

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Estudio de bioabsorbentes para la remoción de plomo en tratamientos de aguas

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico
de Bachiller en Ingeniería Ambiental

Por:

Dina Yovana Nina Ancalla

Katia Doris Huanca Choquejahu

Asesor:

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, agosto de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

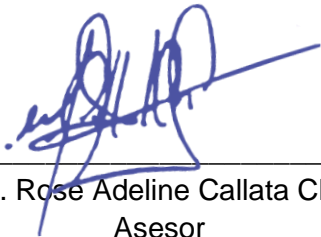
Yo Rose Adeline Callata Chura, de la Facultad de y Arquitectura, Escuela Profesional Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “ESTUDIO DE BIOABSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN TRATAMIENTOS DE AGUAS” constituye la memoria que presenta las estudiantes Dina Yovana Nina Ancalla y Katia Doris Huanca Choquejahu para aspirar al grado académico de bachiller en Ingeniería Ambiental, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 07 días del mes de agosto del año 2020.



MSc. Rose Adeline Callata Chura
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chulunquani, a 07 día(s) del mes de agosto del año 2020 siendo las 10:30 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del

presidente(a): *Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera*

secretario(a): *Ing. Verónica Haydee Pari Mamani* y los demás miembros

Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez

y el(la) asesor(a) *Msc. Rose Celdeline Gallata Chura*

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: *Estudio de bioabsorbentes para la remoción de plomo en tratamientos de agua*

de los (las) egresados (as): a) *Dina Yovana Nina Ceballos*

b) *Katia Doris Huanca Choquejahuá*

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por los candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): *Dina Yovana Nina Ceballos*

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<i>aprobado</i>	<i>14</i>	<i>C</i>	<i>aceptable</i>	<i>Buena</i>

Candidato/a (b): *Katia Doris Huanca Choquejahuá*

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<i>Aprobado</i>	<i>14</i>	<i>C</i>	<i>aceptable</i>	<i>Buena</i>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

[Firma]
Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Estudio de bioabsorbentes para la remoción de plomo en tratamientos de aguas

Study of bioabsorbents for the removal of lead in water treatments

Dina Yovana Nina Ancalla^a, Katia Doris Huanca Choquejahu^a, Rose Adeline Callata Chura^a

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El plomo es un metal altamente tóxico que afecta negativamente a la calidad de agua alterando la vida acuática y la salud humana mediante el ingreso a la cadena trófica, por tal razón, el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de identificar los diferentes bioadsorbentes más utilizados y su eficiencia para la remoción del plomo en tratamiento de aguas. En los diversos estudios realizados; la bioadsorción consiste en un proceso de retención de iones metálicos que, debido a sus propiedades, las biomásas muertas o vivas alcanzan una mejor remoción de plomo. También son analizados los parámetros más importantes que influyen en la bioadsorción, como: tamaño de partícula, pH, tiempo de contacto, temperatura y estructura de porosidad. Así mismo, se discuten resultados recientes sobre la aplicación de materiales de bajo coste obtenidos a partir de diferentes biomásas con y sin activación provenientes de residuos orgánicos, agrícolas, de acuerdo a los estudios realizados de bioadsorción como una alternativa de remoción se identificó adsorbente comerciales y bioadsorbentes orgánicos como; carbón activado, zeolitas, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), Alga (*Ascophyllum Nodosum*), Cascara de yuca (*Manihot esculenta*), salvado de cebada, bagazo de caña de azúcar y borra de café. En conclusión, se identificó los bioadsorbentes que alcanzo remociones superiores al 85% de eficiencia.

Palabras claves: Bioadsorción, biomasa, remoción de plomo.

Abstract

Lead is a highly toxic metal that negatively affects water quality altering aquatic life and human health by entering the food chain, for that reason, the present work was developed with the objective of identifying the different most used bio-adsorbents and their efficiency for the removal of lead in water treatment. In the various studies carried out; bio-adsorption, consists of a process of retention of metallic ions that due to their properties possessed, biomass to achieve a better removal of lead. The most important parameters that influence bio-adsorption are also analyzed, such as: particle size, pH, contact time, temperature and porosity structure. Likewise, recent results are discussed on the application of low-cost materials obtained from different biomasses with and without activation from organic waste, agricultural, according to the bio-adsorption studies carried out as a removal alternative, it was identified commercial adsorbents and organic bio-adsorbents such as; Activated carbon, zeolites, banana peel (*Musa paradisiaca*), Alga (*Ascophyllum Nodosum*), Cascara de cascara (*Manihot esculenta*), barley bran, sugar cane bagasse and coffee grounds. In conclusion, the bio-adsorbents that achieved removals greater than 85% efficiency were identified.

