

Adsorción de Cu (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

El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos. Es un elemento esencial para plantas, animales y seres humanos, conforme pasan los años su uso ha ido aumentando y su concentración en diferentes cuerpos acuáticos, lo que ha generado problemas de salud, por lo que en este trabajo se realizaron experimentos de bioadsorción para la remoción de Cu (II) utilizando bagazo de coco (BC) y olote de maíz (OM). Los resultados en un sistema batch indicaron que el pH es una variable fundamental para cada sistema metal-adsorbente, por otro lado se utilizó el modelo de Langmuir para determinar los valores de la q_m en ambos adsorbentes y se obtuvo una remoción del 60% de Cu (II) con olote de maíz donde la q_m fue de 14 mg/g y para el bagazo de coco se determinó un porcentaje menor de remoción (40%) con una q_m de 3 mg/g, bajo condiciones óptimas de las variables estudiadas.

ABSTRACT

Copper was one of the first metals used by humans. It is an essential element for plants, animals and humans, as the years pass their use has been increasing and its concentration in different water bodies, which has led to health problems, so in this paper experiments of biosorption were made to the removal of Cu (II) using coconut bagasse (BC) and corn cobs (OM). Results in a batch system indicated that pH is a key variable for each metal-adsorbent system, on the other hand the Langmuir model was used to determine the values of q_m both adsorbents and obtained a removal of 60% of Cu (II) with corn cob where q_m was 14 mg/g for coconut bagasse removal a smaller percentage (40%) with a q_m 3 mg/g, under optimal conditions of the variables was determined.

Introducción

El cobre es un metal de alto interés en calidad de agua de consumo porque tiene un doble carácter, es un metal esencial para el ser humano y puede, tanto por deficiencia como por exceso, producir efectos perjudiciales en la salud. El carácter esencial del cobre deriva de su incorporación a un gran número de proteínas con fines catalíticos y estructurales. Su toxicidad bioquímica cuando supera el control homeostático provoca irritación en nariz, boca y ojos causando dolores de cabeza, estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado, la médula ósea y los riñones que es donde se almacena la mayor parte de este metal (Olivares et al., 2001; INE, 2009). La concentración de cobre en el agua de consumo puede ser de origen natural o antropogénico debido a que es un metal ampliamente usado debido a sus propiedades físicas y químicas como: durabilidad, ductilidad, maleabilidad, conductividad eléctrica y térmica, lo que ha generado un incremento en su producción en las últimas décadas y debido a esto la cantidad de cobre en el ambiente se ha expandido (Enciclopedia., 2013). Teniendo en cuenta los efectos que provoca el cobre, es necesario realizar investigaciones que permitan la remoción de este metal en donde se utilicen metodologías de bajo costo y sobre todo que no generen sustancias secundarias que sean más tóxicas que el cobre y sobre todo que se utilicen residuos de fácil adquisición, estos materiales reciben el nombre de bioadsorbentes, los cuales se han estado investigando para evaluar su aplicación y su sustentabilidad en el campo del control de la contaminación del agua (Ng et al., 2003), entre ellos se encuentran, la cáscara de camarón (Hargono et al., 2003), carbón activado y madera fibrosa de papaya (Iqbal y Saeed, 2006), aserrín de roble para remoción de Cu, Ni y Cr (Mehmet et al., 2007), algas filamentosas para Cu y Pb (Yi-Chao y Shui-Ping, 2011). La bioadsorción por medio de biomateriales naturales y de desecho es considerada como una biotecnología rentable y de gran aplicabilidad para el tratamiento de aguas residuales con bajas concentraciones de metales (El-Nemr et al., 2007, Cuizano et al., 2008, García, 2015 (a)). Por lo anterior 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 Cu (II) en contacto Batch, con temperatura constante y diferentes concentraciones de metal en solución acuosa empleando el modelo teórico de Langmuir para explicar el fenómeno adsorptivo y

determinar si es factible el uso de estos sólidos para la remoción de este metal.

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 cobre en cada adsorbente mediante un espectrofotómetro de Absorción atómica marca Thermo Elemental modelo SOLAAR M6.

Soluciones con diferentes pH

Las soluciones de cobre se prepararon disolviendo nitrato de cobre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 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 la influencia del pH en la adsorción de Cu (II) utilizando el bagazo de coco y el olote de maíz respectivamente.

Ensayos batch

Las adsorciones se realizaron por duplicado 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 cobre 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 realizó la isoterma experimental de adsorción con 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 Cu (II) 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), 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 cobre 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 ± 0.0284	32.15
Olote de maíz	2.8 ± 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 cobre, 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.

