



# Universidad Autónoma de Nayarit

## Secretaría de Investigación y Posgrado

### Revista Bio Ciencias

#### **A QUIEN CORRESPONDA: PRESENTE.-**

Quien suscribe el Dr. Manuel Iván Girón Pérez, Editor de la *Revista Bio Ciencias* (ISSN: 2007-3380) incorporada a los índices: *Web of Science (Thomson Reuters)* DOAJ, IMBIOMED, LATINDEX y Conacyt, hace

#### **CONSTAR**

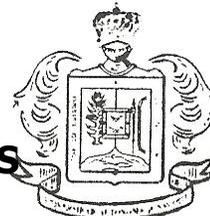
Que el Artículo titulado **"Biosorbentes de bajo costo: una alternativa para aguas contaminadas"**, de la autoría de **María Selene Berber Mendoza, Irma Francisca Sarabia Meléndez, Aurora Acosta Rangel, Oscar Reyes Cárdenas, Marisabel Sarabia Meléndez**. Actualmente se encuentra en calidad de Artículo Aceptado en proceso de edición para su publicación en la Revista Bio Ciencias.

Se extiende la presente a petición de los interesados, para los fines Administrativos que a ellos convengan en la Ciudad de Tepic, Estado de Nayarit México, a los cinco días del mes de marzo del año dos mil dieciocho.

#### **ATENTAMENTE**

  
**DR. MANUEL IVAN GIRON PEREZ**  
**EDITOR DE LA REVISTA BIO CIENCIAS**

UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE NAYARIT



SECRETARIA DE  
INVESTIGACION Y  
POSGRADO

revista  
**Bio ciencias**  
ISSN: 2007-3380

-  Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic Nayarit, México.
-  (+52) 311 211 88 00 Ext. 8922
-  [revistabiociencias@gmail.com](mailto:revistabiociencias@gmail.com)  
<http://revistabiociencias.uan.edu.mx>

## **Biosorbentes de Bajo Costo: una alternativa para aguas contaminadas. Revisión Bibliográfica**

### **Low Cost Biosorbents: An alternative to contaminated water. A review**

Irma Francisca Sarabia-Meléndez<sup>1</sup>, María Selene Berber-Mendoza<sup>1\*</sup>, Oscar Reyes-Cárdenas<sup>1</sup>, Marisabel Sarabia-Meléndez<sup>1</sup>, Aurora Acosta-Rangel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P., 78290, México.

**\*Autor de correspondencia:** selene.berber@uaslp.mx

### **Resumen**

En los últimos años diferentes materiales adsorbentes de bajo costo, se han estudiado con éxito para eliminar metales pesados (Pb, Cd, Mn y As) de aguas contaminadas. El propósito de este artículo fue comparar diferentes materiales biosorbentes tanto de residuos agrícolas como de madera y los factores que influyen en el proceso de adsorción, tales como tiempo de contacto, efecto del pH y temperatura, en la capacidad de remoción de metales pesados en medios acuosos. De esta forma, se presenta información relevante, que servirá de pauta para futuras investigaciones sobre el empleo de biosorbentes en el tratamiento de agua como una alternativa eficiente, económica y amigable con el ambiente.

**Palabras clave:** Metales pesados, adsorción, residuos agrícolas, residuos de madera.

### **Abstract**

In the last few years, low cost adsorbent materials have been successfully studied to remove heavy metals (Pb, Cd, Mn y As) from contaminated water. The purpose of this paper was to compare the different types of biosorbents materials from agriculture waste and wood waste and the factors that influence in the adsorption

process, such as contact time, pH and temperature, in the capacity of the removal of the heavy metals in aqueous medium. In this way relevant information is been presented, which will serve as a guideline for future investigations about the use of biosorbent in the water treatment as an effective, cheap and ecofriendly alternative.

**Keywords:** Heavy metals, adsorption, agriculture waste, wood waste

## **Introducción**

El agua es una fuente esencial para mantener la vida en el planeta. No obstante, que es un recurso inagotable, su composición química varía a través de la corteza terrestre, afectando de esta forma su idoneidad para propósitos domésticos e industriales. A pesar de que, el agua subterránea, representa el 0.6 % de los recursos hídricos (Mehta *et al.*, 2015), por su cantidad es la que principalmente abastece las necesidades de la población. Sin embargo, por el rápido crecimiento de la industria, se ha reducido significativamente la calidad de este recurso, debido a las descargas de aguas residuales industriales (Yan-bing *et al.*, 2017) y agrícolas que contienen metales pesados, los cuales una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, los que, por sus efectos tóxicos y tendencia a la acumulación representan un riesgo para los seres humanos y el ambiente (Abdel-Shafy y Mansour, 2016). Dichos metales, a diferencia de los compuestos orgánicos, no se pueden biodegradar o destruir, por lo que deben de ser eliminados del agua, antes de ser arrojados al medio ambiente.