Key words: Bio-adsorption; biomass; lead removal.

¹Autor de correspondencia: Dina Yovana Nina Ancalla, Katia Doris Huanca Choquejahu
Km.06 Carretera Arequipa. Villa Chullunquiani.
Teléfono 935988841-918030475
E-mail: dina.na@upeu.edu.pe, katia.hc@upeu.edu.pe

1. Introducción

El agua es una sustancia fundamental para los seres vivos, sus propiedades únicas permiten el desarrollo de vida en nuestro planeta y determinan su comportamiento químico en el ambiente (Moreno, 2014). En la actualidad existe una gran preocupación a nivel mundial, debido al incremento de contaminación de efluentes con metales pesados tales como el plomo, cromo, cadmio, níquel y mercurio, elementos químicos que se encuentran presentes en el agua de forma natural o por la intervención antrópica (Tejada, 2015). De estos metales resaltamos el plomo que es una sustancia tóxica que tiende a persistir en el medio ambiente y afectar negativamente a la calidad del agua, ocasionando alteraciones en el ecosistema y la salud de las personas, mediante su acumulación e ingreso a la cadena trófica (Brito, 2005).

Las principales fuentes de exposición al plomo en el Perú se encuentran en Lima Norte, La Oroya, Cerro de Pasco, Cajamarca y Ancash, ciudades vinculadas a la actividad minera y metalúrgica; haciendo uso no medido de este metal, exponiéndose trabajadores y población en general, acarreado además contaminación ambiental (Ministerio de Salud, 2012).

En Cajamarca las actividades extractivas pasadas dejaron en la cuenca del río Llaucano – Hualgayoc, más de 1250 pasivos ambientales mineros (FONAM, 2015), datos expuestos de la ciudad de Cajamarca distrito de Hualgayoc indican concentraciones de metales pesados como el plomo en el agua potable superando los niveles máximos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano Peruano, cabe resaltar que el 2 octubre del 2017 realizaron la toma de muestras de agua en los hogares, el total de muestras recolectadas fueron 15. En estas eligieron analizar niveles de arsénico y plomo puesto que está demostrado científicamente que el arsénico puede llegar a causar cáncer e intoxicación, por otro lado, el plomo puede afectar significativamente al desarrollo físico e intelectual de los niños no obstante son la población más vulnerable y expuesta (DIGESA, 2017).

Echave, investigador de Cooper Acción, señaló: “Todos los estudios realizados muestran que el 90 % de los niños que participaron en el estudio en una muestra representativa de la población de la Oroya, tenían niveles de plomo en sangre por encima de lo que recomienda el Organismo Mundial de Salud”, convirtiéndose en depósitos en movimiento de restos de metales tóxicos como el plomo (Pebe, 2005)

Esto ha llevado a la comunidad científica a desarrollar diferentes métodos para el tratamiento de efluentes industriales contaminados con plomo que han resultado demasiado costosos y con baja viabilidad, siendo uno de los mecanismos que llamó la atención a los investigadores el de la adsorción sobre diversos materiales bioadsorbentes por ser accesibles y económicos (Tejada, 2015).

Carreño & otros (2018), en una investigación realizada presenta como objetivo principal estudiar la posibilidad de que se pueda regenerar el metal y aplicar el tratamiento de aguas de los efluentes mineros que son altamente tóxicos para la salud humana y medio ambiente donde logro la remoción de 97.5 de Pb (II) en los drenajes de la mina utilizando métodos pasivos y activos en sistemas experimentales, utilizando el humus, compost y membranas semipermeables naturales artesanales.

Cabrera (2017), en el estudio titulado Bio-adsorción del ión plomo y cromo procedentes de aguas residuales mediante cáscara de tomate de árbol (*Solanum Betaceum*), obtuvo como resultado mayor porcentaje de adsorción con tamaño de partícula de 0,3 mm a un pH 4 para el plomo con 64.1% de remoción, mientras que en la tesis de Jimenez, Meza, & Montes (2015), titulada Efecto de la velocidad de agitación y temperatura en la adsorción de Pb y Zn mediante cáscara de plátano (*Musa sapientum*) en los efluentes residuales del laboratorio de análisis químico, da a conocer que la biomasa *Musa sapientum* es un medio eficiente para adsorber Pb y Zn, al estudiar diferentes temperaturas; 30, 50,65 y 80 °C con una velocidad de agitación de 50, 80 rpm, de las cuales 80°C y 80 rpm fueron los más eficientes, removiendo 79.96% de plomo.

