



Eficiencia de la cáscara de *Manihot esculenta* para la bioadsorción de plomo en aguas contaminadas

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.292>

Efficiency of *Manihot esculenta* peel for the bioadsorption of lead in contaminated waters

Eficiência da casca de *Manihot Esculenta* na bioadsorção de chumbo em águas poluídas

Diana Catalina Gonzales Ramos n00216367@upn.pe

Marcos Alejandro Robles Lora marcos.robles@upn.pe

Jean Carlos Ecurra Lagos jean.escurra@upn.pe

Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú

Artículo recibido 22 de marzo 2024 / Arbitrado 26 de abril 2024 / Publicado 2 de mayo 2024

RESUMEN

El río Moche, particularmente en su cuenca media, se utiliza para fines de riego, pero enfrenta desafíos relacionados con la contaminación debido a múltiples factores, lo que resulta en una utilización inadecuada de este recurso hídrico. Uno de sus contaminantes que con mucha frecuencia está presente en este cuerpo de agua, es el plomo; afectando al ecosistema y a las comunidades locales. El **objetivo** planteado es determinar la eficiencia de la cáscara de yuca en la bioadsorción de plomo presente en las aguas del río Moche, utilizando el porcentaje de remoción como medida. Para ello, se implementó una **metodología** que adoptó un enfoque cuantitativo, siendo un estudio transversal con un diseño experimental. En primer lugar, se recolectaron muestras in situ, las cuales fueron posteriormente llevadas al laboratorio para la preparación del bioadsorbente y la identificación de las concentraciones de plomo antes y después de la aplicación de la cáscara de yuca. Los **resultados** obtenidos revelaron una relación directa entre la concentración del bioadsorbente y la eficiencia en la remoción de plomo, mostrando que, a mayor concentración del mismo, la remoción es más efectiva. En **conclusión**, la cáscara de yuca demostró una alta eficiencia en la remoción de plomo en las aguas del río Moche, logrando alcanzar hasta un 83% de remoción en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: Tratamiento de aguas; Cáscara de yuca; Bioadsorbente; Remoción

ABSTRACT

The Moche River, particularly in its middle basin, is used for irrigation purposes, but faces challenges related to contamination due to multiple factors, resulting in inadequate use of this water resource. One of the contaminants that is frequently present in this body of water is lead, affecting the ecosystem and local communities. The **objective** is to determine the efficiency of cassava peel in the removal of lead present in the Moche River water, using the percentage of removal as a measure. For this purpose, a **methodology** that adopted a quantitative approach was implemented, being a cross-sectional study with an experimental design. First, samples were collected in situ, which were subsequently taken to the laboratory for the preparation of the bioadsorbent and the identification of lead concentrations before and after the application of cassava peel. The **results** obtained revealed a direct relationship between the concentration of the bioadsorbent and the efficiency of lead removal, showing that the higher the concentration, the more effective the removal. In **conclusion**, the yucca peel showed a remarkable efficiency in the removal of lead in the Moche river water, achieving up to 83% removal under the conditions evaluated.

Key words: Water treatment; Cassava peel; Bioadsorbent; Removal of water

RESUMO

O rio Moche, especialmente em sua bacia média, é usado para fins de irrigação, mas enfrenta desafios relacionados à poluição devido a vários fatores, resultando na utilização inadequada desse recurso hídrico. Um dos poluentes mais frequentes nesse corpo d'água é o chumbo, que afeta o ecossistema e as comunidades locais. O **objetivo** é determinar a eficiência da casca de mandioca na remoção do chumbo presente nas águas do rio Moche, usando a porcentagem de remoção como medida. Para isso, foi implementada uma **metodologia** que adotou uma abordagem quantitativa, sendo um estudo transversal com um projeto experimental. Primeiramente, foram coletadas amostras in situ, que depois foram levadas ao laboratório para a preparação do bioadsorbente e a identificação das concentrações de chumbo antes e depois da aplicação da casca de mandioca. Os **resultados** obtidos revelaram uma relação direta entre a concentração do bioadsorbente e a eficiência da remoção de chumbo, mostrando que quanto maior a concentração, mais eficaz a remoção. Em **conclusão**, a casca de mandioca mostrou uma eficiência notável na remoção de chumbo na água do rio Moche, alcançando até 83% de remoção nas condições avaliadas.