Por otra parte, existe una variedad de métodos tradicionales que se han empleado para la remoción de metales pesados, tales como: intercambio iónico, ósmosis inversa, filtración, tratamiento electroquímico, métodos de oxidación o reducción, precipitación química y tecnologías de membrana, los cuales han demostrado ser efectivos para la eliminación de contaminantes, sin embargo, en algunos casos tienen desventajas, como la generación de lodos químicos tóxicos, cuya disposición es costosa y poco amigable con el medio ambiente (Fu y Wang, 2011;

Lakherwal, 2014), además de no resultar eficientes en la remoción de iones metálicos en concentraciones de 0,01 a 0,1 g/L (Bulut y Tez, 2007). Por esta razón, es necesario buscar alternativas eficaces de bajo costo y que sean afines con el ambiente. Una opción es la adsorción, la cual es un proceso de transferencia de masa mediante el cual una sustancia pasa de la fase líquida a la superficie de un sólido, resultado de la afinidad entre los sitios activos del adsorbente con el adsorbato, unidos por interacción física y/o química, que puede llevarse a cabo por complejación, coordinación, quelación e intercambio iónico (Pehlivan *et al.*, 2008). Además, la capacidad de adsorción está afectada por las propiedades del adsorbente como son área específica y química de la superficie (Qomi *et al.*, 2014). En la actualidad, la adsorción es considerada una opción efectiva, económica y selectiva para el tratamiento de aguas (De Gisi *et al.*, 2016). Dentro de los adsorbentes más extensamente usados, en los tratamientos de aguas contaminadas para su purificación, se encuentran los carbones activados, recientemente ha destacado, el uso de fibra de carbón activado ya que posee una mayor área específica que incrementa la velocidad de adsorción (Zaini *et al.*, 2010). Sin embargo, el uso del carbón activado en el tratamiento de aguas residuales, a veces es limitado debido a su costo, por tal motivo, se ha buscado reemplazarlo por residuos agrícolas o industriales. Una alternativa es la biosorción, que es una tecnología ecológica para la remoción de metales pesados en el agua, de fácil manejo, bajo costo, alta eficiencia y con un mínimo de generación de lodos, además, con posibilidad de regeneración del biosorbente y recuperación de metal (Das *et al.*, 2014).

La biosorción puede definirse como la habilidad de una biomasa de remover especies orgánicas o inorgánicas en soluciones acuosas través de un mecanismo de secuestro fisicoquímico (Akar *et al.*, 2015). Existen dos tipos de biomasa la viva (hongo, algas, bacterias) y la muerta (residuos agrícolas, de madera o lana). El uso de biomasa muerta se aplica con frecuencia en este tipo de procesos (biosorción), debido a que no necesita condiciones de mantenimiento; mientras que, el uso de biomasa viva requiere nutrientes y es probable que ocurra toxicidad de la biomasa al estar en contacto con contaminantes, sin embargo, se reconoce

su potencial en la remoción de contaminantes por bioprecipitación (Park *et al.*, 2010).

Para considerar que un biosorbente es eficaz, éste debe cumplir con las siguientes propiedades: bajo costo, poco procesamiento, abundante de manera natural o como producto de desecho (Bulut y Tez, 2007), alta eficiencia, afinidad (en términos de equilibrio y cinética), estable (mecánica y químicamente), con posibilidad de reciclar (Kleinübing *et al.*, 2011), que no produzca compuestos secundarios, tiempo de operación corto (Morosanu *et al.*, 2017), recuperación del metal (Das *et al.*, 2014) y amigable con el ambiente (Nagy *et al.*, 2017). Sin embargo, la capacidad de adsorción depende de los sitios activos del material y de la naturaleza de los iones en solución que se desean eliminar (Taty-Costodes *et al.*, 2003). Dentro de los sitios activos, se encuentran los grupos funcionales como los carboxilos, xylanos, hidroxilo, carbonilo, amino y compuestos fenólicos (Lodeiro *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2006; Pehlivan *et al.*, 2008; Jayakumar *et al.*, 2015).

La capacidad de adsorción de un ion metálico por una biomasa, depende de aquellos parámetros que afectan el proceso de biosorción, entre los que encontramos: pH de la solución, tipo de material adsorbente, tiempo de agitación, tiempo de contacto, cantidad del adsorbente (Jayakumar *et al.*, 2015; Djemmoe *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2015), velocidad de agitación (Daneshvar *et al.*, 2017; Bulut y Tez, 2007), cantidad del adsorbente (Argun *et al.*, 2007), temperatura (Moubarik y Grimi, 2015), concentración inicial (Das *et al.*, 2014), fuerza iónica y coexistencia de otros contaminantes (Park *et al.*, 2010; Larous *et al.*, 2005).

El pH es quizá el factor más importante en la biosorción de iones metálicos, tanto para cationes como aniones, presentando efecto distinto en ambos casos (Lodeiro *et al.*, 2006). Esto se debe a que la carga superficial del biosorbente depende del pH de la solución y su punto de carga cero (PCC). Cuando la carga superficial del adsorbente es cero se considera neutra y se le denomina PCC. La superficie se carga positivamente por debajo del PCC, y puede ocasionar repulsión de cationes y atracción de aniones, por otra parte, a pH bajos (pH=2), el ion hidronio compite con el ión metálico por los sitios del biosorbente. Cuando el valor del pH está por encima del PCC, la superficie del adsorbente se carga negativamente y los grupos

funcionales (carboxilo, fenólico, fosfato y amino) reaccionan con los cationes metálicos para su eliminación de la solución (Taty-Costodes *et al.*, 2003; Han *et al.*, 2006; Moubarik *et al.*, 2015; Salazar- Rábago y Leyva-Ramos, 2016)

La temperatura es otro de los factores que más influyen en la eficiencia de biosorción (Zeraatkar *et al.*, 2016) y en la interacción entre el soluto y el adsorbente (Kleinübing *et al.*, 2011). Sin embargo, en los biosorbentes como las algas, la temperatura muy alta, causa alteración de la superficie y, por tanto, pérdida en la capacidad de adsorción debido al deterioro de la biomasa (Jayakumar *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2010; Moubarik *et al.*, 2015). Mientras que, en biosorbentes que provienen de residuos agrícolas, a altas temperaturas, se ha demostrado que aumenta la capacidad de adsorción de iones metálicos, lo cual se puede deber a que la actividad en la superficie del biosorbente así como la energía cinética de los iones metálicos está aumentando con el incremento de temperatura (Park *et al.*, 2010; Morosanu, *et al.*, 2017). En otros estudios se ha encontrado que la capacidad de adsorción disminuye con el aumento de temperatura, en estos casos se dice que es un proceso exótermico (Huang *et al.*, 2015).

