



DOI: <https://doi.org/10.70208/3007.8245.v6.n1.361>

*Remoción de plomo en aguas sintéticas mediante biosorción en sistema Batch empleando la cascara de castaña (*Bertholletia excelsa*)*

Jane Mara Linares Pomareda

jlinares@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-3668-7345>

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
Perú

Pavel Kewin Delgado Sarmiento

pdelgados@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9328-545X>

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
Perú

Silvana Mercedes Vizcarra Nuñez

svizcarra@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-1285-7226>

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
Perú

Rosario Del Carmen Canahuire Pando

rcanahuirep@unsa.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0005-1866-6956>

Investigador Independiente
Perú

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se evaluó la viabilidad de utilizar un residuo agroindustrial, cascara de castañas, como biosorbente para la remoción de plomo (Pb^{2+}) en soluciones acuosas diluidas empleadas como modelo de aguas contaminadas con bajas concentraciones de metales pesados. Se analizó la influencia de las variables masa del biosorbente (0,2- 0,6 g), el pH de la solución (4,5- 5,5) y la concentración inicial de plomo (50-150 ppm) sobre el proceso de bioadsorción, mediante la aplicación de un diseño experimental factorial $(2^3+3) * 2$. Los resultados evidenciaron que el pH fue un factor con mayor significancia estadística en el proceso. El análisis de los datos experimentales y la determinación del modelo matemático más adecuado se realizaron utilizando el software Minitab, validándose mediante el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).

Palabras clave: biosorción, plomo, cascara de castaña, biosorvente



Removal of lead from synthetic water by biosorption in a Batch system using chestnut Shell (Borthelletia Excelsa)

ABSTRACT

In this research project, we evaluated the feasibility of using an agro-industrial waste product, chestnut shells, as a biosorbent for removing lead (Pb^{2+}) from diluted aqueous solutions used as a model for water contaminated with low concentrations of heavy metals. The influence of the variables biosorbent mass (0.2-0.6 g), solution pH (4.5-5.5), and initial lead concentration (50-150 ppm) on the bioadsorption process was analyzed using a factorial experimental design $(2^3+3) \times 2$. The results showed that pH was the factor with the greatest statistical significance in the process. The experimental data were analyzed and the most appropriate mathematical model was determined using Minitab software, validated by the coefficient of determination (R^2) and the adjusted coefficient of determination (adjusted R^2).

Keywords: biosorption, lead, chestnut shell, biosorbent



INTRODUCCIÓN

Dentro de los principales factores que afectan los ecosistemas por contaminación por metales pesados, se encuentran las actividades humanas, destacando las operaciones mineras, de fundición entre otras actividades de tipo industrial y urbana (Vilchez, 2005). Esta problemática, ha impulsado la búsqueda de métodos eficientes, sostenibles y económicamente viables para la retención y extracción de metales presentes en fuentes hídricas, con el fin de reducir la toxicidad en las mismas para garantizar la preservación tanto de los ecosistemas y la vida humana (Pabón-2020). Entre los metales pesados de mayor preocupación ambiental se encuentra el plomo, el estaño, el hierro, el cadmio, el mercurio, cromo, y vanadio, entre otros (Manahan, 2007).

En este contexto, el aporte específico del presente trabajo radica en evaluar el potencial de las cáscaras de castañas (*Bertholletia excelsa*) como material biosorbente para la remoción de metales pesados en sistemas acuáticos. Esta investigación propone el aprovechamiento de un residuo agroindustrial abundante y de bajo costo. Considerando que el fruto presenta entre 51-57% de cascara y que anualmente se exportan miles de toneladas sin este subproducto, se genera una cantidad significativa de residuos cuyo potencial de valorización ambiental ha sido poco investigado (Bonelli – 2001).

METODOLOGÍA

Procedimiento de preparación de la muestra:

Se preparó tres soluciones de acetato de plomo con las siguientes concentraciones: 150 ppm, 100 ppm y 50 ppm.

