



## Bioadsorción de Pb (II) utilizando bagazo de coco y olote de maíz del municipio de Zacualpan de Amilpas, Morelos

García Albortante Julisa, Barceló Quintal Icela Dagmar, Solís Correa Hugo Eduardo,  
Salazar Peláez Mónica Liliana

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México.  
C.P. 02200. México.

\*Autor para correspondencia: julygaal@yahoo.com.mx

### Recibido:

05/junio/2016

### Aceptado:

25/julio/2016

### Palabras clave

Adsorción, pH, Langmuir

### Keywords

pH, Langmuir, Adsorption

### RESUMEN

La contaminación de las aguas residuales industriales con metales pesados es uno de los problemas ambientales más graves que se presenta hoy en día. El tratamiento de estos efluentes mediante adsorbentes residuales ha sido estudiado durante los últimos años como una alternativa económica y eficiente, con posibilidades para su aplicación industrial. En el presente trabajo se determinó el efecto del pH y la variación en la capacidad máxima de remoción cuando se emplean soluciones diluidas y concentradas de Pb (II) utilizando bagazo de coco (BC) y olote de maíz (OM) mediante el modelo de Langmuir. Se encontró que los dos adsorbentes sin modificación química presentaron mayor porcentaje de remoción cuando se ponen en contacto con concentraciones bajas de este metal: 29 mg/ g para el bagazo coco (BC) y 32 mg/g para el olote de maíz (OM) a un pH constante de 5.

### ABSTRACT

Pollution of industrial wastewater with heavy metals is one of the most serious environmental problems presented today. The treatment of these effluents by residual adsorbents has been studied in recent years as an economic and efficient alternative, with possibilities for industrial application. In this paper the effect of pH and variation in the maximum removal capacity is determined when diluted solutions are used and concentrated Pb (II) using bagasse, coconut (BC) and corn cobs (OM) by the Langmuir. It was found that the two adsorbents without chemical modification had a higher percentage of removal when placed in contact with low concentrations of this metal: 29 mg/g for bagasse coconut (BC) and 32 mg / g for corn cobs (OM) to a constant pH of 5.

## Introducción

El agua en México y en el mundo es uno de los recursos naturales más contaminados. En los últimos años se ha registrado un aumento progresivo de la presencia de metales pesados en aguas residuales como consecuencia de su uso extensivo en diversos procesos químicos (CONAGUA, 2013, SEDESOL, 2010). Entre estos metales se encuentra el plomo, que no puede ser degradado química ni biológicamente, lo que genera efectos de biomagnificación ocasionando daños a la flora, fauna y a la salud humana; la organización mundial de la salud (OMS, 2016) estima que la exposición a este metal causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual debido a la acumulación de plomo mediante la inhalación y absorción en pulmones y en el tracto gastrointestinal (Valdivia, 2005). Teniendo en cuenta los efectos que provoca el plomo, se han estudiado diversos métodos para el tratamiento de los efluentes líquidos que contienen a este metal. Entre los procesos utilizados se encuentran métodos físico-químicos como la precipitación mediante hidróxidos o sulfuros, intercambio iónico sobre resinas, coagulación-floculación, adsorción sobre carbón activado. Sin embargo, la aplicación de estos procesos muchas veces resulta impracticables ya sea por razones económicas o por su baja eficiencia cuando las concentraciones de metal no son tan altas (Kotrba et al., 2011). Por lo tanto, surgen tecnologías como la bioadsorción, que dentro de sus ventajas más importantes es el uso de materiales sólidos que comúnmente se desechan, estos sólidos pueden ser modificados estructuralmente o simplemente utilizarse con una limpieza previa donde el uso de compuestos químicos es mínimo, lo que conlleva a no generar lodos con composiciones tóxica inorgánica u orgánica.