El tiempo de contacto es un parámetro que se considera para la adsorción de los iones metálicos sobre del material (Han *et al.*, 2006; Pehlivan *et al.*, 2008), en la mayoría de los casos se dejan en contacto hasta alcanzar un equilibrio entre el biosorbente y el ión metálico en solución. Para determinar la relación entre el adsorbato y el adsorbente en equilibrio se pueden utilizar diferentes modelos de isotermas, uno de los modelos más utilizados es la de Freundlich, que predice la heterogeneidad superficial del adsorbente (Ajmal *et al.*, 1998). Mientras que, el modelo de Langmuir que también es frecuentemente utilizado, se basa en la adsorción en superficies completamente homogéneas y con formación de una monocapa, donde las interacciones entre las moléculas adsorbidas son despreciables (Larous *et al.*, 2005). Ambos modelos de isotermas se ajustan adecuadamente para describir la adsorción en sistemas acuosos. En este contexto, se han estudiado diferentes materiales ampliamente disponibles y de bajo costo que han resultado ser efectivos, tales como: bacterias, algas, hongos,

residuos naturales (Park *et al.*, 2010), materiales y subproductos de origen industrial, tales como residuos de operación, desechos de procesos y residuos de fermentación (Aksu *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2006), residuos agrícolas (Huang *et al.*, 2015). Todos ellos, prometen ser de alguna forma, respetuosos con el medio ambiente, además, de rentables para eliminar metales de aguas contaminadas (Henriques *et al.*, 2015). Se ha encontrado que las modificaciones de los materiales con diferentes químicos aumentan la remoción de contaminantes, sin embargo, dichas modificaciones pueden aumentar el costo de los biosorbentes (Park *et al.*, 2010). Para esta revisión, se consideró la información de varios estudios realizados de residuos de madera y agrícolas (Figura 1), tomando en cuenta factibilidad y eficiencia, así como condiciones óptimas de operación para la remoción de metales pesados con la finalidad de analizar y evaluar biomásas con alto potencial de adsorción para su aplicación.

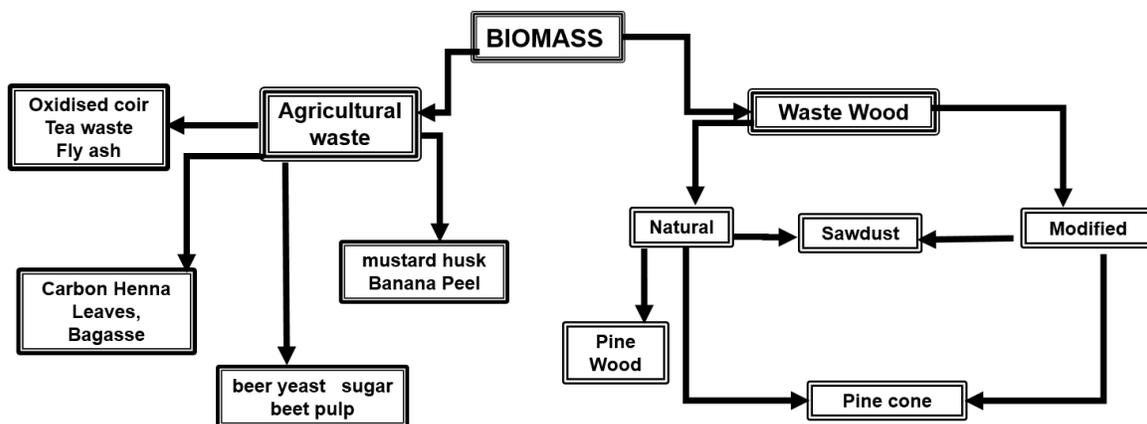


Figure 1. Classification of agricultural and wood biomass, used for removal of heavy metals in aqueous solutions.

## 1. Remoción por Residuos Agrícolas

Una gran variedad de residuos agrícolas y subproductos de estos, han sido explorados para la eliminación de metales pesados. Los residuos agrícolas pueden ser generados de diferentes partes de plantas como son: tallos, hojas, raíces, flores, frutos, cáscaras, semillas y huesos de frutos, por ejemplo: bagazo de caña de azúcar, cáscara de coco, aceite de palma, corteza de neem, residuos de nuez, subproductos como piel de cebolla, cáscara de la semilla de palma (Pehlivan *et al.*, 2008; Hegazi, 2013; Qomi *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2015),

cáscara de arroz y de trigo, levadura de cerveza (Han *et al.*, 2006) y aserrín (Argun *et al.*, 2007; Šćiban *et al.*, 2007). Todos estos residuos debido a su estructura formada por biopolímeros naturales (celulosa), heteropolisacáridos como hemicelulosa, pectina, y lignina (Anwar *et al.*, 2010), además, por tener grupos fenólicos, amino, hidroxilo y carboxilo (Castro *et al.*, 2011), es posible utilizarlos como biosorbentes, que la biosorción en este tipo de materiales ocurra cuando los grupos funcionales se unan a los iones metálicos (Akar *et al.*, 2015).

