



Estudio de la bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cáscara de naranja y plátano manzano

Study of the bioadsorption of heavy metals (Pb and Cu) in the waters of the Puyango river, using orange and apple banana peel

Stefanie Michelle Bonilla Bermeo,¹ *; Eliza Yisabel Ortiz Sánchez²; Lady Germania Vega Calero³

Recibido: 22/06/2021 – Recibido en forma revisada: 13/08/2021 -- Aceptado: 21/11/2021

*Autor para la correspondencia.

Resumen

Los bioadsorbentes son una nueva alternativa para remover metales pesados, de bajo coste en comparación con los métodos convencionales. En el presente trabajo de investigación se evaluó la capacidad de adsorción con un tamaño de partícula de 0,3150 mm de polvo de cáscara de plátano manzano y naranja en agua contaminada con plomo y cobre, realizados en condiciones normales de temperatura ambiente y agitación constante a 100rpm. El procedimiento experimental se basó en dos estudios, el primero se realizó con 5%, 10%, 15% de cada bioadsorbente en polvo de cáscara naranja y plátano manzano con la muestra de 500ml de agua cruda. El segundo, se basó en la preparación de soluciones patrón con distintas concentraciones partiendo con 5000ppm, 8000ppm y 10000ppm, con cada bioadsorbente de los cuales se tomó alícuotas de 10ppm, 20ppm y 30ppm. Los mejores resultados de remoción se obtuvieron con la solución patrón de 8000ppm, tomando una alícuota de 30ppm. Con el polvo de cáscara de naranja, se obtuvo un porcentaje de remoción del 91,60% de Plomo, y 78,11 % de Cobre, con una capacidad máxima de adsorción (q mg/g) 0,075 de Cobre y 0.1284 de Plomo. Mientras que con el plátano manzano, se obtuvo un porcentaje de remoción del 93,47% de Plomo, y 85,71 % de Cobre con una capacidad máxima (q mg/g) 0,082 de Cobre y 0.1311 de Plomo. Además, con la mezcla de ambos bioadsorbentes se obtuvo un porcentaje de remoción del 72,27% de Cobre, con una capacidad máxima (q mg/g) 0,069 de Cobre.

Palabras claves : Bioadsorción, cáscara de naranja y plátano manzano, plomo, cobre remoción.

Abstract

Bioadsorbents are a new alternative to remove heavy metals, low cost compared to conventional methods. In this research work, the adsorption capacity was evaluated with a particle size of 0.3150 mm of apple and orange banana peel powder in water contaminated with lead and copper, carried out under normal conditions of ambient temperature and constant agitation at 100rpm. The experimental procedure was based on two studies, the first one was carried out with 5%, 10%, 15% of each bioadsorbent powder of orange peel and apple banana with the 500ml sample of raw water. The second was based on the preparation of standard solutions with different concentrations starting with 5000ppm, 8000ppm and 10,000 ppm, with each bioadsorbent from which aliquots of 10ppm, 20ppm y 30ppm. The best removal results were obtained with the standard solution of 8000ppm, taking an aliquot of 30ppm. With the orange peel powder, a removal percentage of 91.60% of Lead and 78.11% of Collection was obtained, with a maximum adsorption capacity (q mg / g) 0.075 of Copper and 0.1284 of Lead. While with the apple tree banana, a removal percentage of 93.47% of Lead, and 85.71% of Copper with a maximum capacity (q mg / g) 0.082 of Copper and 0.1311 of Lead was obtained. In addition, with the mixture of both bioadsorbents, a removal percentage of 72.27% Copper was obtained, with a maximum capacity (q mg / g) 0.069 Copper.

Keywords : Bioadsorption, orange peel and apple tree, lead, copper removal.

1. Introducción

El agua es un líquido vital para la vida con el paso de los años se ha generado un aumento de su contaminación por actividades antropogénicas imposibilitando muchos de sus usos generando gran preocupación por este motivo se ha promovido la realización de investigaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías amigable con el medio ambiente [1]

Los metales pesados en la actualidad son considerados uno de los contaminantes principales del cuerpo hídrico en

lugares con mayor explotación minera perjudicando al medio ambiente y a la salud de quien lo consuma causando daños severos e irreversible [2].

El contacto de plomo a largo plazo en pequeñas cantidades puede provocar daños irreversibles en niños, se ha descubierto que en concentraciones de 7 microgramos de plomo por decilitro de sangre causa daños irreversibles en el sistema nervioso de los niños [3].

¹ Universidad de Guayaquil; stefanie.bonillab@ug.edu.ec.

² Investigador Independiente; elisaortiz_1995@hotmail.com.

³ Investigador Independiente; lady_vega1990@hotmail.com.



Los contaminantes con alta peligrosidad para el medio acuático son los metales pesados ya que poseen baja biodegradabilidad y gran habilidad para acumularse en distintos organismos. Los procesos para tratar aguas contaminadas por metales son generalmente carbón activado, extracción con disolventes tecnología con membranas, intercambio iónico entre otros, pero la mayor parte de estos procesos llegan a ser muy costoso provocando que estos sean evacuados a los ríos sin ningún tratamiento [4].

La bioadsorción es una nueva alternativa para remover metales pesados del agua una de sus ventajas principales es que son de bajos costo debido a que su materia prima son desechos agrícolas como cáscara de naranja, plátano manzano, guineo cáscara de toronja etc., y tienen gran eficiencia [5].