Misihairabgwi et al., (2014) reportó que los carbonos activados a partir de cáscaras de nuez de macadamia removieron el 90% de Pb (II) con 5 mg de adsorbente; García et al., (2015) (b) reportó el uso de Lirio acuático sin modificación en su estructura para la remoción de Pb (II) obteniendo el 70% de remoción con 0.5 mg de sólido. Considerando lo anterior es importante continuar investigando las variables que influyen en el proceso de adsorción cuando se utilizan materiales adsorbentes simples, por lo que este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia del pH en dos materiales sólidos (bagazo de coco y olote de maíz) sin modificación química para evaluar la capacidad máxima de adsorción de Pb (II) en contacto Batch, con temperatura constante y diferentes concentraciones de metal en solución acuosa empleando el modelo teórico de Langmuir.

## Metodología

### Preparación y caracterización del bagazo de coco y olote de maíz

Los sólidos utilizados en este estudio se recolectaron en el balneario las termas en Atotonilco y en Zacualpan de Amilpas, Morelos. Se trituraron con un molino de 72 martillos marca azteca, modelo 301085, número 20 y se tamizaron con un sistema de mallas tipo Tyler. Se realizó la determinación del Área superficial (BET) en un equipo marca BEL, modelo BELSORP, se obtuvieron los espectros IR empleando un espectrofotómetro infrarrojo, marca Thermo Scientific, modelo Nicolet iS10 y se determinó la concentración de plomo en cada adsorbente mediante un espectrofotómetro de Absorción atómica marca Thermo Elemental modelo SOLAAR M6.

### Soluciones con diferentes pH

Las soluciones de plomo se prepararon disolviendo nitrato de plomo  $Pb(NO_3)_2$  de 99% de pureza en diferentes concentraciones: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 90, 100, 150, 200, 250, 300 y 400 (mg/L), se ajustaron a seis valores de pH utilizando soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl), lo anterior se realizó para determinar el pH adecuado de trabajo y así elaborar las isotermas experimentales de adsorción utilizando el bagazo de coco y el olote de maíz respectivamente.

### Ensayos batch

Las adsorciones se realizaron utilizando el contacto por lotes a temperatura ambiente (21-23 °C) con agitación constante en un orbital tipo shaker (100 rpm). Posteriormente se filtraron y se determinaron las concentraciones de plomo iniciales y las que no fueron adsorbidas por los adsorbentes mediante un espectrofotómetro de Absorción atómica marca Thermo elemental modelo SOLAAR M6.

### Tratamiento de los datos experimentales

Se elaboraron las isotermas experimentales de adsorción con concentraciones bajas y altas de metal para el bagazo de coco y el olote de maíz. Se empleó el modelo de Langmuir para determinar la  $q_{max}$  en cada adsorbente y determinar si es factible el uso de estos adsorbentes para la remoción de Pb (II) con concentraciones bajas y concentraciones altas en solución acuosa a un pH constante.

## Resultados y discusión

### Caracterización del bagazo de coco y olote de maíz

Considerando los trabajos de García, 2015 (a), donde se determinó que el tamaño de partícula es determinante para la remoción de metales, se empleó un juego de tamices Tyler, donde se recolectó el pasado por la malla No 325 ( $>0.0044$  mm) para ambos adsorbentes.

### Áreas superficiales

La tabla 1 resume las áreas superficiales del bagazo de coco y del olote de maíz, donde se determinó que el olote de maíz presentó mayor área superficial, debido a que la adsorción es un fenómeno superficial en donde el grado de la misma es proporcional al área superficial, se puede atribuir que este adsorbente podrá remover mayor cantidad de plomo en solución acuosa.

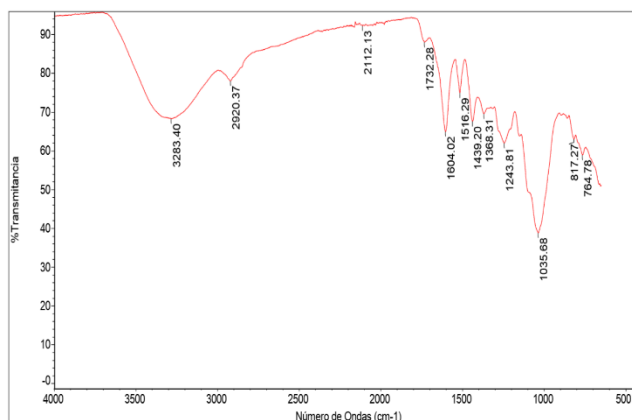
**Tabla 1.** Áreas superficiales y tamaño de poro del bagazo de coco y el olote de maíz (García, 2015).