Algunos de los mecanismos para la adsorción de metales son la quelación, complejación e intercambio iónico (Fu y Wang, 2011). La ventaja de estos biosorbentes es el hecho de que no tienen que ser producidos especialmente para este fin, debido a que son subproductos o residuos de procesos agrícolas o forestales disponibles en grandes cantidades (Sulyman *et al.*, 2017), además de su bajo costo y fácil procesamiento. Por lo anterior los residuos agrícolas representan una alternativa como fuente de materiales adsorbentes para el tratamiento de aguas residuales (Okoro y Okoro, 2011) y en específico en la remoción metales pesados.

En la Tabla 1 se muestran las capacidades de biosorción de varios tipos de residuos agrícolas, las condiciones de temperatura, pH y tiempo de contacto, así como el tipo de isoterma a la que se ajustaron los datos experimentales. En esta Tabla se observa que las capacidades de adsorción de los biosorbentes dependen tanto del tipo de residuo como de las condiciones y el ión metálico que se encuentra en solución, además las isotermas de ajuste más utilizadas son Langmuir y Freundlich. También, se puede ver que la máxima capacidad de adsorción del metal sobre los residuos ocurre en pH entre 3 y 7, y los tiempos de contacto variaron desde 20 min hasta 48 h, así como las temperaturas que van desde los 20 hasta los 35°C. Además, se ve que los residuos que presentaron mayor capacidad de adsorción fueron: el residuo de té que removió 65 mg/g y 48 mg/g de Pb (II) y Cu (II) respectivamente, así como la pulpa de azúcar con una adsorción de 46.1 mg/g de Cd (II) y 35.6 mg/g de Zn (II) (Figura 1). Sin embargo, a partir de esta información es difícil decidir cuál de estas biomásas funciona mejor, ya que las condiciones a las cuales se hicieron los estudios no fueron las

mismas. Sin embargo, lo que si muestra que es que el uso de algunos residuos agrícolas es recomendable, ya que además de sus propiedades fisicoquímicas y afinidad por los iones metálicos, se tiene que son relativamente económicos, fácilmente disponibles y abundantes. Además, también se ha demostrado que pueden ser modificados para incrementar sus propiedades y capacidades de remoción, sin embargo, se requiere más investigación en cuanto a modelado, regeneración y recuperación del metal (Sud *et al.*, 2008).

Table 1. Agricultural waste materials used as low adsorbents cost.

Adsorbent	Metal	Removal mg/g	Contact Time	Isotherm*	T °C	pH	References
Bagasse carbon	Cd (II)	38.03	1 h	L, F	25	4.5	Mohan <i>et al.</i> , 2002
	Zn (II)	31.11					
Sugar beet pulp (SBP)	Cu (II)	30.9	60 min	L	25 ± 1	5.5	Pehlivan <i>et al.</i> , 2006
	Zn (II)	35.6					
Fly ash (FA)	Cu (II)	7	60 min	L	25 ± 1	5	Pehlivan <i>et al.</i> , 2006
	Zn (II)	7.84					
Carbon Henna leaves	Cu (II)	3.65	90 min	L, F	35 ± 2	7	Shanthy y Selvarajan, 2013
	Cr II)	0.08					
Tea waste	Pb (II)	65	90 min	L, F	22±2	5-6	Amarasinghe y Williams, 2007
	Cu (II)	48					
Oxidized coir	Ni (II)	4.33	120 min	L	35	6.5	Shukla <i>et al.</i> , 2006
	Zn (II)	7.88					
	Fe (II)	7.49					
Sugar beet pulp	Pb (II)	60	120 min	L	20±0.5	6	Gerente <i>et al.</i> , 2000
	Cu (II)	30					
	Ni (II)	12					
Sugar beet pulp	Cd (II)	46.1	70 min	L, F	25±1	5.3	Pehlivan <i>et al.</i> , 2008
	Pb (II)	43.5					
Banana Peel	Pb (II)	41.11	20 min	L	30	3	Castro <i>et al.</i> , 2011
	Cu (II)	20.97					
Beer yeast	Pb (II)	5.73	60 min	L, F	20	5	Han <i>et al.</i> , 2006
	Cu (II)	1.45					
Mustard husk	Pb (II)	30.48	48 h	L, F		6	Meena <i>et al.</i> , 2008
	Cd (II)	42.85					
Peels of banana	Pb (II)	5.71	20 min	L	25	5	Anwar <i>et al.</i> , 2010
	Cd (II)	2.18					

\*Isotherm Adsorption L=Langmuir and F= Freundlich

En la Figura 2 se muestra la capacidad de remoción de los residuos agrícolas de acuerdo a la relación especie-metal.