La cáscara de naranja y plátano manzano tienen propiedades de bioadsorción porque presentan grupos funcionales denominados (carbonil, carboxil, sulfidril hidroxil alquilo, fosfatos) en su composición permitiendo que allí un intercambio iónico [6].

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es determinar la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja y plátano manzano para tratamientos de aguas contaminadas por metales pesados (Pb y Cu) presente en el Río.

1.1. Antecedentes del Río Puyango

El Río Puyango, ubicado entre las Provincias de El Oro y Loja, sigue permanentemente contaminado, debido a la presencia de residuos de metales pesados de la producción minera del tramo alto de la Provincia de El Oro, cuyas aguas están inválidas para el uso humano, la ganadería y la agricultura. Su cuenca abarca 4.700 kilómetros cuadrados y es donde se ejecutará el plan binacional Puyango-Tumbes, que habilitará 40.000 hectáreas. Algunas especies de peces han desvanecido y otras han migrado a otros lugares con menos contaminación. Es irremediable que a través de un reglamento el Gobierno prohíba que los mineros arrojen al afluente los desperdicios, sino que preliminarmente se purifiquen con procesos químicos para que se desemboque a la cuenca del río agua purificada y limpia libre de contaminantes. Es lamentable que hasta la actualidad el Ministerio del Ambiente no haga absolutamente nada por descontaminar este gran río [7].

1.2. Afectaciones por la actividad minera

Los principales problemas de acidificación en la Provincia de El Oro se dan en los ríos y en las aguas subterráneas, debido a los drenajes de cunetas, corredores subterráneos, relaves, escorias, disolvente oxidativa y lixiviación de sulfuros metálicos, en especial pirita. Los ríos que presentan disolvente oxidativa y lixiviación de sulfuros metálicos, en especial pirita. Los ríos que presentan con mayor generación de profanación son el río Pindo, y Puyango. La disertación realizada por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), determinó que en verano la probabilidad de retribución de metales pesados en sólidos suspendidos al organismo humano y peces, es crecientemente mayor que en invierno. Una visible muestra se da en Puyango, las concentraciones de Pb en verano van entre 3972 y 5080 µg/g y en el tiempo lluvioso el Pb disminuye a 269 y 345 µg/g [2].

En los ríos de la Provincia de El Oro, las descargas de los contaminantes resultantes de la acción minera afectan negativamente a toda forma de vida, provocando severos impactos ambientales y estragos en la salud humana. Los Cantones Portovelo y Zaruma son los principales sectores perjudicados debido a la ingesta de agua y alimentos contaminados.

Actualmente, son muy escasos los estudios con relación a las consecuencias que provoca la actividad minera en la salud humana [2].

1.3. Fuentes de contaminación de metales pesados en los alimentos

Tabla 1. Fuentes de contaminación de metales pesados en los alimentos

Origen contaminación	Metal pesado involucrado
Natural, proveniente del suelo	Cadmio, bromo, flúor, cobre
Uso de insecticidas, desinfectantes y medicamentos.	Arsénico, cobre, plomo, mercurio
Del suelo arenoso y envase de vidrio	Silicio
Por el equipo de procesamiento	Cobre, hierro, níquel, estaño, plomo, cadmio
Debido al almacenamiento	Hierro, níquel, estaño, plomo, cadmio, estroncio
Por oxidación en el envase	Hierro y cobre
Debido al procesamiento	Cobre, cadmio, arsénico
Suplementos alimenticios en dietas de animales	Cobre, cadmio, hierro, zinc, arsénico.

Fuente: [8].



1.4. Fuentes de emisión y generación de metales pesados

Los metales son pertenecientes a la corteza terrestre. Estos contaminantes de gran proporción los cuales se manifiestan al medio de las actividades humanas provocando daño al ambiente. La minería es una de las principales causas de contaminación de metales pesados a causa de la extracción de grandes cantidades de material, por medio de la refinación de metales preciosos o también por el descargo de efluentes industriales al medio ambiente y emisiones vehiculares. La inapropiada distribución de los residuos metálicos ha ocasionado de esta forma contaminar el suelo, agua superficial y subterránea y los ambientes acuáticos [9].

1.5. Los metales pesados en las aguas residuales

El aumento de concentración en las aguas residuales de estos compuestos se debe principalmente a profanación industrial o minero. Los lixiviados de vertederos o vertidos de aguas residuales son sustancias de fuente de contagio [10].

Estas fuentes también son emanadas por aguas domésticas comerciales e industriales:

- Productos químicos
- Actividad minera
- Combustión de petróleo
- Aguas residuales
- Residuos urbanos e industriales [11].

1.6. Composición química de la cáscara de naranja

Tabla 2. Composición química de la cáscara de naranja

Componente	Contenido Conceptual
Azúcares solubles	16.9%
Celulosa	9.21%
Hemicelulosa	10.5%
Pectina	42.5%

Fuente: [12].

1.7. Cáscara de naranja como bioadsorbente

La adsorción a través de biomasa residual por efecto es bastante prometedora, por este motivo es de gran importancia destacar la cáscara de naranja como bioadsorbente con gran potencial. Los residuos de naranja como es su cáscara contienen celulosa, pectina, hemicelulosa y cómo. También otros compuestos de menor peso molecular en los cuales se encuentran los limonenos. Contienen, por tanto, grupos funcionales activos como son

el carboxilo presente en las pectinas y los hidroxilos que se encuentran en la celulosa. También fosfato y tiol son capaces de unirse a los iones metálicos que se encuentran en disolución [13].