En las investigaciones realizadas se aprecia que la bioadsorción es una alternativa de tratamientos de aguas que desarrolla la remoción de iones de metales pesados en los efluentes dando un tratamiento de bajo costo y fácil de adquirir como bioadsorbentes orgánicos así como; cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) (Gonzales, 2016), Alga (*Ascophyllum Nodosum*) (Borja, Villegas, Ojeda, Lezama, & García, 2015), salvado de cebada (Mamani, 2014), bagazo de caña de azúcar entre otros (Vera, 2015) quienes obtuvieron mejores resultados en la eficiencia para la remoción de metales pesados como plomo. El presente artículo de revisión tiene el objetivo de identificar los diferentes bioadsorbentes más utilizados y su eficiencia en la remoción del plomo en tratamientos de agua.

2. Desarrollo o revisión

2.1. Contaminación por metales pesados

Los metales pesados se caracterizan por ser estables y persistentes en el ambiente debido a que no pueden ser degradados ni destruidos siendo altamente tóxicos para la vida acuática y la salud humana, esto puede ocurrir durante la explotación minera, el refinamiento de productos de minería o la liberación al medio ambiente de efluentes industriales y emisiones vehiculares (Cejas, 2015). Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, como, por ejemplo, el cadmio y el plomo que se utiliza mucho para tubería, (Ledezma, 2009). Entre los metales comúnmente presentes en cuerpos de agua tenemos al Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se y Zn (Castro, 2015).

2.1.1. Plomo.

El color del plomo es blanco plateado en su forma elemental y es parte del grupo IV-A en la tabla periódica, presenta características fisicoquímicas, así como; su punto de fusión es baja, es denso, con una fundición difícil, es poco resistente, es maleable, manejable para la fabricación de objetos, resistente a la corrosión y ácido, este metal pesado es un elemento químico peligroso que puede acumularse fácilmente en el organismo mediante la cadena alimenticia almacenándose en los tejidos y huesos causando daños permanentes en el sistema (Cortez, 2015).

Las fuentes principales de contaminación por plomo son; las industrias mineras, las fundidoras, las fábricas de baterías, pinturas, alfarerías con esmaltados, la pirotecnia, etc (Salamea, 2016). La mayoría de la contaminación por plomo es causada por descargas directas de aguas residuales que van directamente a los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas alterando el ecosistema acuático produciendo daños a la salud (Quispe, 2018).

2.2. Adsorción

Es un proceso mediante el cual, se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra. La sustancia que se concentra en la superficie se llama “adsorbato” y la fase sobre la que se da el proceso “adsorbente”; en este proceso debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, con el fin de que estos últimos sean transportados hacia el sólido, donde van a ser retenidos (Quiñones, Tejada, Arcia, & Ruiz, 2013).

El mecanismo de la adsorción tiene tres etapas. La primera etapa es designada difusión externa, debido a que el adsorbato se acerca a la superficie del sólido venciendo la resistencia de la capa límite alrededor del adsorbente. La segunda etapa consiste en la difusión interna, donde hace la transferencia de masa y el adsorbato viaja mediante la red porosa del sólido, en la tercera etapa el adsorbato se une en el lugar adecuado del adsorbente (Arslanoglu, Kar, & Arslan, 2005).

2.2.1. Tipos de adsorción.

Adsorción física. Este tipo de adsorción se da gracias a las fuerzas intermoleculares de Van der Waals, son rápidas e irreversibles alcanzando el equilibrio luego de haber mantenido el contacto con el adsorbente (Chávez & Rivera, 2015). En la tabla 1, se muestran las características más relevantes de la fisisorción es que la sustancia adsorbida conserva su naturaleza química y cuando el balance de fuerzas que interactúan con una molécula de adsorbato con respecto a las demás moléculas de adsorbato se vuelve menor con respecto a las fuerzas que existen entre el adsorbato y el adsorbente, las moléculas de adsorbato se condensan sobre la superficie de la interfaz entre el adsorbente y el adsorbato desprendiendo calor en el proceso, aunque la presión sea menor que la presión de vapor del adsorbato que corresponde a la temperatura predominante (Olivares, 2016).

Adsorción química (AQ), quimisorción o adsorción activa. Es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida (Treybal, 1980). La quimisorción se caracteriza por una compartición de electrones entre el adsorbente y el adsorbato que da por resultado la liberación de una cantidad de calor, a causa de la compartición de electrones con la superficie, y se restringen a la formación de una monocapa (Maddox, 1987). Las fuerzas químicas análogas, es decir tienen la atracción a iones opuestos, es un proceso

irreversible, si su temperatura aumenta y su presión disminuye no habrá una desorción (Chávez & Rivera, 2015). En la tabla 1, se muestra las características que diferencian de la adsorción física.

