



Ingeniería

ISSN: 1665-529X

emoreno@uady.mx

Universidad Autónoma de Yucatán

México

Cardona Gutiérrez, Anahí Fernanda; Cabañas Vargas, Dulce Diana; Zepeda Pedreguera, Alejandro  
Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb  
(II) y Zn (II)

Ingeniería, vol. 17, núm. 1, enero-abril, 2013, pp. 1-9

Universidad Autónoma de Yucatán

Mérida, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)

Anahí Fernanda Cardona Gutiérrez<sup>1</sup>, Dulce Diana Cabañas Vargas<sup>2</sup> Alejandro Zepeda Pedreguera<sup>3</sup>

Fecha de recepción: 12 agosto de 2012 – Fecha de aprobación: 12 de febrero de 2013

## RESUMEN

En el presente trabajo se investigó la biosorción de Pb (II) y Zn (II) por biomasa de cáscara de naranjas secas, trituradas, con y sin tratamiento de reticulación (con  $\text{CaCl}_2$ ). El objetivo general fue evaluar la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados y el porcentaje de remoción de dichos metales. Se variaron 7 parámetros fisicoquímicos (pH, tamaño de partícula de la biomasa, concentración del contaminante –metal-, cantidad de la biomasa, temperatura, tiempo de contacto y tipo de tratamiento) asignando dos valores cada uno: alto y bajo. Como resultado de las variaciones de los parámetros y del uso de dos variaciones en las características de la biomasa se generaron 8 experimentos diferentes. A una parte de la biomasa se le realizó un tratamiento de reticulación (con  $\text{CaCl}_2$  a 0.2 M), para producirle una mayor estabilidad mecánica. De los 8 experimentos, se encontró que para el Pb (II) el experimento 4 (pH=5, tamaño de partícula=0.4mm, concentración del metal=80ppm, cantidad de cáscaras de naranja=0.5g, tiempo de contacto=2h,  $T=50^0\text{C}$ , biomasa con reticulación) mostró el mejor porcentaje de remoción (99.5 %) con capacidad de remoción de 9.39 mg de Pb (II) / g de cáscara de naranja. El mejor porcentaje de remoción de Zn (II) fue 99.5% y se obtuvo en el experimento 3 (pH=5, tamaño de partícula=0.48mm, concentración de metal=100ppm, cantidad de cáscara de naranja=0.5g, tiempo de contacto=4h,  $T=25^0\text{C}$  y biomasa sin reticulación), cuya capacidad de remoción fue de 9.95 mg de Zn (II)/ g de cáscara de naranja.

**Palabras clave:** biosorción, biomasa, reticulación, remoción, capacidad de biosorción.

## Evaluation of the power of orange peel biosorbent for the removal of heavy metals, Pb (II) and Zn (II)

## ABSTRACT

The present work describe the biosorption of Pb (II) and Zn (II) by dry orange peel crushed, with and without crosslinking treatment ( $\text{CaCl}_2$ ) used as a biomass,. The overall objective of this project was to evaluate the biosorption capacity of orange peel for the removal of heavy metals and the removal percentage of these metals. This work was carried out by varying 7 physicochemical parameters at two levels one high and one low (pH, particle size of the biomass, concentration of the contaminant (metal), amount of biomass, temperature, contact time and type of treatment) for each metal. A portion of the biomass was treated with calcium chloride 0.2 M. The treatment gave greater mechanical stability at the bioadsorbent material (orange peels). From the 8 experiments with Pb (II), experiment 4 gave the best results for removal percentage (99.5%) which was conducted at a pH approximately 4.99, the particle size of 0.48 mm and type of treatment 2 (with crosslinking), the highest removal capacity was 9.39 mg of Pb (II) / g of orange peel. Similarly, the best percentage of removal of Zn (II) 99.5% was obtained with an approximate pH of 4.95, the particle size of 0.48 mm and no crosslinking treatment, for the experiment 3, the removal capacity was 9.95 mg Zn (II) / g of orange peel.

**Keywords:** biosorption, biomass, crosslinking, removal, biosorption.

<sup>1</sup>Estudiante de Química Industrial de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán.

<sup>2</sup>Profesora Investigadora de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán. Correo electrónico: cvargas@uady.mx

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería Química, periférico norte kilómetro 33.5. Tablaje Catastral 13615, Chuburná de Hidalgo Inn. CP. 97203. Mérida, Yucatán, México. Tel. +52 (999) 9460956 ext. 1182

**Nota:** El período de discusión está abierto hasta el 1º de noviembre de 2013. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 17, No. 1, 2013, ISSN 1665-529-X.