1.8. Capacidad de intercambio catiónico de la cáscara de naranja

Esta capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la suma total de los cationes que posee un material adsorbente para ser cambiables. Se obtuvo como resultados en la determinación por triplicado de este parámetro se indicó un promedio de este de 8,04 (meq/100g muestra). Este valor fue comparado con los obtenidos para otros tipos de materiales utilizados como adsorbente [6].

1.9. Producción de la naranja en el Ecuador

La producción de naranja en Ecuador según el ministerio de agricultura en el 2011 la producción fue de 84 mil toneladas métricas en localizaciones donde su clima es cálido en la provincia de Bolívar se llevó al mercado 40,706 toneladas cuando se termina la cosecha Ecuador deja de importar este cultivo las provincias donde hay mayor producción es Manabí y los ríos [14].

La producción de la naranja en el Ecuador está representada como unos de los 25 cultivos más representativos del país, esta planta al poseer un buen manejo de cosecha llega a producir 15 naranjas en el año. El Ecuador se calcula que tiene una superficie de sembrío de naranja de 55.953 hectáreas, por lo tanto 10.639 hectáreas corresponden a la provincia de Bolívar y 2.650 hectáreas son perteneciente al cantón Caluma lo que figura un 4,73% de su producción a nivel nacional. La producción de naranja más habitual es la naranja blanca [14].

La producción de la naranja en el Ecuador está ubicada en la provincia de Bolívar y en el cantón Caluma perteneciente a la provincia de Bolívar conteniendo diferentes variedades cultivadas como son: Valencia, Naranja lima, Valencia tadia, Naranja agria, Valencia delta y Naranja pomelo. La mayor producción es la de la naranja Valencia [15].

1.10. Características de la platanera

El tallo del árbol mide aproximadamente de 2-5 m y la altitud puede adquirir hasta 8 m con las hojas. Los frutos tienen forma de bayas no tienen semillas, cilíndricos distribuidos en manos de racimos de 30-70 plátanos que miden 8 a 13 cm de longitud y 3 cm de diámetro, su pulpa



es de color marfil y mantecosa y su piel de color amarilla [16].

1.11. Propiedades funcionales de la cascara de plátano

El primordial subproducto del desarrollo productivo del banano es la cáscara por ende representa alrededor del 30% del peso del fruto; la tenacidad y la capacidad de la corteza de plátano dependen de su estructura química. La corteza del banano es rica en energía dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio; entre los esfuerzos para utilizar la corteza se ha emanado proteínas, alcohol metílico, etanol, pectinas y enzimas [17].

1.12. Polímeros naturales que tienen propiedades bioadsorbentes

Tabla 3. Polímeros naturales que tienen propiedades bioadsorbentes

Nombre común	Se extrae de	Parte de donde se obtiene
Alginato	Algas pardas marinas	Toda la planta
Pectina	Cascara de naranja	Toda la cáscara
Almidones	Maíz, papa, yuca, trigo	El grano o el tubérculo
Pectina de nopal	Opuntia Ficus Indica	Las hojas
Semillas de Nirmali	Strychnos Potatorum	Las semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo Schinopsis lorentzi	Corteza del árbol
Carboximetilcelulosa	Arboles	Corteza del árbol
Goma de Guar	Cyanopsis psoralioides	Semillas

Fuente: [18].

1.13. Cáscara de plátano manzano como bioadsorbente

La habilidad que poseen los residuos lignocelulósicos para la adsorción de iones de metales pesados es de gran importancia para desarrollar tecnologías que sean eficaces y de bajo costo para tratar aguas. La cascara de plátano manzano contienen celulosa, pectina, hemilcelulosa y como también otros compuestos de menor peso molecular en los cual se encuentran los limonenos. Contienen, por tanto, grupos funcionales activos como son los carboxilos, hidroxilos aminos [9].

1.14. Cultivo de plátano manzano

Este tipo de cultivo se da con mayor producción en climas templados después de su siembra su primera producción de

al cumplir 1 año y su tallo se lo utiliza como abono por su alto contenido de agua su producto tiene gran acogida en el mercado local a su vez importa en menor proporción a otros países [19].

1.15. Características principales para el cultivo

La planta se la describe como una hierba de grande tamaño y se dice que no es una un árbol sus hojas son bien alargadas y posee las siguientes características del cultivo son las siguientes:

- Planta. Es de gran tamaño y está compuesta por varias hojas que se desarrollan en tallo.
- Bulbo o rizoma (se describe como un tallo que contiene varias yemas). Es un tallo subterráneo que ayuda a producir varios puntos en el incremento de la planta.
- Raíces. Posee raíces que son superficiales, tiene un color blanquecino si se encuentra enterrado, y de color amarillento y duro al momento de que se asoman a la superficie.
- Tallo. El tallo es de gran tamaño y se encuentra enterrado. Al formarse una yema se convertirá en inflorescencia (flor).
- Hojas. Se producen en la parte elevada del rizoma. Las flores brotan de axilas de las hojas.
- Flores. Sus flores son amarillentas y en compañía de seis estambres.
- Fruto. Es una baya alargada, y tiene color amarillo verdoso [17].

1.16. Producción de plátano manzano en el Ecuador

La producción de este producto es muy poca en Ecuador debido a que es una especie rara y sus frutos son pequeños el país que más importa es Colombia por su sabor característico Ecuador solo importa el 10% de este producto, los campesinos aprovechan este producto para realizar harina y posterior a esto colada por su algo porcentaje de nutriente siendo un sustituto a la leche materna [19].

