig.5. Se observa que la mayor capacidad de remoción de Pb(II) está dada por la muestra  $M_1$ , seguido por la  $M_2$  y por último por la  $M_3$ . Este comportamiento puede estar relacionado con el grado de “colapsamiento” de la estructura de la montmorillonita y con el contenido de montmorillonita parcialmente deshidratada, ya que es este último el que favorece principalmente la capacidad de remoción de Pb(II), debido posiblemente a que es esta montmorillonita en mención la que más se aproxima a la presente en la bentonita natural. Por lo anteriormente expuesto es posible pensar que por esta razón la muestra  $M_1$  presenta mejor capacidad de remoción, pese a tener menos área superficial que las otras dos muestras en estudio, sin embargo, cabe mencionar que este material presenta una porosidad aceptable.

Las isothermas se ajustaron a los modelos de Freundlich y Langmuir encontrando que las muestras  $M_1$  y  $M_2$  presentan un mejor ajuste al modelo de Freundlich, mientras que la  $M_3$  se ajusta mejor al modelo de Langmuir, donde los parámetros de dichos modelos se presentan en la Tabla 3.

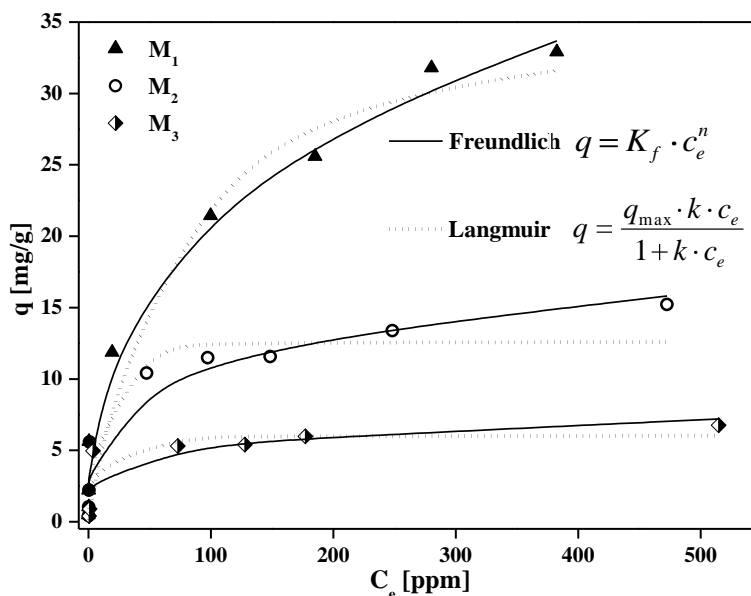


Figura 5. Isotermas de adsorción en solución de Pb (II)

Tabla 3. Parámetros de ajuste de las isotermas en solución de Pb (II)

MUESTRA	Freundlich			Langmuir		
	$K_f$ [ $\text{mg}^{(1-n)} \cdot \text{L}^n/\text{g}$ ]	n	$R^2$	$Q_{\max}$ [mg/g]	k [L/mg]	$R^2$
M <sub>1</sub>	4,45	0,340	0,990	36,03	0,019	0,976
M <sub>2</sub>	3,56	0,242	0,944	12,63	0,63	0,935
M <sub>3</sub>	2,13	0,195	0,776	6,06	0,45	0,912

#### 4. CONCLUSIONES

Se obtuvieron extruídos cerámicos para la remoción de Pb(II) a partir de una bentonita natural, alúmina y almidón.

Se encontró que para estos materiales el almidón genera porosidad en el rango de 0,05 – 6  $\mu\text{m}$ .

La capacidad de remoción de Pb(II) está fuertemetente relacionada con las propiedades estructurales del material.

El material que presentó la mejor capacidad de remoción de Pb(II) fue el M<sub>1</sub> compuesto por una mezcla de arcilla, almidón y alúmina.

Los resultados obtenidos muestran que la alúmina incorporada puede dar mayor estabilidad térmica al material. Por lo tanto, la consideración de su efecto negativo en la mezcla es válido únicamente en el dominio en el que fue estudiado [30]. Es por esto, que se propone hacer un estudio del efecto de la alúmina con contenidos menores al 20 % en la mezcla.