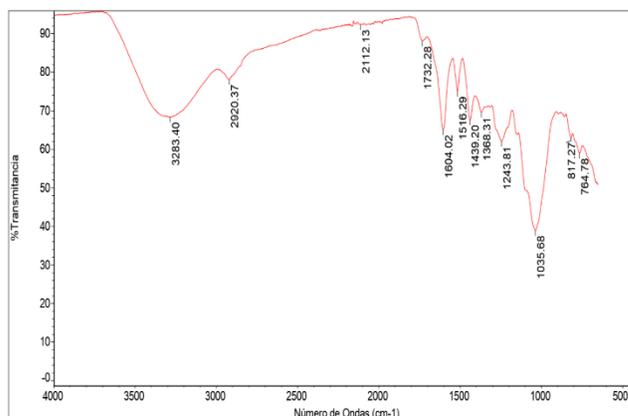


Figura 1. Espectro IR del Bagazo de coco (BC) de Zacualpan de Amilpas, Morelos (Barranco, 2015).

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

Compuesto	Enlace	Intervalo de onda cm^{-1}
Celulosa	O-H	3600-3200
	C-H ₃	1450-1375
	CH ₂	1300-1565
	CH	830-900
	C-O	1000-1370
Hemicelulosa	CH	3000-2850
	C=C	1680-1600
	C=O	1540-2420
	C-O	1000-1370
Lignina	CH	830-900
	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 Cu (II) actuando como intercambiadores iónicos en la remoción de los metales.

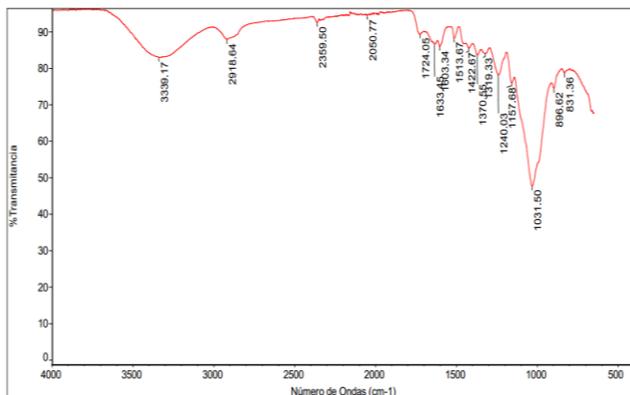


Figura 2. Espectro IR del Olote de maíz (OM) de Zacualpan de Amilpas, Morelos (Barranco, 2015).

Concentración metálica

La concentración de cobre presente en el bagazo de coco se encuentra por debajo del límite de detección en flama, en cambio para el olote de maíz, se determinó 0.082 (mg/Kg), esta concentración de cobre se atribuye al uso de fertilizantes utilizados en la región (Tabla 3). Los parámetros utilizados por el equipo de AA para la determinación de cobre utilizando la técnica de flama fueron: LD= 0.033 (mg/L), λ = 324.8 nm, Slit = 0.5 nm.

Tabla 3. Concentraciones de Cu en los sólidos adsorbentes.

Sólido Adsorbente	Concentración (mg/Kg)
Bagazo de coco	<LD
Olote de Maíz	0.082 ± 0.005

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 cobre que predominan en función del pH (Barranco, 2015) donde se observó que a pH menores a 7 el ion Cu^{2+} permanece soluble y a pH mayores a 7, el cobre precipita (Figura 3).

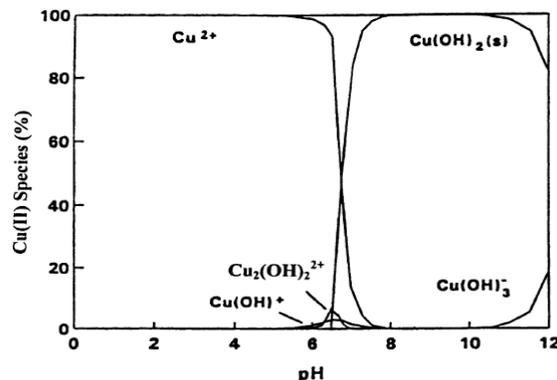


Figura 3. Especies de cobre en función del pH (Barranco, 2015).

Derivado de lo anterior en la figura 4 se resume los valores de remoción de cobre para los dos adsorbentes con cinco valores de pH en condiciones naturales sin modificación previa por tratamiento químico. El uso de diversos valores de pH en el bagazo de coco no muestra un cambio significativo en la remoción del metal, cuando se tienen valores de pH entre 3 y 4, el adsorbente remueve el 20% de la concentración inicial y en valores de pH más altos se incrementa hasta un 30% de remoción de cobre. Con respecto al olote de maíz su comportamiento fue constante hasta un pH de 5 con una remoción máxima de 60%. Por lo que se decidió utilizar un pH constante de 5 para realizar las isotermas de adsorción y no tener precipitación del metal que pudiese alterar los objetivos de esta investigación.