Material adsorbente	Área superficial $m^2/g$	Dporo (nm)
Bagazo de coco	$1.7 \pm 0.0284$	32.15
Olote de maíz	$2.8 \pm 0.04$	32.09

### Espectros IR

La espectroscopia infrarroja del bagazo de coco y del olote de maíz, se realizaron antes y después de la adsorción de plomo, donde se observó que las bandas características de ambos sólidos no sufrieron cambio alguno.

Para el caso del bagazo de coco se determinaron varias bandas (Figura 1) las cuales se atribuyeron a enlaces de grupos funcionales que pertenecen principalmente a la estructura de la celulosa, hemicelulosa y lignina (tabla 2) (Montañez et al., 2009, Córdoba et al., 2013), que forman parte de la composición química de este sólido vegetal procedente de los desechos del municipio de Zacualpan de Amilpas, Morelos.

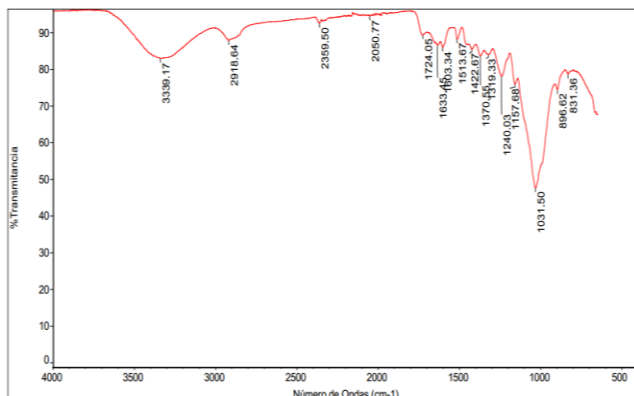


**Figura 1.** Espectro IR del Bagazo de coco (BC) de Zacualpan de Amilpas, Morelos (Barranco, 2015).

**Tabla 2.** Grupos funcionales del bagazo de coco (Barranco, 2015).

Compuesto	Enlace	Intervalo de onda $cm^{-1}$
Celulosa	O-H	3600-3200
	C-H <sub>3</sub>	1450-1375
	CH <sub>2</sub>	1300-1565
	CH	830-900
Hemicelulosa	C-O	1000-1370
	CH	3000-2850
	C=C	1680-1600
Lignina	C=O	1540-2420
	C-O	1000-1370
	C=O	1540-2420
	C=C	1680-1750

Comparando el espectro infrarrojo del olote de maíz (figura 2) y el bagazo de coco (Figura 1) se observaron bandas similares que corresponden a enlaces que forman parte de los grupos funcionales mencionados en la tabla 2, los cuales pertenecen a azúcares que están asociadas con las señales de la celulosa, lignina y hemicelulosa que forman parte de las estructuras químicas de los adsorbentes utilizados en este trabajo y que se relacionan con la adsorción entre los grupos funcionales y el Pb (II) actuando como intercambiadores iónicos en la remoción de los metales.



**Figura 2.** Espectro IR del Olote de maíz (OM) de Zacualpan de Amilpas, Morelos (Barranco, 2015).

### Concentración metálica

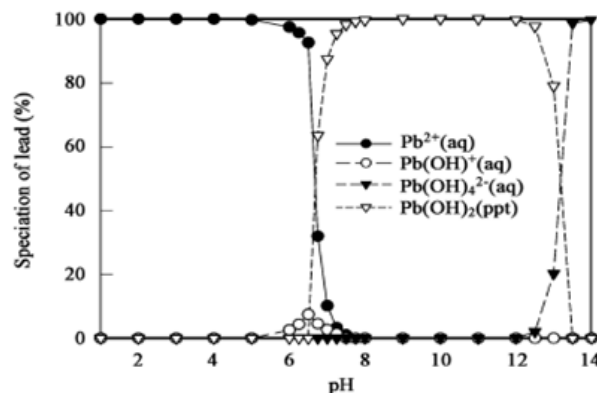
La concentración de plomo presente en el bagazo de coco y olote de maíz que fueron utilizados como adsorbentes, se reportan en la tabla 3, en el caso del olote se observó que la concentración de Pb se encuentra por debajo del límite de detección en flama, sin embargo, para el bagazo de coco la concentración determinada de plomo fue de 0.194 (mg/Kg). Los parámetros utilizados por el equipo de AA para la determinación de plomo utilizando la técnica de flama fueron: LD= 0.07 (mg/L),  $\lambda$ = 217 nm, Slit = 0.5 nm.