#### REFERENCIAS

1. Paul N. Cheremisinoff, "Handbook of water and wastewater treatment technology"; 1995, New York M. Dekker, Inc.

2. K.G. Tiller, "Heavy metals in soils and their environmental significance"; *Advances in Soil Sciences*, Vol. 9 (1989), p. 113–142.
3. C.S. Brooks, "Metal recovery from industrial waste"; 1991, Ed. Lewis Publishers.
4. S.L. Tackett, *J. Chem. Educ.* Vol. 64 (1987), p. 14-19.
5. Evanko, C.R., and D.A. Dzombak. Remediation of metals-contaminated soil and groundwater. GWR TAC. Available at [ww.gwrtac.org](http://ww.gwrtac.org) (accessed 1 April 2005; verified 17 October 2005).
6. C.D. Huang and D.W. Blankenship, "The removal of mercury (II) from dilute aqueous solution by activated carbon"; *Water Research*, Vol. 18 (1984), p. 37–46.
7. L.M. Naylor and R.R. Dague, "Simulation of lead removal by chemical treatment"; *Journal of the American Water Works Association*, Vol. 67 (1975), p. 560–564.
8. S.E. Bailey, T.J. Olin, R.M. Bricka and D.D. Adrian, "A review of potentially low- cost sorbents for heavy metals"; *Water Research*, Vol. 33 (1999), p. 2469-2479.
9. L. Mercier and C. Detellier, "Preparation, characterization and applications as heavy metals sorbents of covalently grafted thiol functionalities on the interlamellar surface of montmorillonite"; *Environmental Science & Technology*, Vol. 29 (1995), p. 1318-1323.
10. C.A. Sikalidis, C. Alexiades and P.T. Misaelides, "Adsorption of uranium and thorium from aqueous solutions by the clay minerals montmorillonite and vermiculite"; *Environment & Chem*, Vol. 20/21 (1989), p. 175-180.
11. M.J. Zamzow, B.R. Eichbaum, K.R. Sandgren and D.E. Shanks, "Removal of heavy metals and other cations from waste water using Zeolites"; *Separation Science and Technology*, Vol. 25 (1990), p. 1555-1569.
12. P. Keizer and M.G. Bruggenwert, "Adsorption of heavy metals by clay-aluminium hydroxide complexes, interactions at the soil colloid – soil solution interface"; *Applied Sciences*, Vol. 190 (1991), p. 177-20.
13. L. Daza, S. Mendioroz and J.A. Pajares, "Mercury adsorption by sulfurized fibrous silicates"; *Clays and Clay Minerals*, Vol. 39 (1991), p. 14-21.
14. N. Guven, "Smectites. In hydrous phyllosilicates (exclusive of micas)"; *Reviews in Mineralogy*, N<sup>o</sup> 19 (1988), p. 497-559.
15. H.B. Bradl, "Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents"; *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 277 (2004), p. 1-8.
16. H. Van Olphen, "An introduction to clay colloid chemistry"; 1977, John Wiley and Sons.
17. G. Villemure, C. Detellier and A.G. Szabo, "Fluorescence of clay-intercalated methylviologen"; *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 108 (1986), p. 4658-4659.
18. H. Lao, S. Latieule and C. Detellier, "Molecular recognition in microporous organo-minerals. Shape-specific interaction of carbon dioxide in functionalized organo-montmorillonite microcavities"; *Chemistry of Materials*, Vol. 3 (1991), p. 1009-1011.
19. H. Lao and C. Detellier, "Gas chromatographic separation of linear hydrocarbons on microporous organo-smectites"; *Clays and Clay Minerals*, Vol. 42 (1994), p. 477-481.
20. J.M. Cases, I. Berend and G. Besson, M. Francois, J.P. Uriot, F. Thomas and J.E. Poirier, "Mechanism of adsorption and desorption of water vapor by homoionic montmorillonite. 1. The sodium – exchanged form"; *Langmuir*, Vol. 8 (1992), p. 2730-2739.
21. G.L. Keldsen, L.B. Nicholas, K.A. Carrado, R.E. Winans, "Molecular modeling of the enthalpies of adsorption of hydrocarbons on smectite clay"; *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 98 (1994), p. 279-284.
22. J. Jung, Y.H. Cho, P. Hahn, "Comparative study of Cu(II) adsorption on goethite, hematite and kaolinite: mechanistic modeling approach"; *Bulletin of the Korean Chemical Society*, Vol. 19 (1998), p. 324-327.
23. F. Barbier, G. Duc and M. Petit-Ramel, "Adsorption of lead and cadmium ions from aqueous solution to the montmorillonite/water interface"; *Colloids and Surfaces A*, Vol. 166 (2000), p. 153-159.

24. R. Naseem and S.S. Tahir, "Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as an adsorbent"; *Water Research*, Vol. 35 (2001), p. 3982-3986.
25. P. Avila, M. Montes and E. Miró, "Monolithic reactors for environmental applications"; *Chemical Engineering Journal*, Vol. 109 (2005), p. 11-36.
26. S. Harti, G. Cifredo, J.M. Gatica, H. Vidal and T. Chafik, "T. Physicochemical characterization and adsorptive properties of some Moroccan clay minerals extruded as lab-scale monoliths"; *Applied Clay Science*, Vol. 36 (2007), p. 287-296.
27. F. Mohino, A.B. Martin, P. Salerno, A. Bahamonde and S. Mendioroz, "High surface area monoliths based on pillared clay materials as carriers for catalytic processes"; *Applied Clay Science*, Vol. 29 (2005), p. 125-136.
28. S. Suárez, M. Yates, P. Avila and J. Blanco, "New TiO<sub>2</sub> monolithic supports based on the improvement of the porosity"; *Catalysis Today*, Vol. 105 (2005), p. 499-506.
29. F. Händle, "Extrusion in ceramics. Engineering materials and processes"; 2007, Springer-Verlag.
30. D. Barrera, J. Villarroel y K. Sapag, "Estudio de las variables de síntesis de extruídos cerámicos en la adsorción de Pb(II)", 8° Encontro Brasileiro de Adsorção, 2010.
31. W-L. Huang, W. Bassett and T. W., "Dehydration and hydration of montmorillonite at elevated temperatures and pressures monitored using synchrotron radiation", *American Mineralogist*, Vol. 79 (1994), p. 683-691.
32. IUPAC, "Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units. Appendix II: Definitions, Terminology and Symbols in Colloid and Surface Chemistry"; *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 46 (1976), p. 71-90.