Tabla 1.

Diferencias entre la adsorción física y química

Fisisorción	Quimisorción
<ul style="list-style-type: none"> • Presenta enlaces débiles. Interacciones de Van der Waals. • Entalpia de adsorción entre los 10 y 20 kJ/mol • Al interactuar la temperatura se reduce la adsorción. El proceso reversible • La adsorción toma lugar en cualquier parte del adsorbente. • Se lleva a cabo en la monocapa o en multicapa. • No existe reacciones superficiales así como: neutralización, descomposición, etc. • El adsorbato mantiene su identidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta enlaces fuertes de corto alcance (verdaderos enlaces químicos). • Entalpia de adsorción se encuentra entre 40 y 400 kJ/mol • Un incremento en la temperatura puede favorecer la adsorción. Es el proceso irreversible. • La adsorción se lleva a cabo en puntos específicos n la superficie. • Se realiza la adsorción en la monocapa. • Pueden darse reacciones superficiales (disociación, catálisis, reconstrucción, etc.). • El adsorbato cambia de estructura química respecto al material precursor.

Fuente: Orejón, (2018).

2.3. Bioadsorción

La bioadsorción es un método económico y efectivo para la descontaminación de metales pesados en el agua, que está basada en la adsorción de los iones del metal por biomasa muerta o viva puede ser activada y no activada, la bioadsorción es una tecnología que consiste en la utilización de residuos orgánicos como material adsorbente para la disminución de concentraciones de metales pesados en cuerpos de aguas, en los últimos años se ha indagado para ver qué tipo de biomasa tiene mejor rendimiento como adsorbente (Verdugo, 2017).

El proceso de bioadsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbato) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbato, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido (Cañizares, 2000).

Jiménez, Meza, & Montes, (2015) afirman que el proceso de la biosorción es un proceso eficiente y ventajoso ya que el material que se emplea, puede adquirirse fácilmente y además se puede encontrar en la naturaleza.

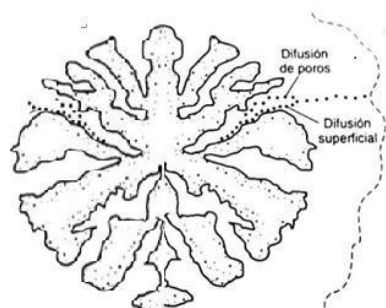


Figura 1. Mecanismos implicados en la bio-adsorción
Fuente. Howe, Hand, Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, (2017)

2.3.1. Factores que influyen el proceso de bioadsorción.

Los procesos de bioadsorción está principalmente influenciada por varios factores los cuales van a permitir o impedir que se llegue a una buena bioadsorción, estos factores son: las propiedades del contaminante, parámetros físico-químicos, condiciones del medio y propiedades de la biomasa (Diego, 2012).

2.3.1.1. Influencia del tipo del bioadsorbente.

El adsorbato posee ciertas propiedades para unirse a iones metálicos se debe tener en cuenta la naturaleza con respecto a su dureza, iones duros tienen predilección por ligandos o grupos funcionales que contengan oxígeno para dar lugar a interacciones de tipo electrostático, y los iones blandos se unen con grupos que contienen nitrógeno o sulfuro a través de interacciones covalentes (Argaman, 2004). “Los bioadsorbentes tienen características claves para que se den los procesos de adsorción, por ejemplo, el tipo y cantidad de grupos funcionales presentes, su disponibilidad, estado químico y la afinidad que pueda existir entre el adsorbente y el metal” por otro lado para conocer las características que posee el bioadsorbente a utilizar se debe realizar su caracterización, para lo cual se inicia con un pretratamiento el cual consiste en lavado, secado y triturado, en otros casos se aplica un tratamiento con modificaciones químicas como; H_2SO_4 , HCl, NaOH, etc, esto se lo realiza con el fin de mejorar la capacidad de absorción (Diego, 2012).

2.3.1.2. Influencia del tamaño de partícula.

Para un sólido muy poroso se espera que el tamaño de partícula sea independiente de la capacidad de retención, dado que la mayoría de su superficie se encuentra en su estructura porosa interna, sin embargo, en algunos casos la capacidad de adsorción aumenta al reducir el tamaño de partículas, aumentando así mismo el área de contacto y la accesibilidad de las moléculas pequeñas, por lo tanto se recomienda un tamaño menor a 1mm debido a que menor dimensión de partícula existe un mayor número de centros activos disponibles para que se dé la reacción y una mayor facilidad para que el adsorbato acceda a ellos teniendo menor limitación a la difusión (Tejada, 2015).