## **INTRODUCCIÓN**

La creciente preocupación por la contaminación ambiental, ha dado como resultado un aumento en la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta. Como resultado, la introducción de tecnologías limpias en los procesos industriales se ha logrado disminuir las descargas de sustancias contaminantes al medio ambiente. A pesar de esto, en la mayoría de empresas todavía se generan aguas residuales con concentraciones bajas de sustancias contaminantes.

Dentro de los efluentes líquidos industriales, uno de los contaminantes que afectan más al medio ambiente es el de los metales pesados. Éstos están considerados como uno de los grupos más peligrosos debido a su baja biodegradabilidad, su alta toxicidad a baja concentraciones y su capacidad para acumularse en diferentes organismos. (Villanueva, 2007).

La procedencia de los metales pesados encontrados en aguas residuales es variada, asociándose las fuentes de contaminación a pequeñas industrias establecidas en zonas urbanas o en polígonos industriales carentes de plantas de tratamiento, a talleres de automóviles, al pequeño y mediano comercio, a grandes infraestructuras como puertos y aeropuertos, a grandes áreas comerciales, a la limpieza de calles o a las tipo propiamente doméstico.

A parte de daños ambientales, si estos metales se descargan directamente al sistema de alcantarillado por encima de ciertas concentraciones, también pueden dañar seriamente la operación de tratamiento biológico (Vargas, 2009).

El plomo y zinc son metales pesados, cuyas principales actividades que involucran su contaminación son la minería y la industria.

La mayor aplicación del plomo es en la fabricación de acumuladores eléctricos y baterías de automóviles. Otras aplicaciones importantes son elementos de construcción, fabricación de forros para cables, pigmentos, soldadura suave, municiones, plomadas para pesca y también en la fabricación de soldaditos y otros juguetes (Martín, 2008).

La principal aplicación del zinc es el galvanizado del acero para protegerlo de la corrosión. Otros usos que tiene son en baterías de Zn-AgO usadas en la industria aeroespacial para misiles y cápsulas espaciales y baterías zinc-aire para baterías de computadoras portátiles. En la fabricación de pinturas al óleo, para fabricar el color blanco de zinc, utilizado para crear transparencias en la pintura.

Para Yucatán, un estado con suelos cársticos, en donde se produce una gran filtración hacia los mantos freáticos, el peligro ambiental es mayor (Bautista, *et al.* 2007); y siendo las industrias de automóviles (talleres de automóviles y metal mecánica), industrias curtidoras y empresas de galvanización importantes, el desarrollar tecnologías que ayuden a los procesos de tratamientos de aguas de estos sectores industriales impactará de forma positiva a los cuerpos receptores de agua.

Entre los procesos comúnmente utilizados para tratar efluentes con metales pesados se encuentran: carbón activado, intercambio iónico, extracción con solventes, micro/nano/ultrafiltración, osmosis inversa y flotación no convencional. Algunos de estos procesos pueden llegar a ser costosos, implicando altos costos de operación y requerimientos energéticos, lo que ocasiona que los micro y pequeños empresarios no tengan acceso a ellos y generalmente opten por verter sus aguas a fosas sépticas comunes o incluso a pozos profundos (Villanueva, 2007).

El interés en la investigación del uso de materiales naturales o residuales como adsorbentes ha aumentado, tanto en materiales orgánicos como en inorgánicos, que son abundantes y tienen bajo o nulo costo (Volesky *et al.*, 1995).

La biosorción es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones (Muñoz, 2007).

Este término es utilizado mayormente en la relación de la captación de metales que lleva a cabo una biomasa viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Este proceso involucra una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente agua) que contiene las especies disueltas que van a ser sorbidas (sorbato, como por ejemplo los iones metálicos) (Cañizares, 2000).

La biosorción ocurre cuando los cationes de los metales se unen por interacciones electrostáticas a los sitios aniónicos que se encuentran en los biosorbentes. Estos sitios que sirven como centros activos para la biosorción se encuentran ubicados en los grupos de los carboxilo, hidroxilo, amino, sulfónico, que forman parte de la estructura de la mayoría de los polímeros de origen natural (Tapia, 2002).