Ecuador es uno de los principales exportadores de plátano y solo el 10 % es de plátano manzano la mayoría de ser producción se queda a nivel local porque es cultivado en otros países en mayor escala Asia y África [20]. La producción tradicional de este plátano está asentada en zona de Cuzco provincia de Guayas, Azuay, El Oro, Bolívar, Cotopaxi y Chimborazo encargadas de comercializar el producto a nivel nacional e internacional, pero en menor cantidad banano [21].



2. Materiales Y Métodos

Procedimiento para la obtención del bioadsorbente de cáscara de naranja y plátano manzano en polvo.

A continuación, describimos los siguientes pasos de la preparación de la materia prima:

- **Recolección de la materia prima:** Se recogieron los residuos de las cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis L.*) del establecimiento de venta de jugos de la Universidad de Guayaquil y los residuos del plátano manzano (*Musa Sapientum*) de una bananera ubicada en los Ríos.
- **Limpieza:** Se sometió a un lavado las cáscaras con abundantes aguas destilada para eliminar las impurezas, y compuestos como taninos azucaras reductores.
- **Troceado:** Luego de la limpieza se cortó las **cascaras** en trozos pequeños con el fin de facilitar el proceso de secado y reducción de tamaño.
- **Secado:** Se realizó a una temperatura de 60°C en la estufa por 48 horas hasta obtener una masa constante.
- **Molienda:** Se molieron con la finalidad de reducir y pulverizar el tamaño de partículas.
- **Tamizado:** Una vez pulverizado se procedió a tamizar por tamaños utilizando el tamiz de Tyler que consta de una serie de tamices la cual solo se va a recoger los tamaños de partículas malla #9 que equivale a 0.3150mm.
- **Almacenamiento:** Se guardó en fundas esterilizadas separados según el tamaño de partículas con el fin de que no adquieran humedad y evitando una contaminación hasta la posterior prueba.

2.1. Caracterización fisicoquímica de los bioadsorbentes

- Determinación del pH de los bioadsorbentes.
- Se procedió a realizar una disolución de 10g muestra en 90 ml de agua destilada con agitación constante, a la solución resultante se lo midió el pH.
- Se obtuvo un pH para la cáscara de naranja en polvo de 4,27 y para el plátano manzano en polvo 6,05.
- Determinación del porcentaje de humedad de las cáscaras de plátano manzano y cascara de naranja deshidratada.
- Se pesó aproximadamente 3073,756 g de cáscara de naranja y de plátano manzano 3860,854g se introdujo a una estufa a 60°C durante 48 horas, una vez transcurrido ese tiempo se pasó las muestras a un desecador hasta que se enfrían a una temperatura

ambiente para lo posterior pesar y obtener el porcentaje de humedad.

Cálculo del porcentaje de humedad

$$\%H = \frac{PESO_{INICIAL} - PESO_{FINAL}}{PESO_{INICIAL}} * 100 \quad (1)$$

Cálculo del porcentaje de humedad de las cáscaras de naranja deshidratada

$$\%H = \frac{3073,756g - 798g}{3073,756g} * 100 \quad (2)$$

$$\%H = 74,03g \quad (3)$$

Cálculo del porcentaje de humedad de las cáscaras de plátano manzano deshidratado

$$\%H = \frac{PESO_{INICIAL} - PESO_{FINAL}}{PESO_{INICIAL}} * 100 \quad (4)$$

$$\%H = \frac{3860,854g - 518g}{3860,854g} * 100 \quad (5)$$

$$\%H = 86,58g \quad (6)$$

2.2. Preparación de la solución con los bioadsorbentes

El bioadsorbente obtenido se lleva a pesar en una balanza analítica para desarrollar una solución de 5000 ppm, 8000 ppm, y 10000 ppm por separado de cada bioadsorbente para realizar la experimentación necesaria en el equipo floculador y encontrar la dosis óptima en que se debe tratar el agua cruda.

En el diseño experimental se detallan las condiciones de proceso para definir el resultado efectivo para la captación de iones de metales pesados (plomo y cobre), utilizando el polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano con un solo tamaño de partícula correspondiendo a 0.315mm.

Se realizarán un total de 27 experimentos, en los primeros 6 experimento se utilizarán porcentajes en proporciones iguales de 5%, 10%, y 15%, de cada bioadsorbente y se los llevara al floculador donde estarán las muestras a tratar.

Siguiendo de 18 experimentos más los cuales se realizarán a partir de la elaboración de una solución patrón por separado de cada bioadsorbente de 5000 ppm ,8000 ppm, 10000 ppm de las cuales se tomarán dosificaciones de 10 ppm, 20 ppm y 30 ppm y se colocarán en vaso de precipitación con muestra a tratar.



Por último, se realizarán 3 experimentos en la cual se utilizará una mezcla del bioadsorbente en una relación 1:1 del polvo se preparó una solución de 8000 ppm de las cuales se tomará dosificaciones de 10 ppm, 20 ppm y 30 ppm y se colocarán en vaso de precipitación con muestra a tratar, se seleccionarán los mejores resultados de adsorción.

A continuación, se detallará el diseño experimental:

Tabla 4. Diseño experimental de la bioadsorción de cobre y plomo utilizando el polvo de cáscaras de plátano manzano y naranja.

