

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L.*) y naranja (*Citrus x sinensis*) en la remoción de cadmio en aguas contaminadas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Mary Isabel Olortegui Garcia  
Grace Estefania Morales Iza

**Asesor:**

Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado

Tarapoto, Setiembre del 2024

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Victor Hugo Muñoz Delgado docente de la Facultad de Ingeniería Y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA* L.) Y NARANJA (*CITRUS X SINENSIS*) EN LA REMOCIÓN DE CADMIO EN AGUAS CONTAMINADAS”** de los autores Bach. Olortegui Garcia, Mary Isabel y Bach. Morales Iza, Grace Estefania; tiene un índice de similitud de 20 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto a los 26 días del mes de setiembre del año 2024



---

Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

Asesor

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a...26... día(s) del mes de... Setiembre... del año 2024... siendo las 09:00... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo, el (la) secretario(a): Ing. Seyei Rengifo Arévalo y los demás miembros: Mtro. Carmelino Almestar Villegas y Mtra. Ericka Nayda Perales Domínguez y el (la) asesor(a) Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: **"Carbón Activado de la Cáscara de Plátano (*Musa paradisiaca* L.) y Naranja (*Citrus x sinensis*) en la Remoción de Cadmio en Aguas Contaminadas"**

del(los) bachiller(es): a) Mary Isabel Olortegui Garcia  
 b) Grace Estefania Morales Iza  
 c).....

.....conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) 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 al (a la) / a (los) (las) 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:

Bachiller -(a): Mary Isabel Olortegui Garcia

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller -(c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) 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

\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (a)

\_\_\_\_\_  
Bachiller (b)

\_\_\_\_\_  
Bachiller (c)

# **Eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y naranja (*Citrus x sinensis*) en la remoción de cadmio en aguas contaminadas**

<sup>1</sup>Olortegui Garcia, Mary Isabel; <sup>1</sup>Morales Iza, Grace Estefanía

<sup>1</sup>§EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

## **Resumen**

La contaminación de aguas por descargas residuales e industriales es una amenaza y un desafío remediarlas ya que contienen metales pesados, nocivos en pequeñas concentraciones y con gran capacidad de bioacumularse; más aún cuando existe una brecha de consumir agua de calidad. El objetivo es comparar la eficiencia de remoción de cadmio utilizando carbón activado (CA) de cáscara de *Musa paradisiaca* L. y *Citrus x sinensis* en aguas contaminadas artificialmente. El modelo experimental fue un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial donde tuvo dos factores: precursor de CA y concentración de CA. Se preparó una solución madre con Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O a una concentración de 1 ppm, del cual contenía 0.593 ppm de Cd; se agitó 50 ml de la solución a una velocidad de 200rpm por 1 h con diferentes concentraciones de carbón activado (0, 0.5, 0.75 y 1 g). Los resultados indicaron que el mejor precursor fue el de cáscara *Citrus x sinensis* obteniendo un promedio mayor de remoción 37,83% en comparación con el de *Musa paradisiaca* L. que obtuvo 22.82 %. En conclusión, la mayor capacidad de adsorción de Cd fue de 0,00917mg Cd/g y la mejor eficiencia de remoción alcanzó un 30.5 % utilizando 1g de CA, indicando que a mayor concentración de adsorbente la remoción de contaminante será más eficiente., en las ecuaciones de las isothermas de absorción aplicados al modelo experimental dieron como resultado que el mejor ajuste para la absorción de cadmio con cáscara de naranja corresponde a isoterma de Langmuir (R<sup>2</sup> = 0.9441), mientras que para la cáscara de plátano el modelo con mayor ajuste fue el Freundlich (R<sup>2</sup>= 0,877). Se demuestra que la interacción de los diferentes CA tienen efecto sobre la eficiencia de la remoción de Cd en el agua, siendo una alternativa ecoamigable con potencial a ser aprovechados porque son materiales accesibles y económicos.

. Palabras clave: Carbón activado, remoción, capacidad de adsorción, *Musa paradisiaca* L, *Citrus x sinensis*.