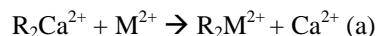
Los biosorbentes son materiales naturales disponibles en grandes cantidades, o ciertos productos residuales de operaciones industriales o agrícolas, que pueden ser utilizados con el fin de la captura de

contaminantes, debido a su bajo costo (Vargas, 2010). Algunos de los sólidos que han sido empleados son: cortezas y hojas de coníferas, cáscaras de arroz, nuez, cacahuate, cáscara de naranja, cáscara de plátano (Annadurai *et al.*, 2002), cáscaras de toronja (Hameed *et al.*, 2008), algas, hongos, nopal, huesos de aceituna, etc. (Gupta *et al.*, 2009).

Las paredes celulares de los materiales bioadsorbentes contienen polisacáridos, proteínas y lípidos, y, por tanto, numerosos grupos funcionales capaces de enlazar metales pesados en la superficie de estos. Entre los grupos funcionales presentes se pueden mencionar los grupos amino, carboxílico, hidroxílico, fosfato y tiol que difieren en su afinidad y especificidad respecto a la susceptibilidad para unirse a los diferentes iones metálicos (Ghimire *et al.*, 2003).

La cáscara de naranja es una muy buena fuente de pectina la cual también se encuentra en frutas y vegetales, estas fuentes provienen principalmente de la industria de extracción de jugos y zumos.

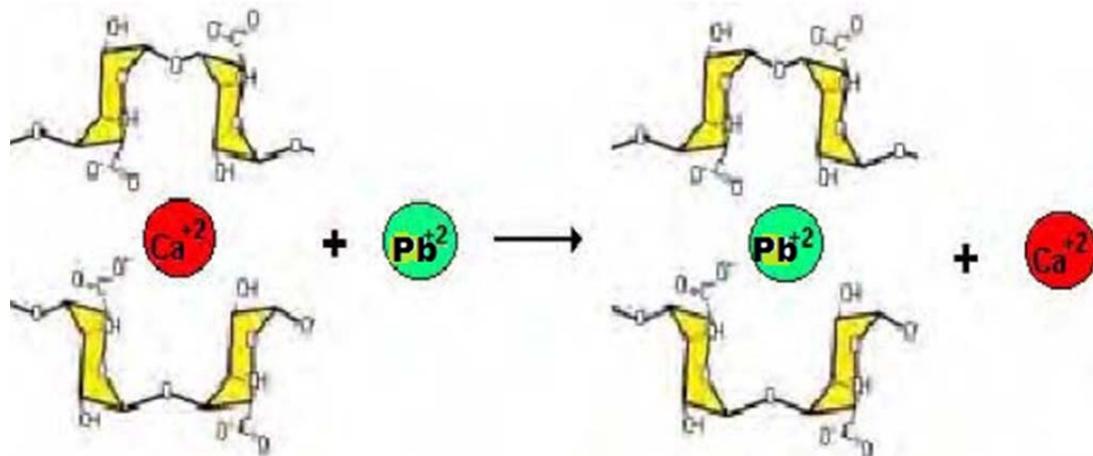
Las pectinas al ser tratadas con  $\text{Ca}^{2+}$ , este ión se une a la cadena poligalacturónica. La remoción de metales por pectina tratada se da básicamente por un fenómeno de intercambio iónico entre el  $\text{Ca}^{2+}$  y los iones metálicos en solución hasta lograr un equilibrio. De esta forma el  $\text{Ca}^{2+}$  unido a las cadenas poligalacturónicas es desplazado por el ion metálico hasta alcanzar las concentraciones de equilibrio en ambas fases. Los grupos intercambiadores iónicos son los grupos carboxilo la ecuación (a) describe este proceso de intercambio iónico metal/calcio (Muñoz, 2007).



En la Figura 1 se muestra la remoción del Pb (II) por cáscaras de naranja tratadas con  $\text{Ca}^{2+}$ .

Las cáscaras de naranja han sido utilizadas por diversos autores para la biosorción de metales pesados. Pinzón (2005) realizó un estudio de caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material biosorbente, en el cual concluyó que las cáscaras de naranja en las condiciones de reducción y clasificación por tamaños establecidos, puede ser utilizada como material adsorbente para la eliminación de metales como por ejemplo el Cr (III) presente en disolución acuosa.