**Tabla 3.** Concentraciones de Pb en los sólidos adsorbentes.

Sólido Adsorbente	Concentración (mg/Kg)
Bagazo de coco	0.194 ± 0.002
Olote de Maíz	< LD

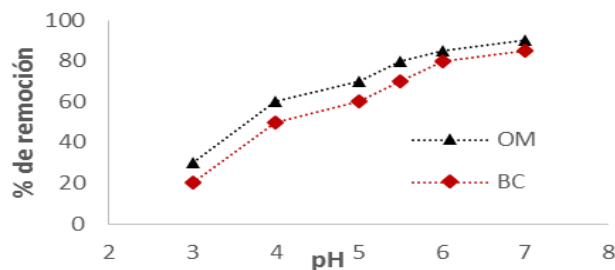
### Ensayos batch a diferentes pH

El pH de trabajo es una de las variables importante en los procesos de adsorción, es importante destacar que el pH óptimo es diferente para cada sistema estudiado, ya que la remoción de metales está relacionada con los grupos funcionales presentes en la pared celular del adsorbente y con la química del metal en solución (Kotrba et al., 2011). En la figura (3) se muestran las especies del plomo que predominan en función del pH (Giraldo y Moreno-Pirajan, 2008) donde se observó que el plomo en su forma iónica precipita a pH mayores a 5.5, por otro lado, el plomo como  $Pb(OH)_2$  permanece soluble entre un pH de 8 y 12, mientras que el plomo en la especie  $Pb(OH)_4^{2-}$  solo esta soluble a pH básico 14.



**Figura 3.** Especies de plomo en función del pH (Giraldo y Moreno-Pirajan, 2008).

Derivado de lo anterior en la figura 4 se resumen los valores de remoción de plomo para los dos adsorbentes con cinco valores de pH en condiciones naturales sin modificación previa por tratamiento químico. Estos resultados denotan que en un pH= 3, la remoción del metal es menor tanto para el bagazo de coco como el olote de maíz (20-30%), este comportamiento se puede atribuir a la competencia de los iones  $H^+$  los cuales compiten con los cationes por los sitios activos disponibles de las superficies sólidas de los adsorbentes, cuando el pH se incrementa hasta 6 el porcentaje de remoción asciende a 80 y 70% respectivamente y finalmente en un pH neutro no se observó una variación significativa de remoción, por lo que se escogió un pH óptimo de trabajo igual a 5, para asegurar que el plomo no se precipite originando alteraciones en los porcentajes de remoción.



**Figura 4.** Efecto del pH en la remoción de Pb (II) con bagazo de coco (BC) y olote de maíz (OM).

### Isotermas de adsorción experimentales para el bagazo de coco

Las isotermas de adsorción graficadas se realizaron considerando intervalos de concentraciones bajas (<60 mg/L) (Figura 5) y concentraciones altas (> 60 mg/L) de plomo en solución (Figura 6), los resultados se ajustaron a un modelo teórico denominado Langmuir

para describir los datos experimentales obtenidos en el equilibrio en las superficies de los adsorbentes. La ecuación de Langmuir en forma lineal se representa en la ecuación (1):

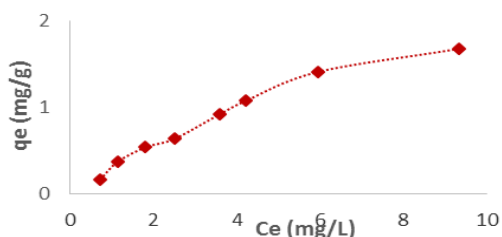
$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{Kq_m C_{e,q}} \quad (1)$$

Donde:  $q_e$  es la concentración del soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente (mg/g);  $C_{e,q}$ , concentración del soluto en equilibrio (mg/L);  $K$ , constante de Langmuir (L/g) y  $q_m$  es la capacidad máxima de retención del adsorbente (mg/g).