Palavras-chave: Tratamento de águas; Casca de mandioca; Bioadsorbente; Remoção

INTRODUCCIÓN

A nivel global, diversos contaminantes, desde grandes trozos de basura hasta sustancias químicas invisibles, contaminan cuerpos de agua como ríos, lagos, etc., y terminan en los océanos. Lamentablemente estos sucesos perjudican significativamente a la conservación de medio ambiente, para ello, es de vital importancia promover ciertas estrategias que contribuyan a utilizar alternativas medioambientales. Esta polución, junto con la escasez de agua y el crecimiento demográfico, genera una crisis en los recursos de agua dulce, amenazando nuestras fuentes de agua potable y otras necesidades vitales para el ser humano según Nuñez (1).

En América Latina, la economía ha dependido significativamente de la explotación de sus recursos naturales, como los extensos yacimientos minerales, que atraen inversiones extranjeras con fines industriales. Este aspecto es de vital relevancia para el crecimiento de países de la región, teniendo en consideración el beneficio de la ubicación geográfica. Los recursos naturales se han convertido en un factor relevante para el crecimiento de la economía en países de Sudamérica, por ello, es necesario enfocarse en la innovación tecnológica, la cual permita dirigirse a un crecimiento sustentable en el corto y largo plazo (2).

En el Perú, la minería y los hidrocarburos fueron cruciales en 2021, aportando significativamente al PIB y representando una parte importante de las inversiones y exportaciones.

En 2020, también contribuyeron con un récord histórico en ingresos fiscales (3). Sin embargo, un comunicado de la Defensoría del Pueblo (4), alertó a las autoridades sobre el aumento de manifestaciones tumultuosas en disputas socioambientales relacionadas con la minería, que amenazan la seguridad física de individuos, la paz pública y los derechos de propiedad, entre otros.

En Perú, la Autoridad Nacional del Agua, declaró Estado de Emergencia debido a preocupaciones sobre la calidad del agua en el río Moche, temiendo que la descarga de aguas residuales ácidas de una unidad minera pueda causar riesgos ambientales y de salud (5). Además, el Instituto Nacional de Defensa Civil y el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (6), informó sobre la contaminación del río Moche desde 2020, atribuida a problemas ambientales relacionados con empresas mineras, afectando a las comunidades en las provincias de Julcán, Santiago de Chuco, Otuzco y Trujillo, impactando su subsistencia y salud. Ante esta problemática de contaminación, se propone una solución innovadora.

De esta forma, través del análisis y la experimentación, se demuestra la eficiencia de la cáscara de yuca para bioadsorber eficazmente el plomo presente en las aguas contaminadas. Este estudio no solo representará una alternativa económicamente viable y ambientalmente sostenible para abordar la contaminación, sino que también abrirá nuevas perspectivas en el campo de estudio de la adsorción de

contaminantes como el plomo en los recursos hídricos. Se espera que la implementación práctica de estos hallazgos genere un impacto concreto en la realidad ambiental, allanando el camino hacia la restauración y preservación a largo plazo del ecosistema fluvial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque cuantitativo usa datos y análisis estadístico para comprobar hipótesis y validar teorías, buscando patrones de comportamiento (7). Básicamente, este enfoque nos ayudaría a entender cómo se comporta la cáscara de yuca en función de su masa, lo que nos permitiría investigar su eficacia para eliminar plomo. Esto

otorga datos concretos sobre si la cáscara de yuca podría ser utilizada para tratar aguas contaminadas con plomo. Con respecto al tipo de investigación se considera aplicado, porque se utiliza el conocimiento ya existente para obtener alternativas de solución (7). Referente al diseño de investigación se trata de un diseño experimental, por lo que, se manifiesta la manipulación de variables involucradas en el estudio (7).

La ubicación del área de muestreo se localizó en el Departamento de La Libertad, específicamente en la provincia de Otuzco, distrito de Agallpampa, Perú, con las siguientes coordenadas UTM: latitud 9123055.07 m S y longitud 767381.46 m E Figura 1



Figura 1. Ubicación del área de muestreo: río Moche, Otuzco.