Muñoz (2007) estudió la remoción del Pb (II) donde reportó que a pH 5, 0.2 g de cáscara de naranja (biosorbente) con tratamiento de reticulación y 50 ml de Pb (II) se obtuvo una biosorción de Pb (II) de 141.50 mg/g; de igual manera Villanueva (2007) obtuvo una capacidad máxima de biosorción de Cu (II) 36.10 mg/g a un pH 4.86 con 0.5 g de biomasa (cáscara de naranja) tratada con  $\text{CaCl}_2$ . Montero (2007), utilizó cáscaras de naranja previamente secas para la elaboración y evaluación de un sistema continuo para la remoción de Cr (VI) en soluciones acuosas, construyendo una columna de 16 cm con 4 g de biosorbente seco y 250 ml de Cr (VI). Obtuvo una capacidad máxima de biosorción de 6.188 mg/g, aproximadamente un 97.07% de remoción. Rozas (2008), utilizó chacay como carbón activado cubierto con quitosan para la remoción de Cr (VI), obteniendo un 94.83% de remoción a un pH 7 con 25 mg de biosorbente.



**Figura 1.** Modelo de intercambio iónico entre el Ca (II) ligado a las cadenas poligalacturónicas y el Pb (II) en solución (Fuente: Villanueva 2007).

Soto (2009) obtuvo 91 mg/g de capacidad máxima de biosorción de Cu (II) por albedo de la cáscara de naranja con tratamiento de reticulación, utilizando un pH 5, 0.25 g/l de biosorbente, un tamaño de partícula entre 250-500  $\mu\text{m}$  y una concentración de 20 a 100 mg/l de Cu (II).

Todo lo mencionado anteriormente muestra que la cáscara de naranja puede utilizarse como biosorbente de metales pesados. Los residuos de la naranja son abundantes en el estado de Yucatán, ya que la naranja ocupa el segundo lugar en producción en el Estado (INEGI, 2008).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad biosorbente de cáscaras de naranjas secas, trituradas y con reticulación, para la eliminación de metales pesados en un medio acuoso. Analizando el impacto de las variables fisicoquímicas (pH, tamaño de la partícula, concentración de cáscaras de naranja, tiempo de contacto y temperatura), el impacto de la concentración del contaminante y el impacto del tipo de tratamiento final en la capacidad biosorbente de las cáscaras de naranja. Todo lo anterior para evaluar el porcentaje de remoción de Pb (II) y Zn (II) por medio de biosorción por cáscara de naranja.

## **MATERIALES Y METODOS**

**Procesamiento del material biosorbente:** Se utilizaron cáscaras de naranja dulce obtenidas de una microempresa juguera de la ciudad de Mérida. Las cáscaras fueron sometidas a dos tipos de tratamiento.

**Tratamiento 1:** Las cáscaras de naranja fueron cortadas en fracciones de aproximadamente 5 cm, y posteriormente lavadas con abundante agua para eliminar la presencia de compuestos indeseables como azúcares, suciedad y elementos solubles en agua. Posteriormente se secaron durante 24 horas en un horno de laboratorio a 60°C, con el fin de eliminar la humedad. Las cáscaras ya secas fueron trituradas y cribadas con un tamiz formado por una malla #40 (4 mm de diámetro de poro) en la parte superior y una malla #18 (1 mm de diámetro de poro) en la parte inferior.

**Tratamiento 2:** Se realizaron los pasos del tratamiento con excepción del cribado. Posteriormente se realizó el proceso de desmetoxilación, para este fin se mezclaron 30 gramos de la biomasa (cáscara de naranja) en 500 ml de una solución de NaOH 0.2 M, la mezcla fue sometida a agitación constante durante 2 horas, seguidas de un período de reposo. Luego se procedió a filtrarla haciendo lavados sucesivos con agua desionizada para eliminar el exceso de NaOH. Posteriormente se secó en una estufa a una

temperatura de 40°C durante 2 horas.

**Reticulación de la cáscara:** A 20 gramos de cáscara desmetoxilada se le agregaron 500 ml de una solución de  $\text{CaCl}_2$  0.2 M, ajustando a un pH 5 ( $\text{HCl}$  0.1M). La mezcla se mantuvo en agitación constante a 200 rpm por 24 horas usando para ello un agitador magnético. Este proceso permitió entrecruzar el polímero, producir la formación de mallas tridimensionales en la parte interna para así aumentar la estabilidad mecánica del material. Despues de la agitación, la mezcla se lavó varias veces con agua desionizada con el fin de eliminar el exceso de calcio. A continuación se filtró y secaró en una estufa a 60°C durante 6 horas. Por último, el material resultante se cribó de la misma forma que el material del tratamiento 1.

**Preparación de la solución de metal:** Las soluciones acuosas con metales se prepararon disolviendo por separado ( $\text{PbNO}_3$ ) y ( $\text{ZnCl}_2$ ) en agua desionizada a diferentes concentraciones 80 y 100 mg/l.