Considerando el modelo anterior se obtuvo que a concentraciones bajas de plomo disuelto la  $q_m$  de remoción fue mayor (29 mg/g) (Tabla 4) que cuando se emplean concentraciones altas de metal (13 mg/g).

**Tabla 4.** Parámetros de Langmuir en el bagazo de coco.

Bagazo coco	R <sup>2</sup>	q <sub>m</sub> (mg/g)
Concentraciones bajas	0.959	29
Concentraciones altas	0.916	13



**Figura 5.** Isotherma de adsorción de Pb (II) sobre bagazo de coco, pH= 5.5 y concentraciones bajas.



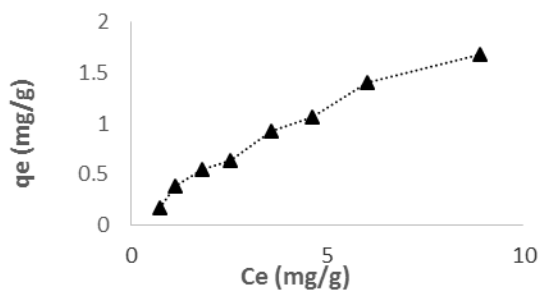
**Figura 6.** Isotherma de adsorción de Pb (II) sobre bagazo de coco, pH=5.5 y concentraciones altas.

### Isotermas de adsorción experimentales para el olote de maíz

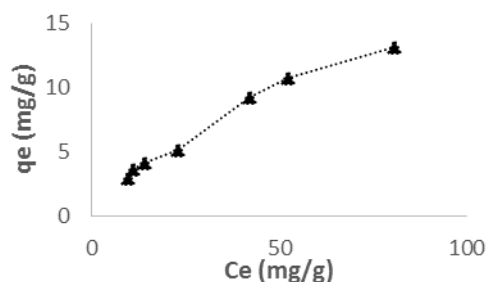
Las figuras 7 y 8 muestran las isotermas experimentales obtenidas para el olote de maíz y en la tabla 5 los parámetros de adsorción de Langmuir, donde se observó el mismo comportamiento para las diferentes concentraciones de metal. La  $q_m$  en concentraciones altas de plomo es menor que cuando se utilizan concentraciones bajas de este metal.

**Tabla 5.** Parámetros de Langmuir en el olote de maíz.

Olote de maíz	R <sup>2</sup>	q <sub>m</sub> (mg/g)
Concentraciones bajas	0.954	32
Concentraciones altas	0.974	25



**Figura 7.** Isotherma de adsorción de Pb (II) sobre el olote de maíz, pH= 5.5 y concentraciones bajas.



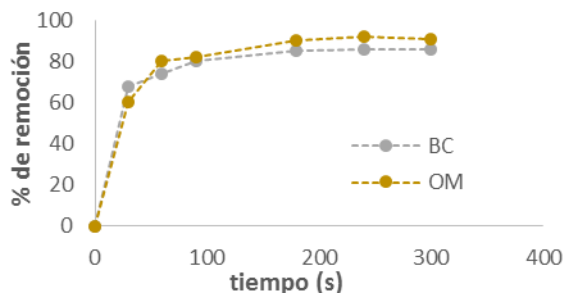
**Figura 8.** Isotherma de adsorción de Pb (II) sobre el olote de maíz, pH= 5.5 y concentraciones altas.

### Porcentajes remoción de Pb (II) a partir de soluciones residuales del laboratorio G-111 del área de Química y Físicoquímica Ambiental

Finalmente se recolectaron soluciones residuales que contenían Pb (II) y se sometieron al proceso batch, con las condiciones antes mencionadas (pH= 5.5, T=25°C) durante dos tiempos de contacto (5 y 30 min), para los dos adsorbentes de forma individual.