Polvo de cáscara de naranja (%)	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 5	500
Muestra 2= 10	500
Muestra 3= 15	500
Polvo de cáscara de plátano manzano (%)	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 5	500
Muestra 2= 10	500
Muestra 3= 15	500

Fuente: [22].

Se pesó en una balanza analítica 5%, 10%, y 15%, del cada bioadsorbente con un tamaño de partícula de 0,3150 mm obtenido del polvo de cáscara de naranja y plátano manzano, y se agrega en cada uno de los vasos de precipitación que contienen un volumen de 500ml cada uno del agua a tratar, posteriormente se realizó la experimentación en el equipo floculador con agitación durante 12 horas a 100 rpm.

Tabla 5. Diseño experimental de la bioadsorción de cobre y plomo utilizando polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano.

Solución patrón (5000 ppm) Polvo de cáscara de naranja	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 10 ppm	500
Muestra 2= 20 ppm	500
Muestra 3= 30 ppm	500
Solución patrón (5000 ppm) Polvo de cáscara de plátano manzano	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 10 ppm	500
Muestra 2= 20 ppm	500
Muestra 3= 30 ppm	500

Fuente: [22].

Se prepara dos soluciones patrón de 5000 ppm una del bioadsorbente del polvo de cáscara de naranja y otra del bioadsorbente del polvo de cáscara de plátano manzano, con un tamaño de partícula de 0,3150 mm, se dosifica alícuotas de 10 ppm, 20 ppm, y 30 ppm en cada uno de los vasos de precipitación que contienen 500ml del agua a tratar, posteriormente se realizó la experimentación en el equipo floculador con agitación durante 12 horas a 100 rpm.

Tabla 6. Diseño experimental de la bioadsorción de cobre y plomo utilizando polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano.

Solución patrón (8000 ppm) Polvo de cáscara de naranja	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 10ppm	500
Muestra 2= 20ppm	500
Muestra 3= 30ppm	500
Solución patrón (8000 ppm) Polvo de cáscara de plátano manzano	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 10ppm	500
Muestra 2= 20ppm	500
Muestra 3= 30ppm	500

Fuente: [22].

Se prepara dos soluciones patrón de 8000 ppm una del bioadsorbente del polvo de cáscara de naranja y otra del bioadsorbente del polvo de cáscara de plátano manzano con un tamaño de partícula de 0,3150 mm, se dosifica alícuotas de 10 ppm, 20 ppm, y 30 ppm en cada uno de los vasos de precipitación que contienen 500 ml del agua a tratar, posteriormente se realizó la experimentación en el equipo floculador con agitación durante 12 horas a 100 rpm.

Tabla 7. Diseño experimental de la bioadsorción de cobre y plomo utilizando polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano.

Solución patrón (10000 ppm) Polvo de cáscara de naranja	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 10ppm	500
Muestra 2= 20ppm	500
Muestra 3= 30ppm	500
Solución patrón (10000 ppm) Polvo de cáscara de plátano manzano	Volumen de agua cruda (ml)
Muestra 1= 10ppm	500
Muestra 2= 20ppm	500
Muestra 3= 30ppm	500

Fuente: [22].



Se prepara dos soluciones patrón de 10000 ppm una del bioadsorbente del polvo de cáscara de naranja y otra del bioadsorbente del polvo de cáscara de plátano manzano con un tamaño de partícula de 0,3150mm, se dosifica alícuotas de 10ppm, 20ppm, y 30ppm en cada uno de los vasos de precipitación que contienen 500ml del agua a tratar, posteriormente se realizó la experimentación en el equipo floculador con agitación durante 12 horas a 100 rpm.

3. Resultados

Tabla 8. Caracterización de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis L*)

Parámetros	Cáscara de naranja
pH	4,27
Humedad (%) de la cáscara de naranja	74,03
Humedad (%) del polvo de cáscara de naranja	1,88
Cenizas totales del bioadsorbente	10,38

Tabla 9. Caracterización de la cáscara de plátano manzano

Parámetros	Cáscara de plátano manzano
pH	6,05
Humedad (%) de la cáscara de plátano manzano	86,58
Humedad (%) del polvo de cáscara de plátano manzano	2,32
Cenizas totales del bioadsorbente	15,79

Fuente: [22].

En las tablas 8, y 9 se presentan los resultados obtenidos de la cáscara de naranja y plátano manzano:

- **pH:** Los valores de pH obtenidos se ubican dentro del rango para los dos bioadsorbentes del plátano manzano 6,05 y la naranja 4,27, los cuales son similares a los obtenidos en la investigación de [23], los mismos obtuvieron valores de pH en rangos comprendidos de 5,4 a 6,9 para el bioadsorbente de plátano manzano y para el bioadsorbente de naranja es de 4 a 5.
- **Humedad:** El contenido de humedad de la cáscara de naranja fue de 74,03% y el plátano manzano 86,58 % , mientras que para los bioadsorbentes en polvo de naranja y plátano manzano 1,88 % y 2,32 % respectivamente, son similares a los reportado por [24].

- **Porcentaje de cenizas totales:** Los valores obtenidos de porcentaje de cenizas totales para los bioadsorbentes de naranja 10,38 g y para plátano manzano 15,79 g son similares a los reportado por [24].