Recolección de material Biomásico

El material a utilizar para la remoción de plomo es la cascara de la castaña *Bertholletia excelsa*, la cual se obtuvo de la empresa Distribuidora Ceylan en Arequipa, Perú.

Obtención del biosorbente

El fruto de la castaña fue remojado por un lapso de dos horas, el cual fue lavado con agua destilada para eliminar impurezas depositadas en ellas. Después los frutos fueron secados de forma natural al aire libre a temperatura ambiente. Posteriormente, se llevan los frutos a un proceso de triturado para separar el fruto de la cascara. En seguida la cascara se molió y se tamizó a través de un tamiz ASTM



#100 obteniendo partículas de 0.149 mm de tamaño.

Análisis Estadístico

Se realizó el diseño factorial 2^k , en el cual se consideró 3 factores ($k=3$) y dos niveles para cada factor. Para combinación experimental se realizaron 2 réplicas y adicionalmente se evaluaron 3 puntos centrales con sus respectivas replicas con el fin de verificar la posible curvatura en la superficie respuesta, realizándose 22 pruebas. En la tabla 1, se observa las variables de la investigación. Obteniéndose el modelo de concentración final de Pb en las muestras después del tratamiento con el biosorbente.

$$N = (2^3 + 3) * 2 = 22 \text{ pruebas} \dots \text{Ecuación 1}$$

Tabla 1. Variables del experimento

Variables independientes	Máximo	Mínimo	Punto Central
Masa del adsorbente (g)	0.2	0.6	0.4
pH	4.5	5.5	5
Concentración de Pb (ppm)	50	150	100

Proceso de remoción de plomo con el Sistema Batch

La cantidad de biosorbente que se utilizó fue de acuerdo a la matriz experimental mostrada en la tabla 2, realizando las siguientes pruebas.

- a) 0.2 gramos de biosorbente por 100 ml de agua en estudio: Muestras 1,2,3,4
- b) 0.6 gramos de biosorbente por 100 ml de agua en estudio: Muestras 5,6,7,8
- c) 0.4 gramos de biosorbente por 100 ml de agua en estudio: Muestras 9,10,11

Adsorción de plomo por el biosorbente

En un vaso de precipitado se añadió 100 ml de solución diluida de plomo para cada prueba y el biosorbente por un tiempo de 24 horas. Se realizó a una agitación constante de 35 rpm, obteniéndose una mezcla sólida – líquida, para la regulación del pH se utilizó una solución de ácido acético glacial al 25%. Esta se filtró en papel filtro de tránsito lento



Luego se procedió a determinar las concentraciones de las soluciones filtradas por el método de espectrofotometría de absorción atómica.

Análisis de soluciones mediante Espectrofotometría de absorción atómica.

Para el análisis de las soluciones después del tratamiento con el biosorbente se utilizó el equipo AAnalyst -200 un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer con llama. Se siguió el método estándar para examinar aguas y aguas residuales APHA- AWWA- WEF, Parte 3000. Método 3111- B. Metales por espectrometría de absorción atómica de flama aire- acetileno 23 nd Ed. 2017 (Eaton-2017). Se procedió a la optimización del equipo de Cu de 5 ppm para estabilizarlo. Las curvas de calibración para la absorción de plomo se realizaron las soluciones estándares de 25,50,100 ppm a la longitud de onda de 283.3 nm. Se procedió a las lecturas de las muestras después de la adsorción con el biosorbente.

Caracterización del biosorbente

Determinación de Ceniza

Se pesó 1 gr de la cascara de castaña en un crisol por duplicado. Posteriormente, se colocaron los crisoles en una mufla a 600°C (Polacchi- 2005) hasta que el peso sea constante. Se siguió el método 923.03 de la AOAC (1990).

Determinación de pH

Se pesó 1g de la cascara de castaña la cual se homogenizó con 100 ml de agua desionizada a 100°C por 10 minutos. Se filtró en caliente y se procedió a medir el pH por duplicado. Se siguió el método 943.02 de la AOAC (AOAC-1990).