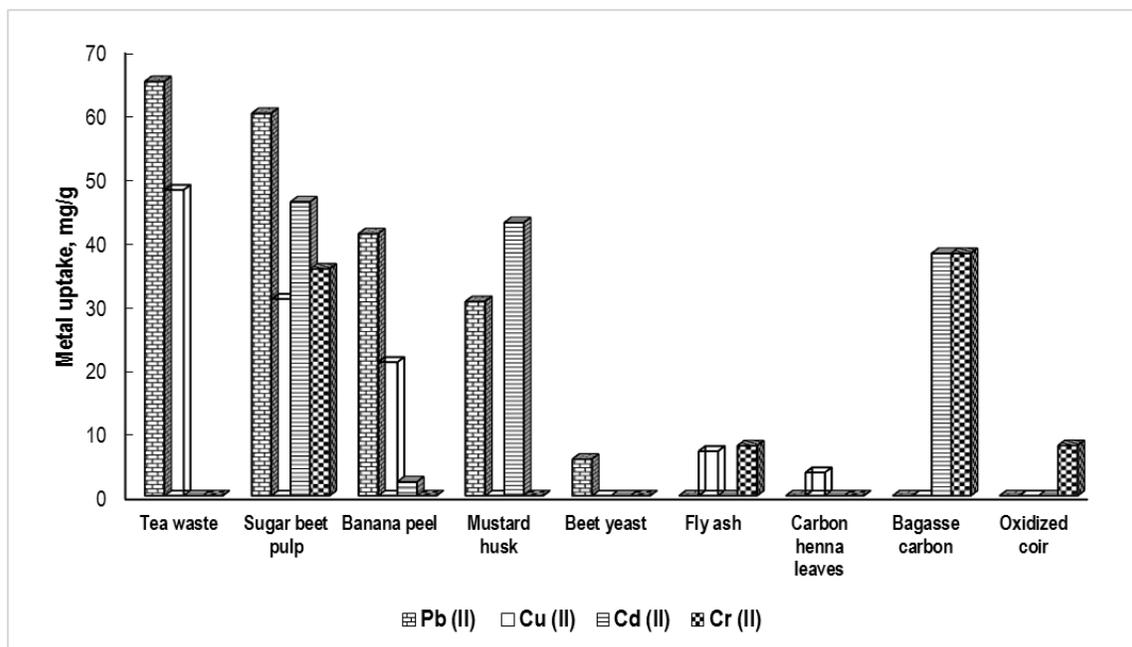


Figure 2. Agricultural waste species with more capacity of heavy metal adsorption.

## 2. Remoción con Residuos de Madera

Otra alternativa como material para adsorción de metales son los residuos de la industria de la madera (aserrín) ampliamente disponibles, y a menudo considerados como desecho (Qomi *et al.*, 2014). Su estructura está formada por componentes primarios como son la celulosa (40-50%), hemicelulosa (20-40%) y lignina (20-40%) (Salazar- Rábago y Leyva-Ramos, 2016), además de componentes secundarios como hidratos de carbono, grupos fenólicos, grupos carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y grupos amino, y extractos de grasas y cera (Vázquez-Guerrero *et al.*, 2016); el porcentaje de la composición de la estructura está en función de la especie de madera de donde provenga el aserrín (Ahmad *et al.*, 2009). Las propiedades fisicoquímicas del adsorbente mencionadas anteriormente afectan su capacidad de remoción (Martín-Lara *et al.*, 2016). Recientemente, ha llamado la atención de varias investigaciones el uso de aserrín de diferentes especies de madera, al que, en algunos casos, se ha modificado por diferentes métodos en sus propiedades fisicoquímicas para aumentar su capacidad de adsorción con alguno de los siguientes ácidos: clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, tartárico, cítrico o hidróxido de sodio (Meena *et al.*, 2008; Ofomaja *et al.*,

2010). En la Tabla 2 se muestran diferentes residuos de madera naturales y modificados empleados en la remoción de metales pesados.

Table 2. Different wood waste materials used as adsorbents.

Adsorbent	Metal	Removal (mg/g)	Contact Time	Isotherm*	T °C	pH	References
Sawdust of Meranti wood	Cu (II)	37.17	60 min	L, F	30	6.6	Ahmad <i>et al.</i> , 2009
	Pb (II)	37.04					
Meranti sawdust	Cu (II)	32.05	120 min	L, F, DR	30	6	Rafatullah <i>et al.</i> , 2009
	Cr (III)	37.88					
	Ni (II)	35.97					
	Pb (II)	34.24					
Sawdust of <i>Pinus sylvestris</i>	Cd (II)	19.08	20 min	L	25	5.5	Taty-Costodes <i>et al.</i> , 2003
	Pb (II)	22.22					
Sawdust	Cu (II)	1.79	24 h	L, F	23	7	Yu <i>et al.</i> , 2001
	Pb (II)	3.19					
Papaya wood	Cu (II)	19.88	60 min	L, F	-	5	Saeed <i>et al.</i> , 2005
	Cd (II)	17.22					
	Zn (II)	13.45					
Mansonia wood sawdust	Pb (II)	51.81	-	L, F	26	6	Ofomaja <i>et al.</i> , 2010
	Cu (II)	42.37					
KOH treated pine cone powder	Cu (II)	26.32	15 min	L, F, DR	18	5	Ofomaja <i>et al.</i> , 2010
	Pb (II)	32.26					
Modified oak sawdust	Cu (II)	3.22	4h	L, F, DR	20	4	Argun <i>et al.</i> , 2007
	Ni (II)	3.29	8h				
	Cr (VI)	1.70	8h				
Pine cone Fenton's reagent	Cd (II)	32	90-105 min	L	20	7	Argun <i>et al.</i> , 2008
	Pb (II)	29					
Treated sawdust ( <i>Acacia arabica</i> )	Cr (IV)	111.61	72h	L, F	30	6	Meena <i>et al.</i> , 2008
	Pb (II)	52.38	48 h				
	Hg (II)	20.62	48h				
	Cu (II)	5.64	48h				
Modified white pine sawdust	Pb(II)	18.9 - 304	7 d	L	25	5	Salazar-Rábago y Leyva-Ramos, 2016