3.1. Bioadsorción de cobre con el polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano

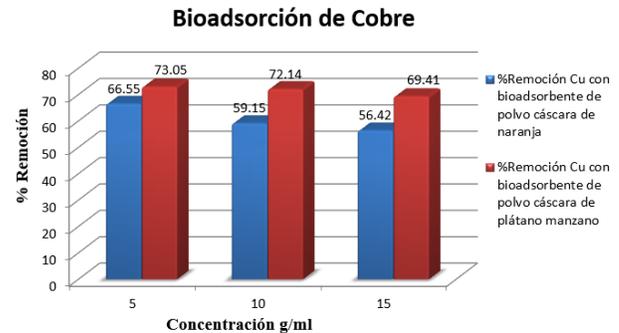


Fig. 1. Bioadsorción de cobre con respecto a la concentración g/ml

Fuente: [22].

En la figura 1 se observa la evaluación de la remoción del cobre a diferentes gramajes. Los mejores resultados obtenidos fueron con la dosificación de 5g/ml en ambos casos, sin embargo, con el polvo de cáscara de plátano manzano se obtuvo el mayor porcentaje de remoción del 73,05 % con una capacidad de adsorción de 0,112 mg/g, es decir se obtuvo un 6% mayor de remoción.

3.2. Bioadsorción de cobre con el polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano.

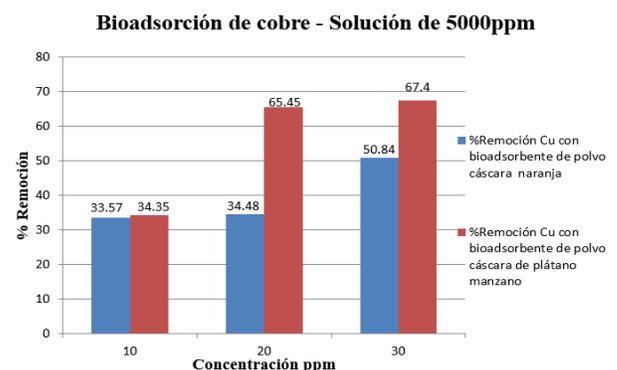


Fig. 2. Bioadsorción de cobre con respecto a la concentración ppm

Fuente: [22].

En la figura 2 se observa la evaluación de la remoción del cobre con una solución de 5000 ppm, tomando diferentes alícuotas. Los mejores resultados obtenidos fueron con una alícuota de 30 ppm en ambos casos, sin embargo, con el polvo de cáscara de plátano manzano se obtuvo el mayor porcentaje de remoción del 67,40% con una capacidad de adsorción de 0,103 mg/g.

3.3. Bioadsorción de cobre con el polvo de cáscara de naranja y plátano manzano

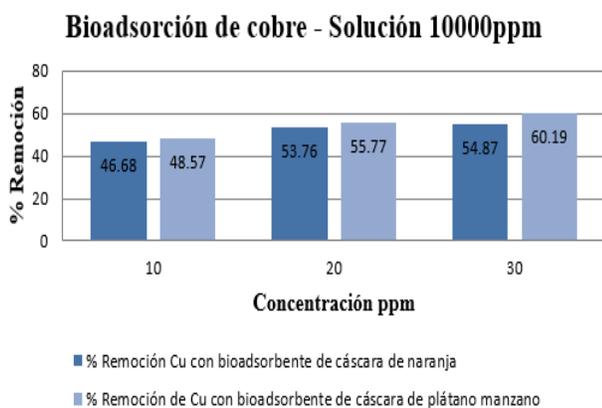


Fig. 3. Bioadsorción de cobre con respecto a la concentración ppm
Fuente: [22].

En la figura 3 se observa la evaluación de la remoción del cobre con una solución de 10000ppm con distintas dosificaciones, realizado en el floculador durante 12 horas de agitación a 100 rpm con un tamaño de partícula 0,315mm. Los mejores resultados obtenidos fueron con una alícuota de 30ppm en ambos casos, sin embargo, con el polvo de cáscara de plátano manzano se obtuvo el mayor porcentaje de remoción del 60,19% con una capacidad de adsorción de 0,046 mg/g, es decir 5,32% de mayor remoción.

3.4. Bioadsorción de cobre con el polvo de cáscara de naranja

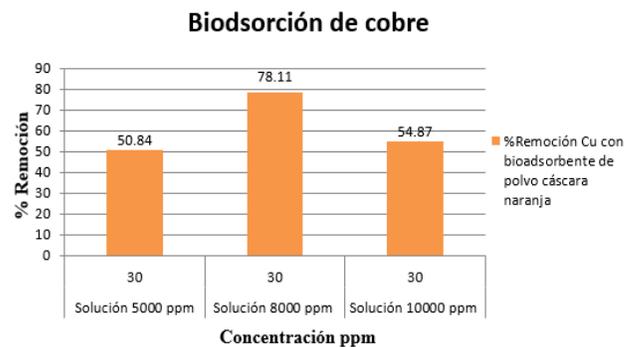


Fig. 4. Bioadsorción de cobre con respecto a la concentración ppm
Fuente: [22].

En la figura la evaluación de remoción de cobre utilizando 3 diferentes soluciones patrón de 5000 ppm, 8000 ppm y 10000 ppm con la alícuota de 30 ppm de cada una de ellas con el bioadsorbente cáscara de naranja, se determinó que con la solución de 8000 ppm ofrece mayor remoción alcanzando un porcentaje de remoción 78,11%.