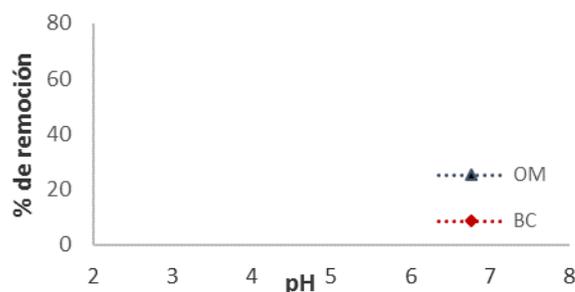


Figura 4. Efecto del pH en la remoción de Cu(II) con bagazo de coco (BC) y olote de maíz (OM).

Isotermas de adsorción experimentales para el bagazo de coco y el olote de maíz

Las isotermas de adsorción experimentales para el bagazo de coco como para el olote de maíz muestran una tendencia de isoterma tipo I (figura 5 y 6), donde se observó una adsorción rápida en los primeros minutos alcanzando el equilibrio rápidamente.

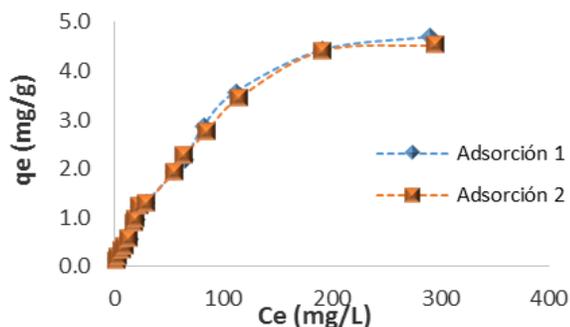


Figura 5. Isoterma de adsorción de Cu (II) sobre bagazo de coco, pH=5.

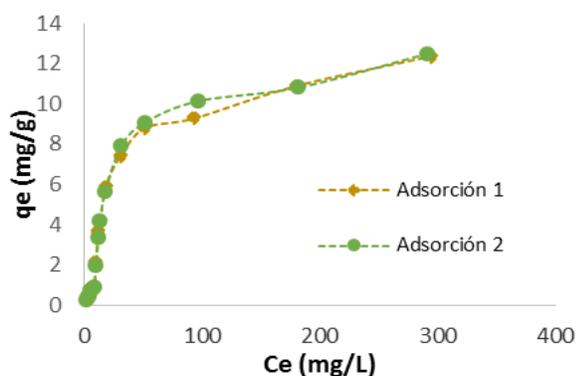


Figura 6. Isoterma de adsorción de Cu (II) sobre olote de maíz, pH=5.

Con los datos obtenidos experimentalmente se utilizó el modelo de Langmuir para explicar el proceso adsorptivo, en donde la ecuación en forma lineal se encuentra expresada por 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).

Isotermas de Langmuir para el bagazo de coco y el olote de maíz

Considerando la ecuación de Langmuir para el bagazo de coco, se obtuvieron correlaciones de 0.98 y 0.97 (Figura 7) para las réplicas de las adsorciones, pero la q_m (Tabla 4) de remoción de cobre comparada con la de otros metales fueron bajas comparadas con las de otros metales, este comportamiento se puede atribuir a que el adsorbente tiene poca afinidad por este metal (García, 2015).

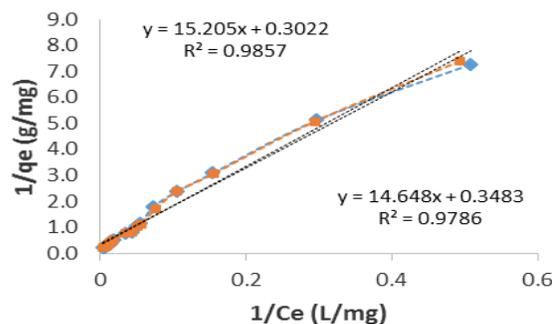


Figura 7. Isoterma de Langmuir para Cu (II) sobre bagazo de coco, pH=5.

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

Bagazo coco	R ²	qm (mg/g)
Adsorción 1	0.985	3.3
Adsorción 2	0.978	2.9

Isotermas de Langmuir para el olote de maíz

En la figura 8 se muestran las isotermas de langmuir, donde se puede observar valores de correlación menores a los obtenidos con el bagazo de coco.

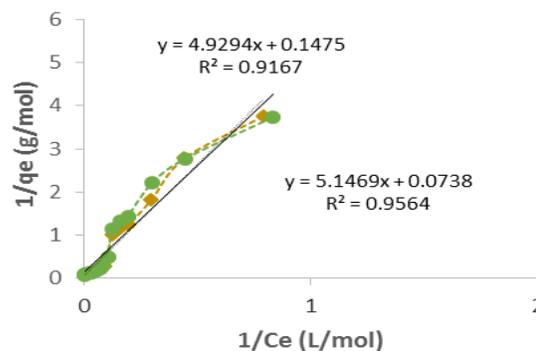


Figura 8. Isoterma de Langmuir para Cu (II) sobre el olote de maíz, pH=5.