\*Isotherm Adsorption L=Langmuir, F= Freundlich and DR=Dubini-Radushkevich

Como se puede observar existe variación en la capacidad de adsorción de los residuos, tanto naturales como modificados, que va a depender de la carga superficial del adsorbente y del pH de la solución. A un pH mayor la carga

superficial será negativa, debido a la desprotonación de los grupos carboxilo e hidroxilo (Debnath *et al.*, 2017); sin embargo, también influye la temperatura y el tiempo de contacto para la remoción de contaminantes. Entre los materiales que presentaron mayor capacidad de adsorción está el aserrín de pino modificado con ácido cítrico que removió hasta 304 mg/g de Pb (II) (Salazar- Rábago y Leyva-Ramos, 2016), otro fue la *Acacia arabica*, que adsorbió 111.61 mg/g y 52.38 mg/g de Cr(II) y Pb(II), respectivamente (Meena *et al.*, 2008), mientras que el residuo de *Mansonia* removió 51.81 mg/g y 42.37 mg/g de Pb (II) y Cu (II), respectivamente (Ofomaja *et al.*, 2010) (ver Figura 3). Al igual que en otros residuos los modelos de isotermas de adsorción más utilizados para el ajuste de los datos experimentales de adsorción fueron Langmuir y Freundlich (Singh *et al.*, 2016). Argun *et al.* (2007), considera que la modificación provoca la disminución en la cantidad de celulosa y hemicelulosa, y aumenta la proporción de lignina, lo que es favorable ya que ha demostrado que los metales se adsorben preferentemente sobre ésta última. En la Figura 3 se muestra la capacidad de remoción de los diferentes tipos de aserrín de acuerdo a la relación especie-metal.

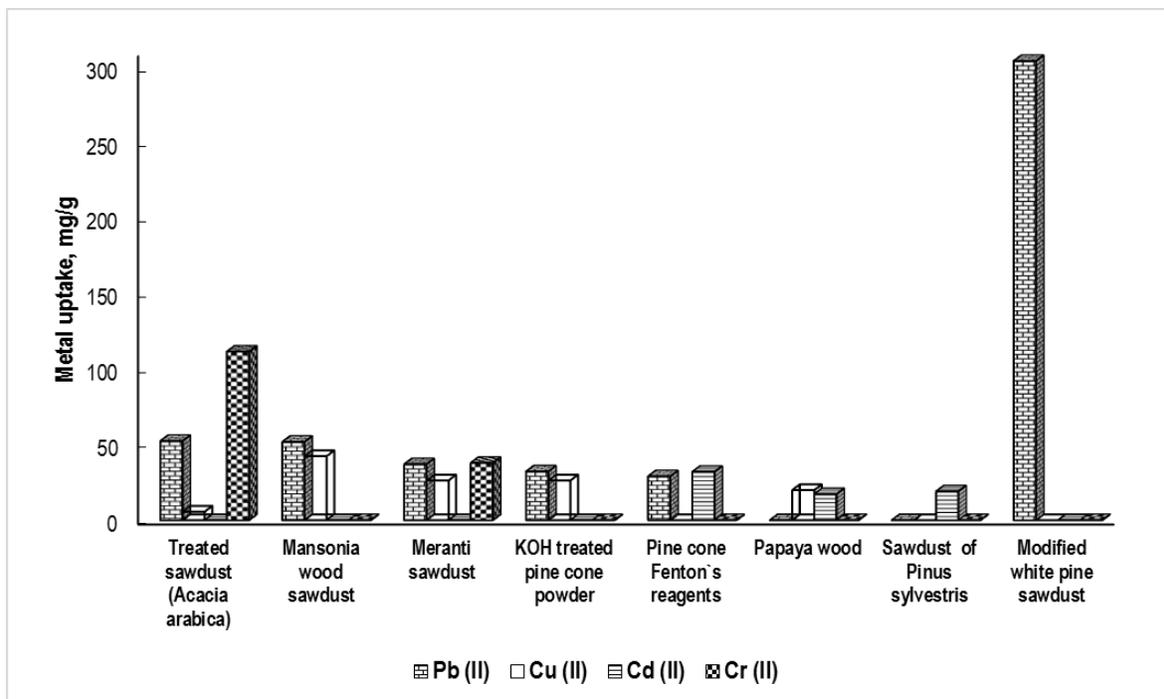


Figure 3. Wood waste with more absorption capacity of heavy metals. Wood waste species.

## **Conclusiones:**

Los tratamientos convencionales, por su alto costo, dejan de ser efectivos para eliminar bajas concentraciones de metales, por lo que los residuos analizados en el presente estudio representan una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados.

Los residuos agrícolas modificados demostraron ser más eficientes en la remoción de los metales pesados, sin embargo, es importante considerar el costo del proceso de modificación.

La adsorción de metales pesados y de cualquier otro contaminante, está condicionada por el tipo de material, el pH, temperatura y tiempo de contacto, además de acuerdo a esta revisión se debe de tomar en cuenta el metal y su especie en solución acuosa para obtener una mejor remoción de los mismos.

La mayoría de los estudios reportados se han llevado a cabo en lote, es necesaria más investigación enfocada a todos los factores que afectan a la biosorción, para hacer los procesos económicos a escala industrial con enfoque de recuperar el metal y la regeneración del residuo industrial.

En general el orden de selectividad de los adsorbentes por los metales pesados es:

**Pb (II) > Cd (II) > Cu (II) > Cr (II) > Zn (II) > Ni (II).**

Por lo anterior, los materiales revisados pueden considerarse una alternativa de tratamiento para la adsorción de metales en solución acuosa en cantidades traza, por su efectividad, disponibilidad y bajo costo.

## **Referencias:**

Abdel-Shafy H. I. and Mansour M. S. M., 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum* 25(1): 107–123.

Ahmad A., Rafatullah M., Sulaiman O., Ibrahim M. H., Chii Y. Y., and Siddique B. M., 2009. Removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood. *Desalination* 247(1-3): 636–646.

Ajmal M., Khan A. H., Ahmad S. and Ahmad A., 1998. Role of sawdust in the removal of copper (II) from industrial wastes. *Water Research* 32(10): 3085 – 3091.

Akar Sibel Tunali, Yilmazer Dilek, Celik Sema, Balk Yasemin Yetimoglu and Akar Tamer, 2015. Effective biodecolorization potential of surface modified lignocellulosic industrial waste biomass. *Chemical Engineering Journal* 259: 286–292.