## **Condiciones instrumentales para el análisis de Pb (II) por absorción atómica:**

Lámpara	Cátodo Hueco de Plomo
Longitud de onda	217 nm
Combustible	Acetileno
Oxidante	Aire
Solución de chequeo	9 mg/L
Rango lineal	0.1 – 20 mg/L
Límite de detección	0.1 mg/L

Se obtuvo:

- Coeficiente de correlación = 0.9994
- Pendiente = 0.0135

## **Condiciones instrumentales para el análisis de Zn (II) por absorción atómica:**

Lámpara	Intercambio de electrones para Zn
Longitud de onda	213.9 nm
Combustible	Acetileno
Oxidante	Aire
Solución de chequeo	1 mg/L
Rango lineal	0.1 – 1 mg/L
Límite de detección	0.1 mg/L

Se obtuvo:

- Coeficiente de correlación = 0.9994
- Pendiente = 0.1897

**Experimentos.** Se realizaron 8 muestras por duplicado para cada metal dando un total de 32 muestras, cada muestra en un matraz Erlenmeyer con las condiciones que se establecen en el diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue el diseño factorial de Youden y Steiner, el cual permite que con 8 repeticiones se puedan variar 7 factores a

dos diferentes niveles uno alto y uno bajo. La matriz del diseño fue la siguiente:

Parámetros o variables	Experimentos (muestras)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>pH</b>	5	5	5	5	1.5	1.5	1.5	1.5
<b>Tamaño de partícula (mm)</b>	1	1	0.4	0.4	1	1	0.4	0.4
<b>Concentración del metal (ppm)</b>	100	80	100	80	100	80	100	80
<b>Cantidad de cáscaras de naranja(g)</b>	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
<b>Tiempo de contacto (h)</b>	4	2	4	2	2	4	2	4
<b>Temperatura (°C)</b>	50	25	25	50	50	25	25	50
<b>Tratamiento</b>	2	1	1	2	1	2	2	1
<b>Absorbancia</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	<b>Y<sub>4</sub></b>	<b>Y<sub>5</sub></b>	<b>Y<sub>6</sub></b>	<b>Y<sub>7</sub></b>	<b>Y<sub>8</sub></b>

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Efectos de las variables en la biosorción de Pb (II) en cáscaras de naranja:

En el cuadro 1 se presentan las absorbancias obtenidas para los 8 experimentos realizados para la remoción de Pb (II). Los experimentos que obtuvieron una menor absorbancia fueron el 4 y 7, lo que indica que en ellos se encuentran presentes bajas concentraciones de Pb (II). Estas absorbancias, fueron utilizadas para realizar cálculos (cuadro 2) y determinar cuál de las variables representó un efecto significativo en el proceso de biosorción de Pb (II). En base a lo establecido por el método de análisis del diseño factorial de Youden y Stainer, cuanto mayor sea la diferencia encontrada en una variable, mayor influencia tendrá en el método analítico (Zagal y Sadzawka, 2007).

Se puede observar que la variable que representa mayor diferencia es el tipo de tratamiento (cuadro 2), por lo tanto el tipo de tratamiento aplicado a las cáscaras de naranja influye notoriamente en el proceso de remoción de Pb (II).

Por otra parte, se observa que para esta metodología, la diferencia obtenida de pH es mínima, por lo que no representa un efecto en la biosorción de Pb (II), esto no concuerda con lo expresado por Muñoz (2007), que establece que el pH es un factor importante en el proceso de biosorción de Pb (II) ya que la pared celular de la cáscara de naranja contiene una cadena de grupos funcionales, ácidos débiles, principalmente grupos carboxílicos. Esto implica que el tipo y estado iónico de los grupos funcionales de la pared celular determinan la magnitud de adsorción.

**Cuadro 1.** Absorbancias obtenidas de Pb (II) por medio del diseño factorial parcial de Youden y Stainer.

	Experimentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>pH</b>	4.89	4.97	4.88	4.99	2.05	2.08	2.08	2.09
<b>Tamaño de partícula (mm)</b>	1	1	0.48	0.48	1	1	0.48	0.48
<b>Concentración de Pb (ppm)</b>	100	80	100	80	100	80	100	80
<b>Cantidad de cáscaras de naranja (g)</b>	1.0004	1.0002	0.5009	0.5008	0.5003	0.5008	1.0005	1.0009
<b>Tiempo (h)</b>	4	2	4	2	2	4	2	4
<b>Temperatura (°C)</b>	50	25	25	50	50	25	25	50
<b>Tratamiento *</b>	2	1	1	2	1	2	2	1
<b>Absorbancia (A)</b>	<b>0.034</b>	<b>0.115</b>	<b>0.079</b>	<b>0.005</b>	<b>0.124</b>	<b>0.007</b>	<b>0.003</b>	<b>0.068</b>