## **Abstract**

Water pollution from residual and industrial discharges is a threat and a challenge to remedy since they contain heavy metals, harmful in small concentrations and with a great capacity to bioaccumulate; even more so when there is a gap in consuming quality water. The objective is to compare the cadmium removal efficiency using activated carbon (AC) from *Musa paradisiaca* L and *Citrus x sinensis* peel in artificially contaminated waters. The experimental model was a Completely Randomized Design with a factorial arrangement where it had two factors: CA precursor and CA concentration. A stock solution was prepared with Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O. at a concentration of 1 ppm, of which it contained 0.593 ppm of Cd; 50 ml of the solution was stirred at a speed of 200 rpm for 1 h with different concentrations of activated carbon (0, 0.5, 0.75 and 1 g). The results indicated that the best precursor was the *Citrus x sinensis* peel, obtaining a higher average removal of 37.83% compared to that of *Musa paradisiaca* L., which obtained 22.82%. In conclusion, the highest Cd adsorption capacity was 0.00917mg Cd/g and the best removal efficiency reached 30.5% using 1g of CA, indicating that the higher the adsorbent concentration the contaminant removal will be more efficient., in the absorption isotherm equations applied to the experimental model resulted in the best fit for cadmium absorption with orange peel corresponding to the Langmuir isotherm (R<sup>2</sup> = 0.9441), while for the banana peel the model with the best fit was the Freundlich (R<sup>2</sup>= 0.877). It is demonstrated that the interaction of the different ACs has an effect on the efficiency of Cd removal in water, being an eco-friendly alternative with the potential to be used because they are accessible and economical materials.

Key words: Activated carbon, removal, adsorption capacity, *Musa paradisiaca* L, *Citrus x sinensis*.

## INTRODUCCIÓN

Según la OMS, 2200 millones de individuos no poseen servicios de agua potable administrados de forma segura y más de 1200 millones de personas han fallecido por beber agua contaminada; la Organización de las Naciones Unidas para la Educación indica que el 80% de las aguas servidas reingresan al ecosistema sin haber recibido un previo tratamiento, 122 millones de personas hacen consumo directo de lagos, arroyos, estanques y ríos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022).

Durante las últimas décadas, la discusión sobre la contaminación causada por metales pesados ha sido objeto de controversia en varios países alrededor del mundo, exclusivamente por obtener beneficios económicos con el desarrollo de actividades industriales (Ramírez & Segura, 2021).

Se está indagando soluciones innovadoras que sean respetuosas con el entorno natural; existen múltiples técnicas disponibles para la eliminación de metales pesados, que abarcan desde la reacción química hasta el intercambio iónico, la ultrafiltración, la osmosis inversa y la adsorción (Pyrzynska, 2019). Sin embargo, estos métodos presentan diversas limitaciones, como altos costos de operación, baja eficiencia de remoción y generación de grandes volúmenes de desechos. De todas estas técnicas, la adsorción se destaca como uno de los métodos más viables (Kwikima *et.al*, 2021).

Numerosos científicos han explorado la utilización de productos y subproductos agrícolas de bajo costo como adsorbentes para eliminar iones metálicos de soluciones acuosas, demostrando en sus investigaciones que estos adsorbentes tienen un alto rendimiento en la eliminación de contaminantes en comparación con diversas técnicas físicas y químicas (Ogbodo *et.al*, 2022). Además, estos desechos orgánicos contienen celulosa, taninos, lignina y pectina; la cual presentan grupos funcionales potenciales, como hidroxilo, carbonilo, amino, carboxílico y alcoxi, que tienen una afinidad significativa hacia los iones metálicos (Wattanakornsiri *et.al*, 2022). También se ha observado que los adsorbentes agrícolas que han sido sometidos a tratamientos químicos muestran una capacidad de adsorción considerablemente mayor en comparación con los adsorbentes no tratados (Kwikima *et.al*, 2021)

El carbón activado es un adsorbente obtenido a partir de materiales carbonosos que se destaca por su extensa área interna y una distribución de poros eficaz, lo que le permite capturar una amplia variedad de moléculas (Azabache *et.al*, 2016). La obtención de este material implica la transformación de sustancias carbonizadas a través de la exposición a gases oxidantes o la carbonización de materiales lignocelulosicos, previamente impregnados con agentes químicos (Bravo & Garzón, 2017). Su elaboración se basa en utilizar materias primas no aprovechables, como cáscaras de frutas y vegetales de amplia disponibilidad, al mismo tiempo se reduce y se da un valor agregado a estos residuos orgánicos que frecuentemente son destinados a los botaderos o rellenos sanitarios, promoviendo un avance hacia la economía circular.

Por ello se propone utilizar residuos agrícolas como la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y naranja (*Citrus x sinensis*) para tratar aguas contaminadas con cadmio lo cual permite ser una alternativa sustentable, ya que, al transformarlos en carbones activados, actúan como adsorbentes naturales, siendo una técnica eficiente, económico y ecológica (Soffian *et.al*, 2022).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión- Filial Tarapoto. Así mismo, se realizó en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de San Martín.

### Metodología

#### Elaboración del carbón activado

Para la elaboración de los carbones activos se realizó una serie de procedimientos de acuerdo a Cárdenas y Flores (2022). Las cáscaras de plátano y naranja fueron recolectadas del Mercado de abastos del distrito de Tarapoto, departamento de San Martín – Perú. Se recolectaron de 1.5 Kg de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y 1.5 Kg de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*).