En este caso, la población que se analiza está compuesta por las aguas del río Moche en la cuenca media de Otuzco, se extrajo una muestra de tres litros de agua superficial. La recolección

de muestras de agua se llevó a cabo siguiendo el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales" (Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA),

reconocido ampliamente como una guía confiable y estándar en el monitoreo de la calidad del agua en superficies acuáticas (8).

En el contexto de este estudio, se han empleado diversos instrumentos, tales como etiquetas de muestreo, cadena de custodia, una ficha para describir el lugar de muestreo y un registro para consignar los datos de muestra inicial y final en las concentraciones en plomo.

La técnica se considera como una herramienta esencial en diversas disciplinas científicas (8). Por tanto, en este estudio se ha empleado la observación como técnica principal. Esta se utilizó para recolectar datos que describen las características del lugar de muestreo, así como para documentar el proceso del llenado de fichas, registros y la obtención del bioadsorbente en laboratorio.

En el marco de esta investigación, se empleó el análisis de datos y técnicas estadísticas descriptivas, como es el caso de tablas de contingencia y de doble entrada. Esto se llevó a cabo a través de la utilización de figuras que se adaptan a la necesidad de presentar la información, con la asistencia de Microsoft Excel.

El procedimiento para llevar a cabo esta investigación consta de cuatro etapas fundamentales: la recolección de la muestra, la preparación del bioadsorbente (cáscara de *Manihot esculenta*, el análisis de la concentración de plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica y, finalmente, la aplicación del test de jarras.

Recolección de la muestra: Se enjuagó un recipiente de un litro con agua del mismo río antes de recolectar las muestras, asegurando su integridad. Las muestras recolectadas fueron etiquetadas y almacenadas en un cooler para su preservación. Por último, fueron trasladadas al laboratorio para su análisis.

Preparación del bioadsorbente: Se adquirieron 4 kilogramos de yuca y se pelaron con un cuchillo. Luego, las cáscaras fueron lavadas con agua destilada y cortadas en trozos de 0.5 a 1 centímetro, manteniendo un pH de 2.85. Las cáscaras preparadas se colocaron en bandejas de aluminio y se secaron en una estufa a 105°C durante 24 horas. Después, se redujo el tamaño de las cáscaras hasta obtener una textura similar a la harina usando un mortero y se tamizaron con una malla número 40. El bioadsorbente resultante fue 8 gramos, el cual se almacenó temporalmente en una bolsa hermética.

Análisis de la concentración de plomo: Se realizó la digestión de la muestra siguiendo un procedimiento. Se seleccionó un vaso de precipitación limpio, al cual se vertieron 30 ml de la muestra del río. Se añadieron 3 ml de ácido nítrico (HNO_3) y se mezcló. La solución se evaporó en una cocina a 240°C hasta reducir el volumen a 10 ml. Después de enfriar a temperatura ambiente, se filtró con una bomba de vacío y se aforó agregando 20 ml de la muestra original para obtener un volumen total de 30 ml. La muestra aforada se introdujo en el espectrofotómetro de absorción

atómica para identificar la concentración inicial de plomo.

Aplicación del test de jarras: En esta última fase, se empleó cáscara de yuca molida, con un peso de 8 gramos. La muestra se dividió en dos vasos de precipitación de 1000 ml, cada uno previamente aforado a aproximadamente 250 ml. Se colocaron en el equipo y se agitaron a 100 rpm durante 5 minutos. Luego, se añadieron 2 gramos de cáscara de yuca a un vaso y 4 gramos al otro, continuando la agitación a 150 rpm durante 10 minutos. Después, se dejaron reposar durante 15 minutos para facilitar la sedimentación. Las muestras se filtraron con una bomba de vacío y se transfirieron a otros vasos de precipitación limpios. Este proceso preparó las muestras para el análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica de tipo llama. Durante la filtración, se perdió un poco de muestra, resultando en 225 ml en cada vaso, lo que permitió determinar la concentración de plomo y cualquier variación en este parámetro.

Por último, la remoción en este contexto se refiere a la capacidad del bioadsorbente de la cáscara de *Manihot esculenta* para disminuir los contaminantes presentes de las concentraciones del agua residual. La fórmula proporcionada se utiliza para calcular el porcentaje de remoción (9):

$$\text{Remoción (\%)} = (C_i - C_f) \times 100 / C_i$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

RESULTADOS

En la primera medición de las concentraciones de plomo de las aguas del río Moche en Perú, realizada mediante espectrofotometría de absorción atómica tipo llama, son los siguientes:

Tabla 1. Concentración inicial de plomo sin bioadsorbente.