3.4. Bioadsorción de cobre con el polvo de cáscara plátano manzano

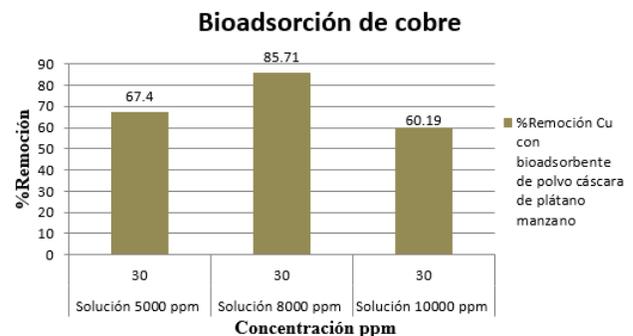


Fig. 5. Bioadsorción de cobre con respecto a la concentración ppm
Fuente: [22].

En la figura 5 en la evaluación de remoción de cobre utilizando 3 diferentes soluciones patrón de 5000 ppm, 8000 ppm y 10000 ppm con la alícuota de 30 ppm de cada una de ellas con el bioadsorbente cáscara de plátano manzano, se determinó que con la solución de 8000 mg/l ofrece mayor remoción alcanzando un porcentaje de remoción 85,71%.

3.5. Bioadsorción de cobre con la mezcla de polvo de cáscara de naranja y plátano manzano

Bioadsorción de cobre - Solución de 8000ppm

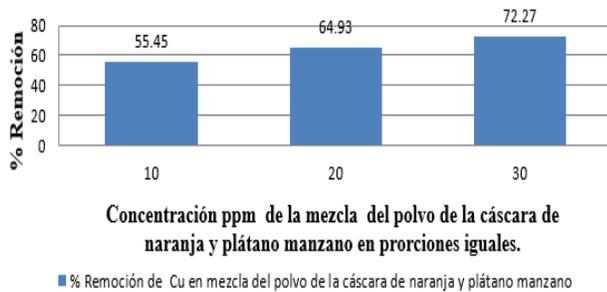


Fig. 6. Bioadsorción de cobre con respecto a la concentración ppm
Fuente: [22].

En la figura, se observa los resultados obtenidos a partir de la solución patrón de 8000 ppm, siendo ésta la concentración óptima que presentó mayor porcentaje de remoción trabajando con los bioadsorbentes por separado. Razón por la cual a partir de dicha concentración se prepararon soluciones de igual proporción con ambos bioadsorbente, obteniéndose la mayor remoción con 30ppm tomando una alícuota de 15ppm de cada bioadsorbente, alcanzando un porcentaje de remoción del 72,27 %.

3.6. Bioadsorción de plomo con el polvo de cáscara de naranja y plátano manzano

Bioadsorción de Plomo - Solución 8000ppm

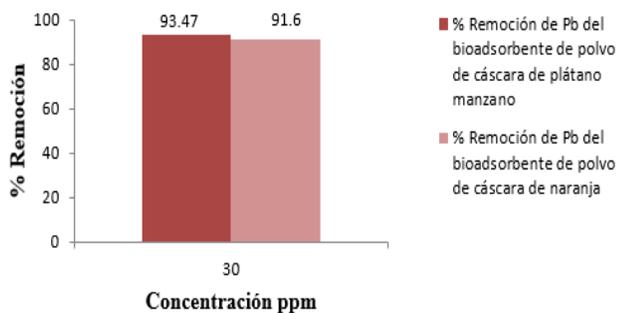


Fig. 7. Bioadsorción de plomo con respecto a la concentración ppm
Fuente: [22].

En la figura 7 se observa la evaluación de la remoción del plomo con una solución de 8000ppm, realizado en el floculador durante 12 horas de agitación a 100 rpm con un tamaño de partícula 0,315mm. Los mejores resultados obtenidos fueron con una alícuota de 30ppm en ambos casos, sin embargo, con el polvo de cáscara de plátano manzano se obtuvo el mayor porcentaje de remoción del 93,47% con una capacidad de adsorción de 0,1311 mg/g.

4. Conclusiones

La caracterización fisicoquímica de las muestras tomadas en el Río Puyango fue analizada y se determinó principalmente la presencia de metales pesados con concentraciones fuera del límite máximos permisibles en base al Acuerdo del Anexo N°097 A Norma de calidad ambiental de recurso agua, siendo 2,2444 mg/L de Plomo y 1,54 mg/L de Cobre. Además de 58,4 NTU de Turbidez, pH de 5,13.

En la obtención de polvo de cáscara de naranja el rendimiento alcanzado fue del 26% de 3,1kg de cáscara de naranja con un tamaño de partícula de 0,315mm y un porcentaje de humedad de 1,88%. Mientras que con 3,8 kg de cáscara de plátano manzano se obtuvo el 13,41% de rendimiento, obteniendo un polvo de 0,315mm con una humedad del 2,32 %.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el bioadsorbente de cáscara de plátano manzano ofrece la mayor capacidad de absorción de ambos metales pesados, siendo 0,082 mg/g para el Cobre y 0.1311 mg/g Plomo, alcanzado una remoción del 93,47% de Plomo, y 85,71% Cobre respectivamente. Sin embargo, con el bioadsorbente de cáscara de naranja se determinó una capacidad de adsorción de 0,075mg/g para el Cobre y 0.1284 mg/g Plomo, alcanzado una remoción del 91,60% de Plomo, y 78,11% de Cobre respectivamente.