Aksu Z., Tatlı A. İ. and Tunç Ö., 2008. A comparative adsorption/biosorption study of Acid Blue 161: Effect of temperature on equilibrium and kinetic parameters. *Chemical Engineering Journal* 142(1): 23–39.

Amarasinghe B. M. W. P. K. and Williams R.A., 2007. Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal* 132(1-3): 299-309.

Anwar J., Shafique U., Zaman W., Salman M., Dar A. and Anwar S., 2010. Removal of Pb (II) and Cd (II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology* 101(6): 1752–1755.

Argun M. E., Dursun S., Karatas M. and Metin G., 2008. Activation of pine cone using Fenton oxidation for Cd (II) and Pb (II) removal. *Bioresource Technology* 99(18): 8691–8698.

Argun M. E., Dursun S., Ozdemir C. and Karatas M., 2007. Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics. *Journal of Hazardous Materials* 141(1): 77–85.

Bulut Y. and Tez Z., 2007. Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption. *Journal of Environmental Sciences* 19(2): 160 – 166.

Castro R. S. D., Caetano L., Ferreira G., Padilha P. M., Saeki M.J., Zara L. F., *et al.*, 2011. Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water: Preconcentration of Metal Ions with a Fruit Waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 50(6): 3446–3451.

Daneshvar E., Vazirzadeh A., Niazi A., Sillanpää M. and Bhatnagar A., 2017. A comparative study of methylene blue biosorption using different modified brown, red and green macroalgae – Effect of pretreatment. *Chemical Engineering Journal* 307: 435–446.

Das D., Vimala R. and Das N., 2014. Biosorption of Zn (II) onto *Pleurotus platypus*: 5-Level Box–Behnken design, equilibrium, kinetic and regeneration studies. *Ecological Engineering* 64: 136–141.

De Gisi S., Lofrano G., Grassi M. and Notarnicola M., 2016. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies* 9: 10–40.

Debnath S., Ballav N., Maity A. and Pillay K., 2017. Competitive adsorption of ternary dye mixture using pine cone powder modified with  $\beta$ -cyclodextrin. *Journal of Molecular Liquids* 225: 679-688.

Djemoe L. G., Njanja T. E., Deussi Marcel C. N. and Tonle K. I., 2016. Assessment of copper (II) biosorption from aqueous solution by agricultural and industrial residues. *Comptes Rendus Chimie* 19(7): 841-849.

Fu F. and Wang Q., 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management* 92(3): 407- 418.

Gérente C., du Mesnil P. C., Andrès Y., Thibault J.F. and Le Cloirec P., 2000. Removal of metal ions from aqueous solution on low cost natural polysaccharides: Sorption mechanism approach. *Reactive and Functional Polymers* 46(2): 135-144.

Han R, Li H., Li Y. , Zhang J. , Xiao H. and Shi J., 2006. Biosorption of copper and lead ions by waste beer yeast. *Journal of hazardous materials* 137(3): 1569-1576.

Hegazi H. A., 2013. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. *HBRC Journal* 9(3): 276–282.

Henriques B., Rocha L. S., Lopes C. B., Figueira P., Monteiro R. J.R., Duarte A.C., *et al.*, 2015. Study on bioaccumulation and biosorption of mercury by living marine macroalgae: Prospecting for a new remediation biotechnology applied to saline waters. *Chemical Engineering Journal* 281: 759-770.

Huang K., Xiu Y. and Zhu H, 2015. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by crosslinked mangosteen peel biosorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology* 12(8): 2485-2492.

Jayakumar R., Rajasimman M. and Karthikeyan C., 2015. Optimization, equilibrium, kinetic, thermodynamic and desorption studies on the sorption of Cu (II) from an aqueous solution using marine green algae: *Halimeda gracilis*. *Ecotoxicology and environmental safety* 121: 199-210.

Kleinübing S.J., Da Silva E.A., Da Silva M.G.C. and Guibal E., 2011. Equilibrium of Cu (II) and Ni (II) biosorption by marine alga *Sargassum filipendula* in a dynamic system: Competitiveness and selectivity. *Bioresource technology* 102(7): 4610-4617.

Lakherwal D., 2014. Adsorption of heavy metals: a review. International journal of environmental research and development 4(1): 41-48.

Larous S., Meniai A.-H. and Lehocine M. B., 2005. Experimental study of the removal of copper from aqueous solutions by adsorption using sawdust. Desalination 185(1-3): 483-490.

Lodeiro P., Barriada J. L., Herrero R. and De Vicente M E Sastre, 2006. The marine macroalga *Cystoseira baccata* as biosorbent for Cadmium (II) and lead (II) removal: Kinetic and equilibrium studies. Environmental pollution 142(2): 264-273.

Martín-Lara M.A., Blazquez G., Ronda A. and Calero M., 2016. Kinetic study of the pyrolysis of pine cone shell through non-isothermal thermogravimetry: Effect of heavy metals incorporated by biosorption. Renewable Energy 96: 613-624.

Meena A. K., Kadirvelu K., Mishra G.K., Rajagopal C. and Nagar P.N., 2008. Adsorptive removal of heavy metals from aqueous solution by treated sawdust (*Acacia arabica*). Journal of hazardous materials 150(3): 604-611.

Meena A. K. , Kadirvelu K. , Mishraa G. K. , Rajagopal C. and Nagar P.N., 2008. Adsorption of Pb (II) and Cd (II) metal ions from aqueous solutions by mustard husk Journal of hazardous materials 150(3): 619-625.