Determinación de grupos funcionales por Espectroscopía Infrarroja

Para la determinación de grupos funcionales en la cáscara de castaña, se utilizó como equipo de análisis un espectrofotómetro FT-IR marca NICOLET modelo IMPACT 410. A Se pesó 2 mg de cascara de castaña molida a la cual se le agregó 200 mg de bromuro de potasio purificado en estado sólido, posteriormente se trituró hasta obtener una mezcla fina. Esta mezcla se comprimió en una prensa de troquel mecánica para formar un pellet translúcido a través del cual puede pasar la radiación infrarroja proveniente del espectrómetro (Rodríguez -2007).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mediante espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de Pb se presentan en la Tabla 2. Se observa una disminución significativa de la concentración inicial de plomo después del tratamiento con el biosorbente, evidenciando una alta eficiencia de adsorción en la mayoría de ensayos.

Tabla 2. Matriz de resultados sobre el porcentaje de adsorción de Pb

Pruebas	Masa del Adsorbente (g)	pH	Concentración Pb inicial (mg/L)	Concentración Pb final (mg/L)	Porcentaje de adsorción de Pb (%)
1	0.2	4.5	50	15.2	69.60
2	0.2	4.5	150	59.7	60.20
3	0.2	5.5	50	12.4	75.20
4	0.2	5.5	150	37.9	74.73
5	0.6	4.5	50	17.2	65.60
6	0.6	4.5	150	15.5	89.67
7	0.6	5.5	50	12.1	75.80
8	0.6	5.5	150	21.6	85.60
9	0.4	5	100	18.5	81.50
10	0.4	5	100	15.4	84.60
11	0.4	5	100	9.4	90.60
12	0.2	4.5	50	12.5	75.00
13	0.2	4.5	150	57.2	61.87
14	0.2	5.5	50	7.09	85.82
15	0.2	5.5	150	31.7	78.87
16	0.6	4.5	50	18.8	62.40
17	0.6	4.5	150	18.8	87.47
18	0.6	5.5	50	9.7	80.60
19	0.6	5.5	150	22.4	85.07
20	0.4	5	100	14.5	85.50
21	0.4	5	100	15.4	84.60
22	0.4	5	100	18.1	81.90

En la tabla 2, las muestras 6, 11 y 17 mostraron los mayores porcentajes e adsorción, alcanzando valores de 89.67%, 90.60% y 87.47%, respectivamente. Estos resultados indican que combinaciones específicas de masa de biosorbente, pH y concentración inicial favorecen significativamente en el proceso de biosorción.



Resultados del análisis de varianza ANOVA

La tabla 6 muestra los resultados del análisis factorial con 3 factores que son: masa del adsorbente, pH, concentración inicial de Pb.

Tabla 3. Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	1665.19	185.02	15.63	0.000
Bloques	1	11.64	11.64	0.98	0.341
Lineal	3	537.23	179.08	15.13	0.000
Masa del Adsorbente (g)	1	162.05	162.05	13.69	0.003
pH	1	305.20	305.20	25.79	0.000
Concentración inicial Pb	1	69.97	69.97	5.91	0.032
Interacciones de 2 términos	3	611.47	203.82	17.22	0.000
Masa del Adsorbente (g)*pH	1	42.32	42.32	3.58	0.083
Masa del Adsorbente (g)*Concentración inicial Pb	1	544.76	544.76	46.03	0.000
pH*Concentración inicial Pb	1	24.40	24.40	2.06	0.177
Interacciones de 3 términos	1	156.13	156.13	13.19	0.003
Masa del Adsorbente (g)*pH*Concentración inicial Pb	1	156.13	156.13	13.19	0.003
Curvatura	1	348.73	348.73	29.47	0.000
Error	12	142.01	11.83		
Falta de Ajuste	8	92.18	11.52	0.93	0.573
Error Puro	4	49.83	12.46		
Total	21	1807.20			

Los resultados muestran que las variables estudiadas y sus interacciones son significativas; excepto la interacción Concentración inicial de Pb * pH ($p=0.177$) y Masa del Adsorbente*pH ($p=0.083$) no fueron significativas ya que su p-valué fue mayor a 0.05.