Comparando los valores de la q_m para las dos adsorciones se encontró una variación del doble (tabla 5), por lo que se recomienda realizar en investigaciones posteriores tres réplicas para descartar un posible error experimental.

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

Olote de maíz	R ²	qm (mg/g)
Adsorción 1	0.916	7.1
Adsorción 2	0.956	14.2

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

Finalmente se recolectaron soluciones residuales que contenían Cu (II) y se sometieron al proceso batch, con las condiciones determinados de pH, tamaño de partícula para los dos adsorbentes de forma individual.

Los resultados obtenidos no fueron tan favorables como se esperaba (Figura 9), se obtuvo un porcentaje de remoción con olote de maíz de 20% y con bagazo de coco del 60% de Cu (II) de los residuos recolectados en el laboratorio de investigación.

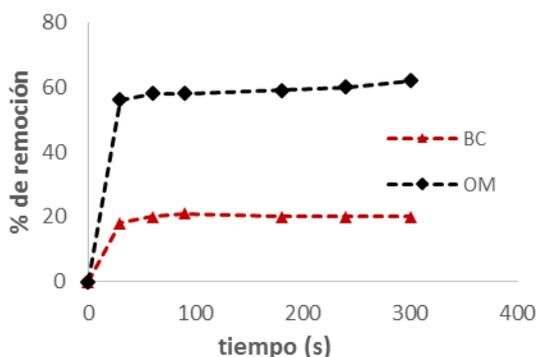


Figura 9. Porcentajes de remoción de Cu(II) de soluciones residuales generadas por el laboratorio G-11 utilizando bagazo de coco (BC) y olote de maíz (OM).

Conclusiones

Considerando los resultados anteriores de esta investigación se concluye que el pH es una variable importante que se debe de considerar para cada sistema metal- adsorbente. En el caso del Cu (II) con el bagazo de coco y el olote de maíz, presentó un comportamiento constante para la remoción del metal.

Considerando los resultados de los parámetros de la ecuación de Langmuir para el olote de maíz y el bagazo de coco, se obtuvieron valores pequeños de q_m para el bagazo de coco por lo que no es tan recomendable utilizar este adsorbente para la remoción de Cu (II), en cuanto al olote de maíz el valor de la q_m fue mayor y cuando se utilizó en los residuos del laboratorio se logró una remoción de 60% en cinco minutos, por lo que se recomienda utilizar este adsorbente y se sugiere emplear otros modelos de adsorción para comparar los parámetros obtenidos, así como diferentes temperaturas y cantidades (g) variables de sólidos adsorbentes para determinar si existe alguna variación en el proceso adsorptivo del Cu (II) en solución acuosa.

Agradecimientos

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

Referencias

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.

Enciclopedia Libre Universal en Español (2013). Oro.

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.

Cuizano N.A., Navarro A.E. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: Posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Revista Anales de la Real Sociedad Española de Química*. 104: 120-125.

El-Nemr A., Khaled A., Abdelwahab O. and El-Sikaily A. (2007). Treatment of wastewater containing toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed. *Journal of hazardous materials*.152: 263-275.

García A.J., García R.M., Barceló Q.D.I., Salazar P.M.L., Solís C.H.E. (2015). (b). 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 Congreso Internacional de Docencia e Investigación en Química (CIDIQ), México, D.F, 52-62.

Hargono y Djaeni M. (2003). Utilization Of Chitosan Prepared From Shrimp Shell As Fat Diluent. *Journal of Coastal Development*. 7: 31- 37.



Iqbal M., Saeed A. (2006). Entrapment of fungal hyphae in structural fibrous network of papaya wood to produce a unique biosorbent for the removal of heavy metals. *Enzyme and Microbial Technology*. 39: 996-1001.

Mehmet E.A., (Mehmet Emin Argun, Sukru Dursun, Celalettin Ozdemir, Mustafa Karatas 2007). Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*.141: 77-85.

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.

Ng J.C., Wang J., Shraim A. (2003). Global health, problems caused by arsenic from natural sources. *Chemospher*. 52: 1353-1358.

Olivares M., Araya M., Pizarro F., Uauy R., (2001). Nausea threshold in Apparently Healthy Individuals who Drink Fluids Graded Concentrations of Coper. *Reg. Tox. And Pharmacology*. 33: 1-5.

Kotrba P., Mackova M., Macek T. (2011). Microbial Biosorption of Metal. 1ª Ed. Springer, p.11-35.

Yi-Chao L., Shui-Ping C., (2011). The biosorption of heavy metals from aqueous solution by Spirogyra and Cladophora filamentous macroalgae. *Bioresource Technology*: 19. 380-387.