\*Tratamiento 2 con reticulación, tratamiento 1 sin reticulación

**Cuadro 2.** Resultados del análisis de datos del método Youden Steiner para el Pb (II).

Variables	Diferencias	Diferencias <sup>2</sup>
pH	0.00775	6.0063E-05
Tamaño de partícula	0.03125	0.00097656
Concentración de Pb	0.01125	0.00012656
Cantidad de cáscaras de naranja	0.00125	1.5625E-06
Tiempo	-0.01475	0.00021756
Temperatura	0.00675	4.5563E-05
Tratamiento	-0.08425	<b>0.00709806</b>
	<b>Σ Diferencias<sup>2</sup></b>	0.00852594
	<b>Desviación estándar del método</b>	0.04935557

La biosorción depende de la protonación o desprotonación de estos grupos carboxílicos. A bajos valores de pH los ligandos de las paredes celulares estarían asociados con los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) que restringen el acceso a los ligandos de los iones metálicos como resultado de fuerzas repulsivas, esta repulsión es fuerte a bajos valores de pH. Cuando el pH se incrementa, más grupos funcionales están disociados y se convierten en provechosos iones Pb (II) y enlazantes, esto debido a que hay menos competencia de iones hidrógeno en la solución.

Uno de los principales factores que pudieron alterar la capacidad de remoción con respecto al pH fue que se utilizaron diferentes soluciones y concentraciones ya preparadas por diferentes personas, tanto de NaOH como de HCl para ajustar el pH de los experimentos. De igual manera se observó la formación de pequeñas cantidades de precipitado de AgCl al momento de ajustar el pH, que posteriormente se disolvieron al estar en constante agitación.

En el cuadro 3, se observan la concentración final, el porcentaje de remoción de Pb (II) y la capacidad de remoción de las cáscaras de naranja en los 8 experimentos realizados.

Los experimentos 4 y 7 mostraron un mayor porcentaje de remoción de Pb (II) (Cuadro 3), lo cual es congruente con las bajas absorbancias que presentaron. Ambos experimentos fueron realizados con el tipo de tratamiento 2 que consistió en la

reticulación de las cáscaras de naranja, por lo consiguiente es adecuado ya que implica la desprotonación de los grupos carboxílicos de las cáscaras y hacen que aumenten sus grupos activos, por lo tanto retienen más los iones metálicos.

Por otra parte, el experimento 7 presenta el mayor porcentaje de remoción de Pb (II), aunque fue preparado con un pH aproximadamente de 2, lo cual no es congruente con la teoría, ya que los iones hidronio son fuertes competidores de los iones metálicos. Por lo tanto el experimento 4 que representa el segundo % de remoción de Pb (II) más alto (99.5%), cuyo pH es de 4.99 y tipo de tratamiento 2, hacen que sea el experimento más apropiado para la remoción de Pb (II).

En cuanto a la capacidad que tienen las cáscaras de naranja para la remoción de Pb (II) se obtuvo la mayor capacidad para el experimento 3(9.394 mg Pb (II)/ g de cáscara de naranja). Este experimento fue realizado con pH aproximado de 4.9 y tamaño de partícula de .48 mm, que hacen que sea adecuado el resultado debido a que a mayor superficie de contacto y mayor tiempo de contacto (4 h) aumente la capacidad adsorbente de la cáscara de naranja. Sin embargo no es congruente con el tipo de tratamiento utilizado, ya que se esperaba que la mayor capacidad de biosorción se diera en los experimentos realizados con el tratamiento de desmetoxilación y reticulación.