2.3.1.3. Influencia del pH.

Es uno de los principales factores que afectan la capacidad de adsorción en solución acuosa, influyendo en la carga superficial del adsorbente y en la forma en la que se encuentran las especies a adsorber, los cambios de pH tienen una incidencia inmediata en los procesos de adsorción ya que existen tres maneras en las que el pH influye en este proceso: el estado de los sitios activos de la biomasa varía con el pH del medio haciéndolos más o menos disponibles para el enlace con los compuestos en disolución; valores de pH extremos pueden dañar la estructura del material y es fundamental la especiación y solubilidad del metal en disolución que son factores que dependen directamente del pH (Bedoya, 2009).

Una variación en el pH de la solución cambia el estado de grupos funcionales y modifica sus interacciones con los contaminantes, así a pH bajos la superficie del material puede cargarse positivamente inhibiendo la aproximación de los cationes metálicos u otros contaminantes, en cambio valores muy altos de pH suelen dar problemas de precipitación del metal. Por consiguiente, el pH entre 4–7 suelen ser los más óptimos para los procesos de adsorción (Volesky, 2003).

2.3.1.4. Influencia de tiempo de contacto.

El tiempo de contacto consiste en conocer el tiempo de equilibrio entre el soluto y el material, para que se complete el proceso de adsorción y así conocer la cinética del proceso de eliminación, el tiempo depende de algunos parámetros como la concentración del contaminante y la cantidad del adsorbente, normalmente los procesos de adsorción tienen tiempos cortos, llegándose al equilibrio en unas pocas horas e incluso minutos, en muchos casos depende de la capacidad de adsorción de cada bioadsorbente (Brito, 2005). Por ejemplo, en la investigación de Medina & Calipuy, (2019) sobre la bioadsorción de plomo obtuvo un buen porcentaje de remoción en un tiempo de 90 minutos.

2.3.1.5. Influencia de temperatura.

El efecto de la temperatura sobre la bioadsorción depende de la termodinámica del proceso, generalmente cuando el calor de adsorción es negativo la reacción es exotérmica y se favorece el proceso a bajas temperaturas. La temperatura no influye tan drásticamente en los procesos de bioadsorción si se maneja en un rango específico, pero si hay variaciones bruscas puede afectar directamente la interacción entre soluto y adsorbente, este hecho indica que la eliminación de un compuesto determinado puede estar regida por un mecanismo de intercambio iónico, ya que este proceso no se ve afectado por la temperatura (Diego, 2012). La temperatura es estudiada según cómo se comporta a través de las isothermas de adsorción, las cuales

permiten obtener constantes de equilibrio adsorbente/adsorbato, por lo cual se ha verificado que la temperatura no influye en la capacidad de adsorción y que el proceso no varía al modificar este parámetro, en ciertos casos puntuales un aumento de la temperatura mejora la capacidad de adsorción, sin embargo, alta temperatura puede afectar o dañar la composición del material disminuyendo la adsorción (Liu & Wang, 2009).

2.3.1.6. Influencia de superficie y estructura de los poros.

La capacidad de adsorción del adsorbente sólido es generalmente proporcional a la superficie específica. Sin embargo, si se trata de un adsorbente menos poroso, el cual posea grupos funcionales superficiales, las interacciones pueden dejar de ser de tipo físico, entrando a dominar otros mecanismos como el intercambio iónico (Brito, 2005).

3. Análisis de la revisión

3.1. Tipo de adsorbentes comerciales

Son materiales naturales o sintéticos de estructura amorfa y micro cristalina, entre ellas los utilizados en gran escala son el carbón activado, alúmina activada, zeolita, gel de sílice, la tierra de Fuller y otras arcillas, en la tabla 2, se describen algunos adsorbentes comerciales.

3.1.1. Carbón activado.

Uno de los problemas del carbón activado es el costo de adquisición, por lo que la comunidad científica está investigando métodos más accesibles, se usa principalmente para eliminar compuestos orgánicos refractarios, así como compuestos inorgánicos residuales como el nitrógeno, sulfuros y metales pesados ya que su amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a atrapar diversos contaminantes (Cavides, 2015).

3.1.2. Zeolitas.

Las propiedades como adsorbente de las zeolitas son principalmente atribuidas a su estructura tridimensional con largos canales que contienen sitios cargados negativamente. Esta carga negativa, generada por el reemplazo de Si^{4+} por Al^{3+} , es balanceada por el intercambio de cationes divalentes tales como sodio, calcio y magnesio en el interior de su estructura, los cuales pueden ser intercambiados a su vez por metales (Carpio, 2015)

Tabla 2.