Los resultados obtenidos fueron favorables (Figura 9), se obtuvo un porcentaje de remoción con olote de maíz de 90% y con bagazo de coco se adsorbió el 80% de Pb (II) en 5 min, el tiempo de 30 min mostro porcentajes semejantes de remoción.



**Figura 9.** Porcentajes de remoción de Pb (II) de soluciones residuales generadas por el laboratorio G-11 utilizando bagazo de coco (BC) y olote de maíz (OM).

## Conclusiones

En este estudio se concluye que el pH y la concentración del metal disuelto son variables determinantes para el proceso de adsorción entre el Pb (II) y los adsorbentes empleados. Para el caso del pH, un aumento de pH presento un aumento en la captación de iones metálicos, alcanzando eliminaciones máximas en un intervalo de 5 y 6, tanto para el bagazo de coco como el olote de maíz.

Considerando los resultados de los parámetros de la ecuación de Langmuir para el olote de maíz y el bagazo de coco, a concentraciones bajas de metal disuelto se logra remover mayor cantidad de Pb (II).

Finalmente es factible el uso de bagazo de coco y olote de maíz para la remoción de Pb (II) debido a que no se requiere tratamientos químicos, son procesos muy rápidos y los deshechos de estos materiales adsorbentes son de fácil adquisición. Se recomienda continuar con las investigaciones de estos adsorbentes (bagazo de coco y olote de maíz) donde se utilice diferente cantidad de sólido, para evaluar su efecto en la capacidad de adsorción de Pb (II).

Por otro lado, se sugiere realizar la regeneración de los materiales adsorbentes mediante tratamientos ácidos para separar el metal adsorbido y que este se puede reutilizar; con respecto a los materiales sólidos (bagazo de coco y olote de maíz), se desecharían sin ocasionar problemas de contaminación en el agua y en el suelo.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo para la realización de esta investigación a las instalaciones del Área de química y Físicoquímica Ambiental.

## Referencias

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013). Estadísticas del agua en México. 2ª Ed.p.45-60.
- Córdoba J.A., Salcedo E., Rodríguez R., Zamora J.F., Manríquez R., Contreras H., Robledob J., Delgado E. (2013). Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas *Rev. Latinoam. Quím.*, 3:171-184
- García A.J., García R.M., Barceló Q.D. I., Salazar P.M.L., Solís C.H.E. (2015) (a). Efecto del tamaño de partícula en la adsorción de Pb (II) utilizando olote de maíz. 2º Congreso Nacional de la asociación mexicana de ingeniería, ciencia y gestión ambiental (AMICA), Puebla, Pue. 1-8.
- García A.J., Barceló Q.I., García R.M., Salazar P.M.L., Solís C., Hernandez M. A. (2015) (b). Remoción de Pb (II) utilizando mezclas de bagazo de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y cáscara de huevo en un sistema acuoso. IV (CIDIQ), México, D.F., 52-62.
- Giraldo G.L., Moreno P.J.C., (2008). Pb<sup>2+</sup> adsorption from aqueous solutions on activated carbons obtained from lignocellulosic residues. *Braz. Jour. Chem. Enginn.* 25:143-151.
- Misihairabgwi J.M., Kasiyamhuru A., Anderson P., Cunningham C.J., Peshkur T.A., NcubeIgnatious I. (2014). Adsorption of heavy metals by agroforestry waste derived activated carbons applied to aqueous solutions. *Academicjournals.* 14: 1579-1587.
- Barranco B.H. (2015). Evaluación de la capacidad de adsorción del bagazo de coco y el olote de maíz para remoción de cobre y plomo en aguas residuales. Proyecto terminal de investigación en Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F.
- Montañez P.A.L., Uzcátegui I. (2009). Utilización de la fibra de coco como sustituto del Amianto en los procesos industriales. *Revista Ingeniería UC, Universidad de Carabobo Venezuela.* 16: 20-26.
- Kotrba P., Mackova M., Macek T. (2011). *Microbial Biosorption of Metal.* 1ª Ed. Springer, p.11-35.
- OMS (Organización mundial de la salud) (2016). Intoxicación por plomo y salud. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/>
- Valdivia I.M. (2005). Intoxicación por plomo. *Rev. Soc. Per. Med. Inter.* 18:22-27.