Mehta D., Mazumdar S. and Singh S. K., 2015. Magnetic adsorbents for the treatment of water/wastewater—a review. Journal of Water Process Engineering 7: 244-265.

Mohan D. and Singh Kunwar P., 2002. Single- and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse an agricultural waste. Water research 36(9): 2304-2318.

Morosanu I., Teodosiu C., Paduraru C., Ibanescu D. and Tofan L., 2017. Biosorption of lead ions from aqueous effluents by rapeseed biomass. *New biotechnology* 39: 110-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2016.08.002>

Moubarik A. and Grimi N., 2015. Valorization of olive stone and sugar cane bagasse by-products as biosorbents for the removal of cadmium from aqueous solution. *Food Research International* 73: 169-175.

Nagy B., Manzatu C., Măicăneanu A., Indolean C., Barbu-Tudoran L. and Majdik C., 2017. Linear and nonlinear regression analysis for heavy metals removal using *Agaricus bisporus* Macrofungus. *Arabian Journal of Chemistry* 10: S3569-S3579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.004>

Ofomaja A.E., Naidoo E. B. and Modise S. J., 2010. Biosorption of copper (II) and lead (II) onto potassium hydroxide treated pine cone powder. *Journal of environmental management* 91(8): 1674-1685.

Ofomaja A.E., Unuabonah E.I. and Oladoja N.A., 2010. Competitive modeling for the biosorptive removal of copper and lead ions from aqueous solution by *Mansonia* wood sawdust. *Bioresource technology* 101(11): 3844-3852.

Okoro, I. A. and Okoro, S.O., 2011. Agricultural by-products as green chemistry absorbents for the removal and recovery of metal ions from wastewater environments. *Continental Journal of Water, Air and Soil Pollution* 2(1): 15-22.

Park D., Yun Y-S. and Park J. M., 2010. The Past, Present, and Future Trends of Biosorption. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 15(1): 86-102.

Pehlivan E., Cetin S. and Yanik B.H., 2006. Equilibrium studies for the sorption of zinc and copper from aqueous solutions using sugar beet pulp and fly ash. *Journal of hazardous materials* 135(1): 193-199.

Pehlivan E., Yanik B.H., Ahmetli G. and Pehlivan M., 2008. Equilibrium isotherm studies for the uptake of cadmium and lead ions onto sugar beet pulp. *Bioresource technology* 99(9): 3520-3527.

Qomi M. H., Eisazadeh H, Hosseini M. and Namaghi H. A., 2014. Manganese removal from aqueous media using polyaniline nanocomposite coated on wood sawdust. *Synthetic Metals* 194: 153-159.

Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R. and Ahmad A., 2009. Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust. *Journal of hazardous materials* 170(2): 969-977.

Saeed Asma. M. Waheed Akhter. and Muhammed Iqbal, 2005. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent. *Separation and purification technology* 45(1): 25-31.

Salazar-Rabago J.J. and Leyva-Ramos R., 2016. Novel biosorbent with high adsorption capacity prepared by chemical modification of white pine (*Pinus durangensis*) sawdust. Adsorption of Pb (II) from aqueous solutions. *Journal of Environmental Management* 169: 302-313.

Šćiban M., Radetić B., Žarko K. and Mile K., 2007. Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust. *Bioresource technology* 98 (2): 402-409.

Shanthi T. and Selvarajan V. M., 2013. Removal of Cr (VI) and Cu (II) Ions from Aqueous Solution by carbon prepared from Henna leaves. *Journal of Chemistry*.

Shukla S.R., Pai Roshan S. and Shendarkar Amit D., 2006. Adsorption of Ni (II), Zn (II) and Fe (II) on modified coir fibres. *Separation and purification technology* 47(3): 141-147.

Singh N., Kumari A. and Balomajumder C., 2016. Modeling studies on mono and binary component biosorption of phenol and cyanide from aqueous solution onto activated carbon derived from saw dust *Saudi Journal of Biological Sciences*.

Sud D., Mahajan G., and Kaur M. P., 2008. Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions—A review. *Bioresource technology* 99(14): 6017-6027.

Sulyman M., Namiesnik J. and Gierak A., 2017. Low-cost Adsorbents Derived from Agricultural By-products/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review. *Polish Journal of Environmental Studies* 26(2).

Taty-Costodes V. C., Fauduet Henri, P. C. and Delacroix A., 2003. Removal of Cd (II) and Pb (II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of hazardous materials* 105(1): 121-142.

Vázquez-Guerrero A., Alfaro-Cuevas-Villanueva R., Rutiaga-Quiñones J. G. and Cortés-Martínez R., 2016. Fluoride removal by aluminum-modified pine sawdust: Effect of competitive ions. *Ecological Engineering* 94: 365-379.

Yan-bing H., Dao-You H., Qi-Hong Z., Shuai W., Shou-Long L., Hai-Bo H., *et al.*, 2017. A three-season field study on the in-situ remediation of Cd-contaminated paddy soil using lime, two industrial by-products, and a low-Cd accumulation rice cultivar. *Ecotoxicology and environmental safety* 136: 135-141.

Yu Bin, Z. Y., Shukla A., Shukla Shyam S. and Dorris Kenneth L., 2001. The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption—removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials* 84(1): 83-94.

Zaini Muhammad A. A., Amano Y. and Machida M., 2010. Adsorption of heavy metals onto activated carbons derived from polyacrylonitrile fiber. *Journal of hazardous materials* 180(1): 552-560.

Zeraatkar Amin K., Ahmadzadeh H., Talebi Ahmad F., Moheimani Navid R. and McHenry Mark P., 2016. Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. *Journal of environmental management* 181: 817-831.