Estimación de los efectos de las variables en el proceso de adsorción

En la tabla 7 se presentan los coeficientes de regresión:

Tabla 4: Estimación de los coeficientes de regresión del modelo

Coeficiente	Efecto	Coeficientes	Error Estándar	Valor T	Valor p
Constante		75.844	0.860	88.19	0.000
Blocks 1		-0.727	0.733	-0.99	0.341
Masa del Adsorbente (g)	6.365	3.182	0.860	3.70	0.003
pH	8.735	4.368	0.860	5.08	0.000
Concentración inicial Pb	4.183	2.091	0.860	2.43	0.032
Concentración inicial Pb*pH	-2.470	-1.235	0.860	-1.44	0.177
Masa del Adsorbente *pH	-3.252	-1.626	0.860	-1.89	0.083
Masa del Adsorbente *Concentración inicial Pb	11.670	5.835	0.860	6.78	0.000
Masa del Adsorbente*pH*Concentración inicial Pb	-6.248	-3.124	0.860	-3.63	0.003
Pt Ctral		8.94	1.65	5.43	0.000

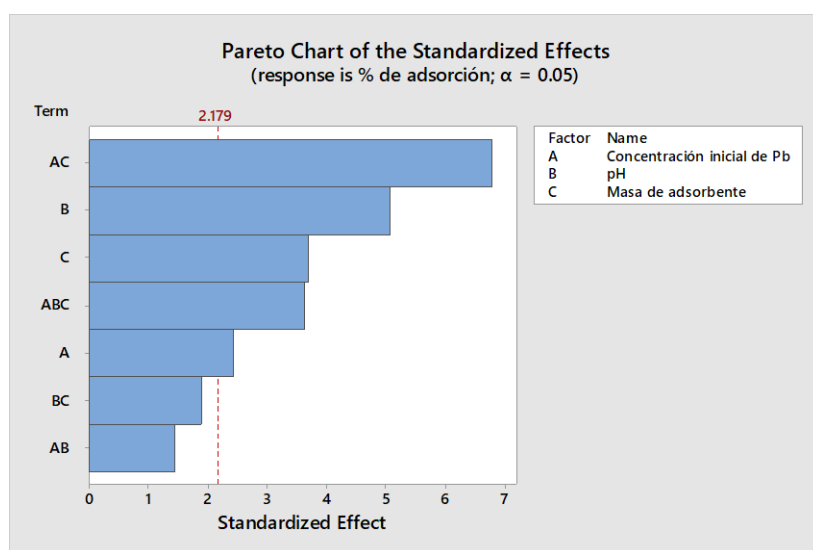


Se observa que todos los coeficientes son significativos (p -valor es menor que 0.05). La interacción Masa del adsorbente* Concentración inicial de Pb presenta un efecto positivo elevado. El valor de la constante (75.844) representa el porcentaje promedio de adsorción en el punto central del diseño experimental.

Gráficos factoriales

Gráficas de efectos estandarizados y diagrama de Pareto

Figura 2. Diagrama de Pareto



El diagrama de Pareto (Figura 2) muestra los efectos estandarizados. Todos los factores superan la línea crítica de referencia (2.179), excepto las interacciones pH*Masa de adsorbente y Concentración inicial de Pb*pH. Los factores de mayor impacto sobre la respuesta fueron la Masa de adsorbente, pH y la interacción Concentración inicial de Pb *Masa del adsorbente .