Mediante la experimentación realizada, se determinó que los mejores resultados respecto a la capacidad de adsorción y remoción de los metales pesados objeto de estudio, el cobre y plomo, fue en base al bioadsorbente de polvo de cáscara de plátano manzano. Es así que el agua resultada de la utilización del bioadsorbente antes mencionado presentó disminución de la concentración de Plomo en 2,098 mg/L y para el Cobre en 1,32 mg/L. Cabe recalcar que dichos valores se encuentran por debajo del límite máximo permisible para descargas a un cuerpo hídrico



receptor de agua dulce, de acuerdo con el Anexo 097-A Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Recomendaciones

Continuar con la presente investigación realizando variaciones de concentración, con un tamaño de partícula inferior a 0,315mm, que permiten replicar el presente trabajo a nivel industrial.

Al realizar el secado de la cáscara de naranja y plátano manzano se recomienda colocarla a la estufa a una temperatura máxima de 60°C para evitar alteración o cambio en sus grupos funcionales los cuales son causantes de la adsorción.

Referencias

- [1] D. Mendoza, «Efecto de granulometría y peso de cáscara de citrus sinensis (Naranja) en la remoción de plomo en aguas de la laguna de Pías -Pataz,» Repositorio de la Universidad César Vallejo, 2018.
- [2] . E. Quimí , M. Barcos y J. Naranjo, «Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera,» *Revista bionatura*, 05 25 2017.
- [3] S. Telisman, B. Colak, A. Pizent, J. Jurasović y Cvitko, «Adverse effects of low level heavy metal exposure on male reproductive function,» *PubMed*, pp. pp.256-66, 2007.
- [4] C. Valerio, P. d. I. C. Burelo, R. Melgoza y M. Valladares, «Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales,» *Scielo*, pp. pp.55-73, 2016.
- [5] C. Tejada, Á. Villabona y L. Garcés, «Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico,» *Tecnológicas*, pp. pp.109-123, 2015.
- [6] M. Aguilar y C. Flores, «Evaluación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como material adsorbente natural de ión metálico Cu(II),» Repositorio de la Universidad de San Agustín, 2018.
- [7] G. Ortega, «Contaminación permanente del río Puyango,» *El Telégrafo*, 25 10 2017.
- [8] L. Londoño, P. Londoño y F. Muñoz, «Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal,» *Scielo Vol 14 No. 2*, pp. pp.145-153, 2016.
- [9] B. Pastor, «Uso de la cáscara del banano (Musa Paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención e metales , plomo y cromo en aguas contaminadas,» Repositorio de la Universidad de Guayaquil, 2015.
- [10] Facsa, «Facsa,» Repositorio de Facsa, 2017.
- [11] J. Verdugo, «Bioadsorción de iones plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de mandarina (Citrus Reticulata var. Clementina),» Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [12] A. Apelo, «Bioadsorción con cáscara de naranja (Citrus sinensis) en agua contaminada por anilina de la Empresa Curtiembre – Huachipa 2017,» Repositorio de: Universidad César Vallejo, Lima-Perú, 2017.
- [13] D. Aguirre, «“Determinación de la capacidad de bioadsorción en la cáscara de naranja para la remoción de cadmio en aguas residuales de dos fábricas de textiles en el Cantón Pelileo Provincia de Tungurahua”,» Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, 2017.
- [14] W. Montalvo, «Diagnóstico de la Tecnología local de la Producción de Naranja (citrus sinensis L) en Calumá provincia de Bolívar,» Recuperado de : Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [15] L. Arreaga, «La producción y exportación de las principales frutas no tradicionales y su importancia en las exportaciones totales del Ecuador , periodo 2012-2016.,» Recuperado de : Tesis de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2017.
- [16] M. d. I. Á. Torres, M. Román, C. González, A. Rodríguez y Z. Fundora, «Evaluación fenotípica y bioquímica de plantas regeneradas de meristemas proliferantes crioconservados de plátano,» Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”, Cuba, 2011.
- [17] D. Leroy, «Como cuidar y cultivar un plátano,» Recuperado de Leroy Merlin, Palma, 2017.
- [18] B. Ticonia, «Estudio de la determinación de la actividad de floculantes en aguas provenientes del Río Chili contenido As,Pb,y Cr tratados con pectina obtenido a partir de la cáscara de naranja, limón, y mandarina,» Repositorio Institucional Unsa Investiga, Arequipa- Perú, 2018.
- [19] F. Cárdenas, «Estudio del Mercado de la Cadena de Plátano,» Referenciado por : Ministerio de agricultura, Perú, 2010.
- [20] G. Blasco y F. Gómez, «Propiedades funcionales del plátano (Musa sp),» *Rev Med UV*, pp. pp. 23-26, 2014.
- [21] B. Castro, «Uso de la cáscara del banano (Musa Paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención e metales , plomo y cromo en aguas contaminadas,» Repositorio: Universidad de Guayaquil , Guayaquil, 2015.
- [22] L. Vega y E. Ortiz, Escritores, [Performance]. 2019.
- [23] L. Tejada, C. Tejada, W. Marimón y Á. Villabona, «Estudio de modificación química y física de biomasa (Citrus sinensis y Musa paradisiaca) para la adsorción de metales pesados en solución,» *Luna Azul*, pp. pp.124-142, 2014.
- [24] S. Mercado, «Uso de biomasa seca (Cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea ,Cruz del Médano ,Mórrope,Lambayeque,a nivel de laboratorio,» Repositorio Universidad César Vallejo, 2018.