	Concentración (mg/L)
Muestra sin bioadsorbente	0.4147
	0.4123
Promedio	0.4135

En la Tabla 1, se presenta la concentración inicial de plomo identificada en la muestra de agua procedente del río Moche. Este análisis se realizó mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica de llama, un instrumento altamente preciso en la determinación de

concentraciones de elementos en soluciones acuosas. Durante el proceso, el sistema del espectrofotómetro generó dos lecturas distintas, las cuales fueron promediadas para obtener un valor más confiable y representativo de la concentración inicial de plomo en la muestra. El

valor promediado obtenido fue de 0.41 mg/L, el cual se considera como una medida significativa en términos de la presencia de plomo en el agua del río Moche.

Tras haber determinado la concentración inicial de plomo, se avanzó con la fase de aplicación del bioadsorbente. Una vez completada

esta etapa, se procedió con la medición de la concentración final de plomo en la muestra tratada. Como se destacó anteriormente, se extrajeron dos muestras distintas de bioadsorbente, una de 2 g y otra de 4 g, con el objetivo de evaluar su capacidad de adsorción en diferentes cantidades.

Tabla 2. Concentración inicial de plomo sin bioadsorbente.

	Concentración (mg/L)
Muestra 2 g de bioadsorbente	0.09 0.13 0.10
Promedio	0.11

En la Tabla 2, se detalla la concentración final de plomo después de la aplicación de 2 g de bioadsorbente. Los resultados muestran una disminución en la concentración de plomo,

partiendo de 0.41 mg/L como concentración inicial hasta alcanzar 0.11 mg/L como concentración final.

Tabla 3. Concentración final de plomo con 4g de bioadsorbente

	Concentración (mg/L)
Muestra 2 g de bioadsorbente	0.05 0.07 0.08
Promedio	0.07

En la Tabla 3, se detalla la concentración final de plomo después de la aplicación de 4 g de bioadsorbente. Los resultados muestran una notable disminución en la concentración de plomo, partiendo de 0.41 mg/L como concentración inicial hasta alcanzar 0.07 mg/L como concentración final.

Por último, según el porcentaje de remoción basado en la ecuación propuesta por Romero et al. (9), se obtiene un porcentaje de remoción del 73% para la aplicación de 2g y del 83% para la aplicación de 4g. Esto indica que el tratamiento con mayor cantidad de cáscara de *Manihot esculenta* como bioadsorbente es altamente eficiente.

DISCUSIÓN

Según Cruz et al., (10) determinó la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico (As) en el agua del río Moche, usando criterios volumétricos, espectrofotométricos y gravimétricos, para poder llegar a determinar si sus biomásas de interés son eficientes. Usó el test de jarras enfocándose en el tiempo de contacto y la velocidad de agitación.

Mientras que, Tejada et al., (11), en su estudio de remoción de plomo de aguas contaminadas con cáscara de yuca, también aplicó la espectrofotometría de absorción atómica, pero trabajó solo con dos variables: tamaño de partícula y el pH. Es así que, en este estudio enfocado en determinar la eficiencia de la cáscara de yuca, se empleó el método volumétrico, ya que durante los procedimientos en laboratorios las muestras fueron medidas a fin de obtener valoraciones volumétricas; el método gravimétrico, fue otro punto importante porque se usaron datos de masa del bioadsorbente, en este caso cáscara de yuca en diferentes cantidades (2g y 4g) las cuales fueron aplicadas a las muestras; y como último método, la espectrofotometría, cuya técnica fue necesaria para poder determinar las concentraciones iniciales (sin bioadsorbente) y finales (con bioadsorbente). Además, la aplicación del test de jarras también fue aplicada en esta investigación.