Figura 3
Efectos principales para porcentaje de Remoción de Pb (II). Medias ajustadas

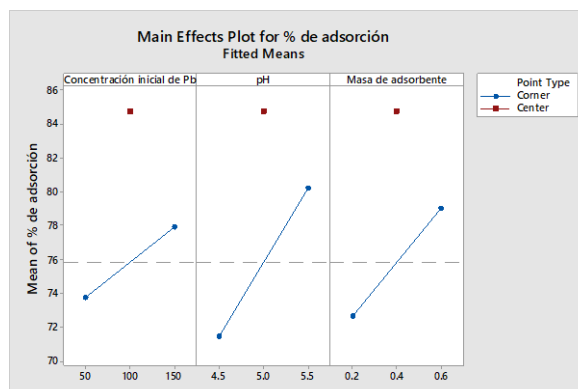
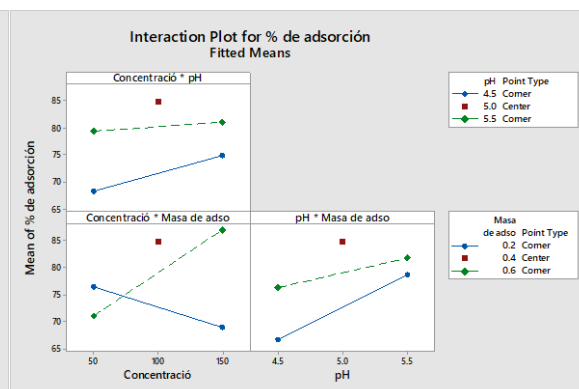


Figura 4
Interacción para porcentaje de Remoción de Pb (II) – Medias ajustadas



La gráfica de efectos principales (Figura 3) confirma que la adsorción de Pb aumenta cuando los factores se encuentran en un nivel superior, siendo el pH el factor de mayor influencia.

En la gráfica de interacciones (Figura 4) muestra que a mayor masa del adsorbente y mayor concentración inicial de Pb, el porcentaje de adsorción aumenta significativamente.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Del análisis del diseño experimental se obtuvo el modelo matemático para la adsorción del Pb.

$$\begin{aligned} \% \text{ de Remoción del Pb} = & 112.7 - 1.194 \text{ Concentración inicial Pb} - 4.81 \text{ pH} - 273.5 \text{ Masa del Adsorbente} \\ & + 0.2005 \text{ Concentración inicial Pb} * \text{pH} + 46.2 \text{ pH} * \text{Masa de Adsorbente} + 46.2 \text{ pH} * \text{Masa del} \\ & \text{Adsorbente} - 0.625 \text{ Concentración inicial de Pb} * \text{pH} * \text{Masa del Adsorbente} + 8.94 \text{ Ct Pt} \end{aligned}$$

Este modelo permite predecir el porcentaje de remoción dentro del rango experimental evaluado.

Se realizó la caracterización del Biosorbente mediante la determinación del contenido de cenizas las cuales representan el material mineral presente en la cáscara de castaña

Tabla 5. Porcentaje de Ceniza de la cascara de castaña

Muestra Seca (g)	Ceniza(g)	%Ceniza
0.8265	0.0220	2.66
0.8263	0.0210	2.61
Promedio		2.60



Se obtuvo un porcentaje de Ceniza de 2.60%, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Machado (Machado- 2019), según la tabla 3. Este resultado indica la presencia de un contenido mineral significativo, el cual puede favorecer los procesos de adsorción debido a la disponibilidad de sitios activos inorgánicos.

Se procedió a determinar pH del biosorbente utilizado para la adsorción obteniéndose un valor promedio de 6.6, como se muestra en la Tabla 4. Este valor es similar al reportado por Perez. (Perez-2006), lo que indica que el material presenta un carácter ligeramente ácido a neutro, condición favorable para procesos de adsorción en soluciones acuosas.