**Cuadro 3.** Porcentaje de remoción de Pb (II) y capacidad de remoción de cáscaras de naranja.

Experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración inicial (ppm)	100	80	100	80	100	80	100	80
Concentración final (ppm)	2.548	8.548	5.881	0.4	9.215	0.548	0.252	5.066
% remoción de Pb (II)	97.45	89.31	94.12	99.5	90.78	99.31	99.75	93.66
Capacidad de remoción (mg/g)	4.870	3.571	9.394	7.947	9.073	7.932	4.984	3.743

**Cuadro 4.** Absorbancias obtenidas de Zn (II) por medio del diseño factorial parcial de Youden y Stainer.

	Experimentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>pH</b>	4.97	4.95	4.98	4.95	2.38	2.39	2.37	2.36
<b>Tamaño de partícula (mm)</b>	1	1	0.48	0.48	1	1	0.48	0.48
<b>Concentración de Zn (ppm)</b>	100	80	100	80	100	80	100	80
<b>Cantidad de cáscaras de naranja (g)</b>	1.0005	1.0008	0.5003	0.5008	0.5009	0.5003	1.0009	1.0011
<b>Tiempo (h)</b>	4	2	4	2	2	4	2	4
<b>Temperatura (°C)</b>	50	25	25	50	50	25	25	50
<b>Tratamiento*</b>	2	1	1	2	1	2	2	1
<b>Absorbancia</b>	<b>0.117</b>	<b>0.071</b>	<b>0.018</b>	<b>0.053</b>	<b>0.129</b>	<b>0.086</b>	<b>0.133</b>	<b>0.189</b>

\*Tratamiento 2 con reticulación y tratamiento 1 sin reticulación

**Efectos de las variables en la biosorción de Zn (II) en cáscaras de naranja:**

En el caso del Zn (II), los experimentos que presentaron una menor absorbancia fueron el 3 y el 4 (Cuadro 4), lo cual nos indica que son los que contienen menor concentración de Zn (II) después de los tratamientos realizados.

Esto es congruente con los resultados obtenidos en el cuadro 5, ya que se observa que los experimentos 3 y 4 presentaron un mayor porcentaje de remoción de Zn (II). Para estos experimentos se utilizó un pH aproximado de 4.9, lo que es congruente con la teoría antes establecida sobre la importancia del pH en el proceso de biosorción de iones metálicos. En este experimento se confirma lo establecido en la teoría con respecto al efecto del pH en el proceso de remoción de metales pesados.

Los experimentos 3 y 4 presentaron las mayores capacidades de remoción (Cuadro 5). Ambos experimentos se realizaron con pH aproximado de 4.9, el tamaño de partícula de 0.48 mm y la concentración de la cáscara de naranja. De lo anterior puede afirmarse que éstas son las variables que influyen en el proceso de biosorción de Zn (II). Con respecto al tamaño de partícula y concentración de cáscaras de naranja, los resultados coinciden con lo

establecido en la literatura, que a mayor superficie de contacto mayor será el proceso adsorbente, en este caso el proceso de bioadsorción,

El tipo de tratamiento en estos experimentos no representó grandes diferencias de % de remoción de Zn (II), sin embargo, se esperaba que para el tratamiento 2 (reticulación de cáscaras de naranja) hubiera presentando un mayor % de remoción, esto pudo deberse a que las cáscaras reticuladas pasaron mucho tiempo almacenadas y se fueron degradando con agentes externos como por ejemplo la humedad o incluso contaminándose con algún elemento presente en el ambiente del área de almacenamiento.

Con respecto al análisis de datos establecido para el diseño factorial parcial de Youden y Stainer (cuadro 6) se observa que ninguna variable excede los 1.4 veces la desviación estándar del método general, esto quiere decir que no presenta robustez (capacidad del método para permanecer inalterado por pequeños pero deliberados cambios en sus parámetros).

La variable de temperatura para ambos procesos de biosorción Pb (II) y Zn (II) no representó diferencias significativas en los experimentos, esto se puede deber a que ambas temperaturas caen en el rango apropiado para el fenómeno de biosorción que establece la literatura (10 a 70 °C) (Volesky, 2004).

**Cuadro 5.** Porcentaje de remoción de Zn (II) y capacidad de remoción de cáscaras de naranja.

Experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Concentración inicial (ppm)</b>	100	80	100	80	100	80	100	80
<b>Concentración final (ppm)</b>	3.150	1.9116	0.484	1.427	3.473	2.315	3.581	5.088
<b>% remoción de Zn (II)</b>	96.84	97.61	99.51	98.21	96.52	97.10	96.41	93.63
<b>Capacidad de remoción (mg/g)</b>	4.840	3.901	9.945	7.844	9.635	7.763	4.816	3.741

**Cuadro 6.** Resultados del análisis de datos del método Youden Steiner para el Zn (II)

Variables	Diferencias	Diferencias <sup>2</sup>
pH	-0.0695	0.00483025
Tamaño de partícula	0.0025	6.25E-06
Concentración de Zn	-0.0005	0.00000025
Coantidad de cáscaras de naranja	0.056	0.003136
Tiempo	0.006	3.6E-05
Temperatura	0.045	0.002025
Tratamiento	-0.0045	0.00002025
<b>Σ Diferencias<sup>2</sup></b>		0.010054
<b>Desviación estándar del método</b>		0.05359638

## CONCLUSIONES

El tamaño de la partícula con mayor rendimiento tanto para la remoción de Pb (II) y Zn (II) fue el de aproximadamente 0.48 mm.