Además, se pretendió calcular el porcentaje de eficiencia en su bioadsorción para

el plomo. Según Tovar et al., (12), la bioadsorción es un proceso de adsorción en el que un material biológico, como la biomasa viva o muerta, es utilizado para remover contaminantes de una solución acuosa, mientras que, el bioadsorbente, es un material que puede adsorber y retener sustancias químicas, como metales pesados. Estos se pueden obtener de una variedad de fuentes, incluidas plantas, animales, microorganismos y residuos orgánicos (13). En este caso, se usó como bioadsorbente la corteza de *Manihot esculenta* para la reducción de plomo y luego de realizar las mediciones, poder calcular su porcentaje de remoción y finalmente, determinar si es eficiente la cáscara de yuca. Para esta investigación, el cálculo basado en la ecuación propuesta por Romero et al., (9), se calculó los porcentajes de remoción para la aplicación de 2g de bioadsorbente es del 73% y para la aplicación de 4g es del 83%.

Por otra parte, Tejada et al., (11), menciona sobre la remoción de plomo en aguas contaminadas, usó la cascara de yuca alterada con ácido cítrico, con la finalidad de mejorar la remoción de plomo. El autor menciona que, la corteza de yuca muestra una alta capacidad en la adsorción de plomo, cuando es alterada con ácido cítrico. Igualmente, Huanca et al. (14), demostró que la corteza de yuca alterada con ácido cítrico es buena alternativa para remover metales pesados como, el plomo (II) y el cobre (II). Finalmente, se puede decir que la cáscara de yuca otorga mejores resultados en su remoción, ya que su efecto

bioadsorbente está respaldado. A pesar de ello, en este estudio la cáscara de yuca no fue modificada, sin embargo, es probable que con modificación los resultados hubieran sido mejores con respecto a su eficiencia.

CONCLUSIONES

Se logró determinar que la cáscara de yuca tiene una alta eficiencia en la remoción de plomo en las muestras de agua contaminada del río Moche. La aplicación de 2 g de bioadsorbente logró una remoción del 73%, mientras que la aplicación de 4 g resultó en un 83% de remoción. Esto indica que, a mayor concentración de bioadsorbente, se obtiene una alta eficiencia en la remoción del plomo.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nuñez C. La contaminación del agua constituye una crisis mundial creciente. Esto es lo que hay que saber. National Geographic. 2011. <https://acortar.link/3x66R>
2. Traverso I. Compañías extranjeras capitalizando con minerales de Latinoamérica/Foreign Companies Profit from Latin American Minerals. <https://acortar.link/ay0RQJ>
3. Ministerio de Economía y Finanzas. Para impulsar las inversiones en minería e hidrocarburos el MEF plantea ampliar la devolución del IGV a las actividades de exploración. Ministerio de Economía y Finanzas. 2022. <https://acortar.link/Belutf>
4. Defensoría del Pueblo. Conflictos mineros: Defensoría del Pueblo invoca al Estado, las comunidades y empresas a persistir en el diálogo. Defensoría del Pueblo. 2022. <https://acortar.link/YJg1aa>
5. Autoridad Nacional del Agua. Declaran en estado de emergencia a distritos de La Libertad por peligro ante contaminación del río Moche. Autoridad Nacional del Agua. 2020. <https://acortar.link/78t0Cf>
6. Instituto Nacional de Defensa Civil y Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. Por contaminación hídrica del río Moche en las provincias del departamento de La Libertad. <https://acortar.link/S2B21p>
7. Sampieri RH, Collado CF, Lucio MB. Metodología de la Investigación. México (McGRAW-HILL); 2014. <https://acortar.link/k1zr52>
8. Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional Para El Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos Superficiales. 2016. <https://acortar.link/Y5hm3z>
9. Romero M, Cruz A, Salinas E, Hernández L. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista internacional de contaminación ambiental. 2009; 25(3):157–67. <https://acortar.link/ih8zju>
10. Cruz A, Arteaga Y. Eficiencia de vaina de *Phaseolus Vulgaris* y cáscara de citrus *Sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del río Moche. 2020. <https://acortar.link/wiWOYt>
11. Tejada C, Montiel Z, Acevedo D. Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II). CIT Inform Tecnol; 27(1):09–20. <https://acortar.link/56qTY>
12. Tovar C, Ortiz Á, Jaraba L. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Tecno Lógicas. <https://acortar.link/NOOCTE>
13. Silva J, Estrada R, Benitez F, Cantabrana Á. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. TIP. <https://acortar.link/hi2oMD>

14. Huanca L, Halanocca D. Optimización de los parámetros de adsorción de Cu (II) Y Pb (II) por la cáscara de yuca (Manihot Esculenta Crantz). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; 2020. <https://acortar.link/H2E4J7>