Tabla 6. Determinación de pH de la cascara de castaña

Muestra Seca (g)	Volumen (ml)	Temperatura (°C)	pH
1.0250	100	100	6.5
1.0169	100	100	6.7
Promedio			6.6

La tabla 5 nos muestra los grupos funcionales identificados en la cascara de castaña, los cuales son característicos de materiales lignocelulósicos y explican su comportamiento como biosorbente, mediante el análisis de espectroscopía infrarojo, de acuerdo con QUIORED (QUIORED, 2002).

Tabla 7. Grupos funcionales presentes en la cascara de castaña

Numero de onda de la cascara de castaña (cm ⁻¹)	Grupo funcional	Banda	Numero de onda (cm ⁻¹)
3336.67	Alcoholes	O – H	3400 – 3300
	Amidas	–CO– NH ₂	3500-3180
2925.83	Alcanos	– CH	2950 - 2800
2857.78	Alcanos	– CH	2950 – 2800
1744.24	Ester	C=O	1750-1735
	Carbonilo	–CH ₂ –CO–O– R	1260-1230
1619.87	Amidas	–CO–NH ₂	1680-1630
	Aromáticos	C=C t	1600 – 1475
1517.85	Aminas	N – H	1640 – 1500
	Aromáticos	C=C t	1600-1475



1451.46	Metileno	CH ₂	1465
	Alcanos	– CH ₂ d	1465
1376.24	Alcanos	CH ₃ d	1375
1261.54	Ester	–CH ₂ –CO–O– R	1260-1230
898.33	Aromáticos	C – H d(meta)	880- 780
826.64	Aromáticos	C – H d(para)	850 – 800
774.07	Aromáticos	C – H d(meta)	880- 780

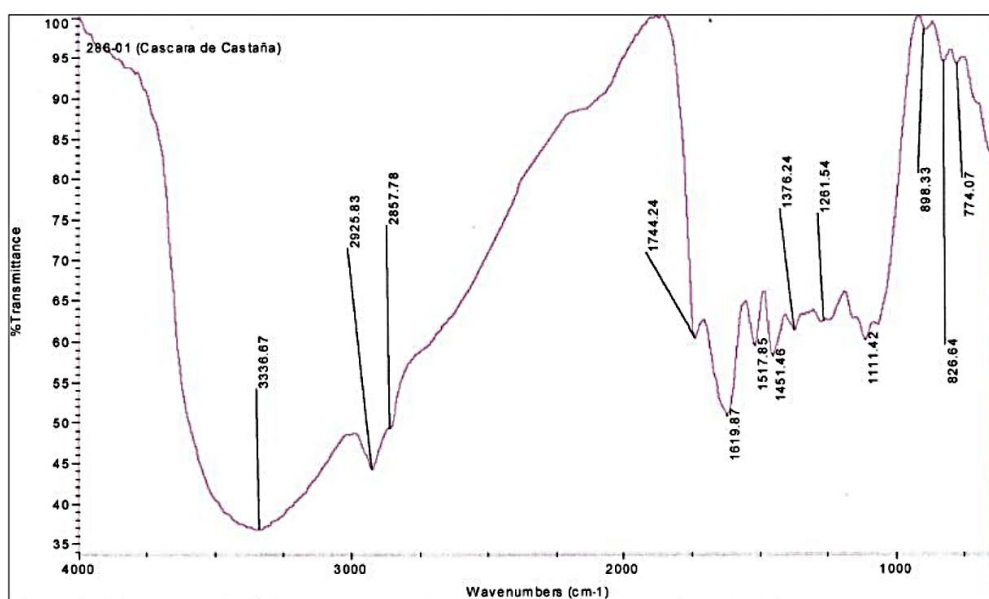
Los principales grupos funcionales identificados son:

- **Grupos hidroxilo (–OH):** evidenciados por la banda ancha alrededor de 3336.67 cm⁻¹ (3400–3300 cm⁻¹), correspondientes a alcoholes y también asociados a amidas. Estos grupos indican la presencia de compuestos fenólicos y polisacáridos como celulosa y hemicelulosa.
- **Grupos amida (–CO–NH₂):** observados en la región de 1680–1630 cm⁻¹ y 3500–3180 cm⁻¹, que sugieren la presencia de proteínas o compuestos nitrogenados.
- **Enlaces C–H de alcanos:** con picos en 2925.83 cm⁻¹, 2857.78 cm⁻¹, 1451.46 cm⁻¹ y 1376.24 cm⁻¹, asociados a vibraciones de grupos metileno (–CH₂–) y metilo (–CH₃).
- **Grupos éster y carbonilo (C=O):** con una señal intensa en 1744.24 cm⁻¹ (1750–1735 cm⁻¹) y bandas en 1260–1230 cm⁻¹, atribuibles a estructuras –CH₂–CO–O–R, típicas de hemicelulosas y lignina.
- **Compuestos aromáticos (C=C y C–H):** evidenciados en las regiones 1600–1475 cm⁻¹ y 880–780 cm⁻¹ (picos en 898.33, 826.64 y 774.07 cm⁻¹), asociados a anillos aromáticos propios de la lignina.
- **Aminas (N–H):** presentes en la región de 1640–1500 cm⁻¹.

La presencia de grupos hidroxilo (–OH), aminas (–NH), carboxilos (c=o) y estructuras aromáticas confirma la naturaleza lignocelulósica de la cascara de castaña y explica su capacidad de interacción con iones metálicos u otras especies químicas mediante mecanismos de intercambio iónico y adsorción superficial.



Figura 5: Espectro infrarojo de la cascara de castaña



En la figura 1 se observa los picos del Espectro Infrarojo de la cascara de castaña, donde se distinguen claramente los picos correspondientes a los grupos funcionales identificados, confirmando que el biosorbente posee múltiples sitios activos responsables de su capacidad de adsorción.

DISCUSION

En la presente investigación se pudo identificar que los grupos funcionales presentes en la cascara de castaña si adsorben el Pb de la solución acuosa (Palomino- 2018), la cascara de castaña a través de sus grupos funcionales como hidroxilos, carboxilos, aminas, carbonilos retienen los iones plomo principalmente mediante interacciones electrostática y mecanismos de intercambio iónico. La remoción de iones metálicos por bioadsorción depende de los mecanismos químicos que involucran las interacciones de los iones metálicos con los grupos activos presentes en la pared celular del biosorbente (Ho & McKay 1999) .

En cuanto al pH, se observó que el porcentaje de adsorción aumenta a medida que incrementa el pH de la solución. A valores superiores a pH=5, aumenta la concentración de iones OH⁻, lo que favorece a cambios en la carga superficial del adsorbente e incrementa la captación de plomo, debido a que la superficie del biosorbente puede estar protonada, se eligió el pH óptimo de la experimentación de 4.5, 5 y 5.5 (Muñoz- 2007). En lo referente al tiempo de contacto es necesario mantenerlo durante un

periodo prolongado para permitir el equilibrio del sistema , estableciéndose 24 horas como tiempo adecuado para maximizar la interacción entre el plomo en solución y la cascara de castaña (Paccha-2023).

Finalmente, según el experimento N° 6 y su respectiva duplicada , se determino que las pruebas pueden realizarse hasta una concentración inicial de Pb de 150 mg/L empleando una masa de 0.6 g de cascara de castaña como parámetros óptimos ya que dan un resultado del mayor porcentaje de adsorción.

CONCLUSIONES

El biosorbente fue obtenido a partir de la cáscara de castaña (*Bertholletia excelsa*), mediante procesos físicos que incluyeron limpieza, lavado, secado, triturado, molienda y tamizado con el fin de acondicionar el material y obtener un tamaño de partícula adecuado para los ensayos de adsorción.

La caracterización fisicoquímica del biosorbente comprendió la determinación del contenido de cenizas, pH, y espectroscopia infrarroja (FTIR). Este análisis permitió identificar la presencia de grupos funcionales como hidroxilo, carboxilos, carbonilos y aminas los cuales actúan como sitios activos responsables de la interacción con los iones metálicos.