Comparación de adsorbentes comerciales usados para la adsorción de plomo

Tipo de adsorbentes	pH	Diámetro de partícula m^2/g	Temperatura $^{\circ}C$	Concentración inicial mg/L	Tiempo de tratamiento	% de remoción	Referencias
Carbón activado	4	Superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500	Ambiente	180	6 horas	96%	(Cavides, 2015)
Zeolitas	6-8	Entre 500 y 1000 con relación a su superficie externa	200	558.97	1 día a mas	84%	(Rodríguez, 2017)

En la tabla 2 se puede identificar que el carbón activado es un adsorbente eficiente para la remoción de plomo obteniendo un 96% de remoción, según el autor de la investigación menciona que el carbón activado es un material en forma de polvo muy fino que presenta un área superficial excepcionalmente alta y se caracteriza porque contiene una gran cantidad de microporos que hace posible una mayor remoción del contaminante.

3.2. Tipo de bioadsorbentes orgánicos

Se emplea un amplio espectro de materiales biológicos, bioadsorbentes que provienen de biomasa se clasifican en diversos grupos dentro de los cuales tenemos: algas, residuos de actividades agrícolas y residuos industriales y municipales han recibido una creciente atención para la eliminación de metales pesados, debido a su buen rendimiento, bajo coste y grandes cantidades disponibles del adsorbente, diversos estudios

experimentales de bioadsorción cada uno con diferente adsorbente, todo esto se ha realizado para conocer cuál es el adsorbente con mejor rendimiento y eficiencia (Cavides, 2015).

En la tabla 3, se da a conocer los bioadsorbentes más usados por los investigadores para la remoción de plomo.

3.2.1. Características de alga (*Ascophyllum Nodosum*).

Las algas *Ascophyllum Nodosum*, fueron utilizadas en estado seco como bioadsorbentes de plomo la presencia de diferentes centros de adsorción (fucanoides, alginatos, proteínas, fosfatos) permiten una mayor adsorción debido a su tamaño, grado de solvatación presencia de iones quelantes (Cuizano, 2008).

3.2.2. Características de salvado de cebada.

La activación del salvado de cebada se realiza con la finalidad que la presencia de un ácido fuerte protona y de protona los sitios donores compuesto por los átomos de oxígeno o el nitrógeno presente en la estructura del adsorbente, para la facilitar la coordinación de los iones metálicos de plomo de carga positiva con los átomos donores en donde se forma los momentos dipolares negativos. Las pruebas de intercambio han permitido establecer la máxima adsorción con respecto a la capacidad de adsorción del salvado de cebada. (Mamani, 2014).

3.2.3. Características de bagazo de caña.

La morfología del bagazo de caña de azúcar puede facilitar la bioadsorción de metales debido a la superficie irregular y gran variedad de grupos funcionales, lo que hace posible la biosorción del plomo en diferentes partes de este material. (Vera, 2015).

3.2.4. Características de cascara de plátano (*Musa Sapientum*).

La cáscara molida tiene la capacidad para extraer iones de metales pesados del agua y de los parámetros que intervienen en este proceso. La adsorción de la cáscara de plátano se debe en gran parte a la lignina que son polímeros insolubles, presenta un elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos, pulverizado de la cáscara de plátano (Gonzales, 2016).

3.2.5. Características de borra de café.

La capacidad de bioadsorción conferida a la borra e café es gracias a que la composición química de esta materia orgánica posee taninos, polialginatos, péptidoglucanos, polisacáridos, glicoproteínas, fucanoides, compuestos heterocíclicos, flavonoides^{5,6}, ácidos clorogénicos, ácido feruloilquínico, entre otros compuestos que permiten atrapar al metal pesado y dejarlo adherido a la superficie de adsorbente (Torres, 2018).

3.2.6. Cascara de yuca (*Manihot esculenta*).

La cáscara de yuca modificada y sin modificar, presentan una banda amplia entre 3200 y 3500 cm^{-1} , lo cual indica que la biomasa es factible para procesos de remoción de metales pesados puesto que entre estos

intervalos encontramos grupos O-H, principalmente compuestos de alcoholes y fenoles, estos serán los facilitadores de la captación de los iones de plomo (Albis, 2016).

Tabla 3.