El tipo de tratamiento que favoreció el mayor porcentaje de remoción y la mejor capacidad de biosorción para el Pb (II) fue el tratamiento 2 (reticulación de la cáscara de naranja).

El mayor porcentaje de remoción de Pb (II) fue 99.5 % y recae en el experimento 4 y la mejor capacidad de remoción fue de 9.39 mg de Pb (II)/ g de cáscara de naranja y recae en el experimento 3.

Se alcanzó un porcentaje de remoción de Zn (II) de 99.5 % y la mejor capacidad de remoción fue de 9.94

mg de Zn (II)/ g de cáscara de naranja, ambos en el experimento 3.

El pH más apropiado para obtener el mayor rendimiento de remoción de Pb (II) y Zn (II) fue de 4.99.

## RECOMENDACIONES

- Realizar Isotermas de adsorción
- Utilizar otros métodos de reticulación.
- Buscar otras fuentes biológicas de Pectinas (Limón, Toronja, etc.) para comparar los resultados.
- Estudiar el proceso de desorción de las cáscaras de naranja.

## REFERENCIAS

- Annadurai, G., Juan, R. S., Lee, D. J. (2002). Use of cellulose-bases wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. Journal hazardous Materials. Pp. 263-274.
- Cañizares Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de la biomasa bacteriana. Revista Latinoamericana de Microbiología, Vol. 42 pp 131-143.
- Ghimire, K., et al. (2003). Adsorptive separation of arsenate and arsenite anions from aqueous medium by using orange waste. Water Research, Vol. 37 pp. 4945-4953.
- Gupta, V. K., Suhas. (2009). Application of low cost adsorbents for dye removal. Journal of environmental management, Vol. 90 pp. 2313-2342.
- Hameed, B. H., Mahmoud, D. K., Ahmad, A. L. (2008). Sorption of basic dye from aqueous solutions by pomelo (*Citrus grandis*) peel in a batch system. Colloids and surfaces A: Physicochem Eng. Aspects, Vol. 316 pp 78-84.
- INEGI (2008). Anuario Estadístico de Yucatán.
- Martín A. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Ingeniería Química. España.

Montero, I. (2007). Cuantificación de Cr (VI), Cr (III) y Cr total, en un estudio de biosorción utilizando cáscara de naranja. Tesis de Licenciatura de Química. México.

Muñoz, J. C. (2007). Biosorción de Plomo (II) por cáscara de naranja “*citrus cinecis*” pretratada. Tesis de licenciatura de Químico. Universidad Nacional del Mayor de San Marcos, Facultad de química e ingeniería química, Lima-Perú.

Pinzón, M.L. (2005). Eliminación de Cadmio, Cinc y Cromo de efluentes líquidos por biosorción mediante *Posidonia Oceánica*. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación en Tecnología del Agua. Universidad de Murcia, España.

Tapia, N. (2002). Adsorción y Biosorción, mecanismo y principales modelos para describir el fenómeno de biosorción. Proyecto Palma PUCP, 3,5 y 6 de Agosto 2002, pp. 35-50.

Vargas, M. (2010). Escalamiento de la biosorción de un colorante tipo azo en medio acuoso utilizando cáscaras de naranja. Tesis de licenciatura de Ing. Quím. Ind. FIQ-UADY. Mérida.

Vargas, M., et al. (2009). Evaluación del proceso de biosorción con cáscara de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanasol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. Ingeniería. Revista Académica de la FI-UADY, Vol. 13 N. 3 pp. 39-43.

Villanueva, C., (2007). Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de *citrus sinesis* (Naranja), *citrus limonium* (limón) y *opuntia ficus* (plameta de nopal). Tesis de licenciatura de Químico. . Universidad Nacional del Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima-Perú.

Volesky, B y Holan, Z. (1995). Biosorption of heavy metals. Review Biotechnology Progress. Vol. 11 N. 3 pp. 235-250.

Zagal E. y Sadzawka A. (2007). Implementación del sistema para la evaluación de los métodos de análisis y mediciones de laboratorio en suelos y lodos. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía Chillán. Chile.