La capacidad de adsorción de plomo alcanzo un 89,67% lo cual equivale a 134.50 mg/L de Pb adsorbido. Este valor se determinó a partir de la diferencia entre la concentración inicial de plomo en agua contaminada y la concentración remanente después del proceso de bioadsorción.

Los resultados obtenidos demuestran que la cascara de castaña puede emplearse como un biosorbente eficiente y de bajo costo para la remoción de plomo en soluciones acuosas, sin necesidad de activación química o térmica previa.

Asimismo, seria pertinente analizar la eficiencia del biosorvente en sistemas continuos, como columnas de flujo fijo ya que este tipo de configuración reproduce de manera realista las condiciones operativas de una planta de tratamiento.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

AOAC International (1990) Métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales



- Bonelli, P.R., Della Rocca, P.A., Cerella, E.G., Cukierman, A.L. 2001, Effect of pyrolysis temperature on composition, Surface properties and thermal degradation rates of Brazil nut shells, *Bioresource Technology*, 76(1), 15-22. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00085-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00085-7)
- Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., Baird, R. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association., 23rd edition, 2017, Washington, D.C., Part 3 , 20-22.
- Ho, Y., McKay, G. 1999, Pseudosecond order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34 (5), 451-465,.
- Machado, R., Costa, J., Silva, C., Souza, I., Bianchi, M., Coimbra, J. 2019. Elementary, Chemical and energy Characteristics of Brazil Nuts Waste (Bertholletia eelsa) in the State of Pará. *REv. Floresta e Ambiente*, 26 (Spec N°2), e20180436. Brazil. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.043618>.
- Manahan, S.E. Introducción a la química ambiental, Editorial Reverté, Primera edición, 2007, Barcelona, España
- Muñoz Carpio J. 2007, Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “citrus cinensis” pretratada. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Pabón, S.E., Benítez, R., Sarria-Villa, R.A., Gallo, J.A. 2020, Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción, *Rev. Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Paccha, C., Paccha, R. 2023, Adsorption capacity of agroindustrial waste to remove contaminants from wastewater. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 26 (51), e25258. DOI: <https://doi.org/10.15381/iigeov26i51.25258>
- Palomino, C., Tellez M., Visitacion L. 2018, Identificación de los sitios de unión del plomo en la superficie del adsorbente de residuos de pelos de la industria curtiembre, 84(1), 77-90. DOI: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v84i1>



Perez, L., Hernandez, M., Diaz, C., Rodriguez, E. Composición química e cultivares locales de Tenerife:l.

Composición química y contenido de antioxidantes. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Vol. 5, N°3, pp. 195-205. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos Reynosa, Mexico.

<https://www.redalyc.org/pdf/724/72450305.pdf#:~:text=La%20acidez%20y%20pH%20de%20las%20casta%C3%B1as.acidez%20relativamente%20baja%2C%2088%20%C2%B1%2024%20mg>

Polacchi, W., Weisell, R., Marroni, S., Mazar, I. 2002, Derivation of Nutrient Values for FAO Statistical Databases, Journal of Food Composition and Analysis, 15(4), 515-522. DOI:

<https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1087>

Recursos educativos de Química Organica (agosto de 2002)

https://www.ugr.es/~quiorred/lab/tablas_espec/ir.htm

Rodríguez, M. 2007. Análisis Instrumental - Espectro Infrarojo no publicada. Departamento Académico de Química Analítica e Instrumental, Facultad de Química e Ingeniería Química, UNMSM, Lima, Perú.

Vílchez Vargas, R. 2005, Eliminación de Metales Pesados de Aguas Subterráneas Mediante sistemas de Lechos Sumergidos: Estudio Microbiológico de las Biopelículas, (PhD Tesis), Universidad de Granada, Granada, España, recuperado de: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/615>