Comparación de la eficiencia de bioadsorbentes orgánicos usados para la remoción del plomo

Tipo de bioadsorbentes	pH	Temperatura °C	Tiempo de contacto	Concentración inicial mg/L	Concentración final mg/L	% de remoción	Referencias
Alga (<i>Ascophyllum Nodosum</i>)	4	Ambiente	72 horas	64,4	45.9	30	(Borja, Villegas, Ojeda, Lezama, & García, 2015)
Salvado de cebada	5	15	40 min	100	57.1	43	(Mamani, 2014)
Bagazo de caña	5	Ambiente	10 min	120	--	97.6	(Vera, 2015)
Cascara de plátano (<i>Musa Sapientum</i>)	5	80	72 horas	1,659	--	79.76	(Gonzales, 2016)
Borra de café	6	12.2	12 min	--	--	93.74	(Torres, 2018)
Cascara de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	3	60	3h	80	--	86.8	(Albis, 2016)

*Activación un ácido inorgánico (HCl) a 1%

- La cáscara de yuca modificada con ácido sulfúrico a 1% se muestra como un gran adsorbente para la remoción de plomo, pues tiene un porcentaje de remoción de hasta 99%
- la remoción promedio de Plomo disuelto el mayor resultado fue 94.05% correspondiente a las muestras de agua tratadas con borra de borra de café pre-tratada con NaOH 0.1 N.

En la tabla 3 se aprecia las investigaciones realizadas por diferentes autores, de la cual se pretende identificar la eficiencia de los tipos de bioadsorbentes en la que el bagazo de caña trabaja mejor como bioadsorbente obteniendo un porcentaje de remoción de 93.74% en una temperatura ambiente y un menor tiempo de 10 minutos, según el autor de la investigación esto sucede debido a que las partículas trabajan de manera independiente, un diámetro mínimo y presentan poros mucho más extensos.

4. Conclusión

Se concluye que, de las diferentes investigaciones analizadas se identificaron adsorbentes comerciales y bioadsorbentes orgánicos como; Carbón activado, Zeolitas, Alga (*Ascophyllum Nodosum*), Salvado de cebada, Bagazo de caña, Cascara de plátano (*Musa Sapientum*), Borra de café y Cascara de yuca (*Manihot esculenta*), de las cuales el carbón activado presentó un porcentaje de remoción de 96%, y en bioadsorbentes orgánicos, el bagazo de caña, seguido por borra de café con un porcentaje elevado de 97.66%, 94.05%, en la mayoría de los casos con un pH ácido, sin embargo, los bioadsorbentes activados con sustancias químicas trabajan mucho mejor en la remoción llegando hasta 99% de eficiencia. Cabe resaltar que los adsorbentes comerciales y bioadsorbentes orgánicos tienen una similitud de porcentaje de remoción con diferencia de los aspectos económicos, y la adquisición del tipo de bioadsorbentes.

Referencias

- Albis, A. (2016). Remoción de plomo de soluciones acuosas usando cáscara de yuca modificada con ácido cítrico. *Dialnet*, 12.
- Argaman, Y. (2004). Mechanisms of Biosorption of Different Heavy Metals by Brown Marine Macroalgae. *Biotechnol Bioeng*.
- Arslanoglu, F. N., Kar, F., & Arslan, N. (2005). Adsorption of dark coloured compounds from peach pulp by using powdered-activated carbon. *Journal of Food Engineering*, 156-163.
- Bedoya, P. (2009). La bioadsorción es el proceso de adsorción el cual consiste en la captación de diferentes especies químicas por una biomasa, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o intercambio iónico. *DYNA*.
- Borja, N. A., Villegas, V. G., Ojeda, A. Y., Lezama, E. G., & García, H. M. (2015). Estudio de la cinética de biosorción de plomo (II) en algas *Ascophyllum Nodosum*. *Soc Quím Perú*.
- Brito, J. (2005). Remoción de metales pesados usando bagazo de caña activado químicamente como alternativa. *Tecno Lógicas*, 3.
- Cabrera, L. (2017). Biosorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales mediante cascara del tomate de árbol (*Solanum Betaceum*). *Universidad Politécnica Salesiana*, 120.
- Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *ALAM*.
- Carpio, H. (2015). Remoción de metales pesados en soluciones sintéticas empleando zeolita natural Cubana. *XI Congreso Cubano de Geología*.
- Carreño, R. M., Palà, M. O., Corona, T. P., Rubio, V. A., Albarán, Y. M., Toribio, J. C., & Gomez, P. G. (2018). *Tratamiento de Aguas*. Madrid: Dextra Editorial S.L.
- Castro, B. P. (2015). Uso de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas. *Universidad de Huayaquil*.
- Cavides, D. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Dianet*, 72.
- Cejas, R. C. (2015). Los metales pesados y sus efectos ambientales. *Tesis*.
- Chávez, G. L., & Rivera, C. E. (2015). Tratamiento de aguas contaminadas con crudoutilizando quitosano como adsorbente. *Universidad Central del Ecuador*, 20-21.
- Cortez, J. P. (2015). Identificación de la concentración de cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), en las aguas de pozo del recinto los monos "cantón milagro", y su evaluación según la normativa ecuatoriana (norma INEM). *Tesis obtener grado de Químico y Farmacéutico Ecuador*, 8.
- Cuizano, N. (2008). Bioadsorción de metales pesados con algas marinas posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Química y medio ambiente*.
- Diego, L. C. (2012). Eliminación de mercurio de efluentes acuosos con materiales de bajo costo: proceso combinado de bioadsorción-reducción.
- DIGESA. (12 de Octubre de 2017). *Calida de Agua Para Consumo Humano*. Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1854/TITULO%20-%20Afan%20Rojas%2C%20%20Karina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- FONAM. (2015). *www.fonamperu.org.pe*. Obtenido de <https://fonamperu.org.pe/lista-de-sitios-impactados-priorizados/>.
- Gonzales, A. (2016). Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo (Pb) y zinc (Zn) con cáscara de plátano (*Musa Sapientum*), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico. *Tesis*.
- Jimenez, F. O., Meza, C. L., & Montes, S. B. (2015). Biosorción de Pb (II) aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). *Rev. Sociedad Química Perú*.
- Ledezma, K. P. (2009). Contaminación por metales pesados . *Scielo*, 2.
- Liu, Y.-g., & Wang, J.-s. (2009). Fundamentals and Applications of Biosorption Isotherms, Kinetics and Thermodynamics. *Nova Science Publishers*.
- Maddox, R. N. (1987). *Transferencia de masa: Fundamentos y Aplicaciones*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.,.
- Mamani, R. (2014). Bioadsorción de plomo (II) de las aguas del río Ayaviri, mediante el uso de salvado de cebada. *Universidad Nacional del Altiplano Puno*.
- Medina, E. A., & Calipuy, I. J. (2019). Influencia del tamaño de partícula y tiempo de contacto de la borra de café en la remoción de plomo II de efluente minero, Quiruvilca. *Universidad Privada del Norte* , 48.
- Ministerio de Salud. (2012). Plan de trabajo de vigilancia y control de riesgos por exposición ocupacional a metales pesados.
- Moreno, R. (2014). Estudio de diferentes bioadsorbentes como posibles retenedores de fosfatos en agua . *Universidad Nacional de Colombia*.
- Olivares, I. L. (2016). Estudio de pares de trabajo (adsorbente/adsorbato) base carbón activado para aplicaciones en sistemas de enfriamiento. *Cimav*, 19-20.
- Orejón, E. J. (2018). Estudio de la adsorción de fenol, 4-nitrofenol y 4-clorofenol utilizando carbón activado modificado con cobre. *Pontificia Universidad Católica del Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.*, 9.
- Pebe, G. (2005). Niveles de plomo sanguíneo en recién nacidos de La Oroya. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 2.
- Quiñones, E., Tejada, C., Arcia, C., & Ruiz, V. (2013). Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasa lignocelulósicas: una revisión . *Redalyc*.
- Quispe, J. M. (2018). Biosorción de plomo y cadmio con la tusa de maíz (*zea mays*. l.), en las aguas del río Rímac- zona de Corcona, Huarochirí . *Tesis Universidad César Vallejo*, 13-17.
- Rodríguez, M. V. (2017). Evaluación de la capacidad de adsorción de NH₄ y metales pesados Pb²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ y Mn²⁺ empleando zeolitas naturales y sintéticas. *Tesis Universidad Nacional de San Agustín Arequipa* .
- Salamea, N. A. (2016). Biosorción en tanque agitado de Cd²⁺ y Pb²⁺ con cáscara de cacao. *Universidad de Cuenca Ecuador*.
- Tejada, C. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnologías* , 112.

- Torres, C. (2018). Uso de borra de cafe como bioadsorbentes para la remocion de cadmio y plomo disuelto en el agua del rio Añasmayo sector - La Perla - Huaral, 2018 . *Tesis* , 73.
- Treybal, R. E. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa* . Mexico: McGraw-Hill.
- Vera, L. (2015). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *AFINIDAD LXXIII*,.
- Verdugo, J. (2017). Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (citrus reticulata). *Dialnet*, 26.
- Volesky, B. (2003). Biosorption process simulation tools. *Hydrometallurgy*, 179-190.