Se realizó un lavado con agua potable para eliminar las impurezas y se cortaron en trozos pequeños para posteriormente ser secados en el horno esterilizador (Steel Products, Perú) durante 24 h a 110°C. Para la impregnación química, fueron previamente trituradas, luego se puso en contacto 80 g por cada precursor en una solución de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85% de pureza a una concentración del 25%. Ambas muestras se agitaron por 4:30 h a temperatura ambiente y se secaron en la estufa digital (Mettler, SN-55, Alemania) a 80°C por 24 h. Se colocaron los materiales impregnados en una mufla eléctrica (JS Research Inc, JSMF-30T, Rep. de Corea) a una temperatura de 550°C por 1 h para la carbonización, luego se procedió a lavarlos con agua destilada para remover el exceso de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y se secó a 150°C por 1h en la estufa digital (Mettler, SN-55, Alemania). Los sólidos resultantes se trituraron manualmente utilizando un mortero, después se seleccionó el tamaño de los carbones activados con un Tamiz malla N°18: 1mm para luego ser conservados en bolsas Ziploc y almacenados en condiciones normales. Se obtuvo 45g de CA de cáscara de *Musa paradisiaca* L. y 50 g de CA de cáscara de *Citrus x sinensis*. Por tanto, la cáscara de naranja tiene un mayor rendimiento como materia prima.

#### Caracterización fisicoquímica del carbón activado



**Gráfico 1.** Proceso de la elaboración de los carbones activados de cáscara de *Musa paradisiaca* L. y de cáscara de *Citrus x sinensis*.

Basados en Cárdenas y Flores (2022), se realizó métodos continuos para determinar el porcentaje de humedad (Método ASTM D-2216), material volátil (Método ASTM D – 3175 –2015), ceniza (Método ASTM D-5142 – 2015) y carbono fijo (Método ASTM D – 3172 – 2015).

#### *Preparación del agua contaminada con cadmio (Cd) artificialmente*

Se preparó una solución madre con nitrato de cadmio Cd (No3)2 4H2O (N° CAS: 10022-68-1) a una concentración de 1ppm, para ello se pesó 0,616 g de Cd (No3)2 4H2O y se diluyó en 2 litros de agua destilada de acuerdo a la ecuación descrito por Bonifacio (2019): Masa = Concentración x Volumen x Peso Molecular.

Una vez obtenido la solución madre se procedió a medir el pH del agua contaminada a través de un Multiparamétrico portátil (HANNA, HI98196, USA).

#### *Procedimiento para la adsorción del cadmio (Cd)*

Para ello se realizaron 24 unidades experimentales, en un vaso precipitado de 1000 ml de capacidad se añadió 50 ml de la solución madre con Cd (No3)2 4H2O a 1 ppm de concentración, luego se adicionó los pesos en gramos del carbón activado según los tratamientos (0g, 0.5 g, 0.75g, 1g) y precursor (naranja y plátano). Se sometió a una agitación de 200 rpm según Cárdenas y Flores (2022) en un tiempo de contacto de 1h en el equipo de test de jarras (VELP®, JLT 4, Italia), posteriormente se realizó una filtración por gravedad utilizando papel filtro de laboratorio; las muestras fueron almacenados y conservados para su análisis.

Así mismo se midió el pH de las muestras después del proceso de adsorción a través de un Multiparamétrico portátil (HANNA, HI98196, USA).

#### *Diseño experimental*

Se aplicó el Diseño Completamente al Azar con Arreglo Factorial (2 x 4), se implementaron 4 tratamientos con 3 repeticiones para la adsorción de Cd, utilizando carbón activado de cáscara de plátano y naranja (Tabla 1).

**Tabla 1**

#### *Modelo experimental*

<b>Carbón activo</b>	<b>Concentración de carbón activo</b>			
	<b>0 g</b>	<b>0.5 g</b>	<b>0.75 g</b>	<b>1 g</b>
<b>Plátano</b>	C-P-R 1	T1-P-R1	T2-P-R1	T3-P-R1
	C-P-R2	T1-P-R2	T2-P-R2	T3-P-R2
	C-P-R3	T1-P-R3	T2-P-R3	T3-P-R3
<b>Naranja</b>	C-N-R1	T1-N-R1	T2-N-R1	T3-N-R1
	C-N-R2	T1-N-R2	T2-N-R2	T3-N-R2
	C-N-R3	T1-N-R3	T2-N-R3	T3-N-R3
<b>Total</b>	<b>24 Unidades experimentales</b>			

C: control, P: plátano, R: repetición, T: tratamiento, N: naranja

Las 24 muestras fueron codificadas y rotuladas, se rellenó la cadena de custodia y fueron transportadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliars de la Universidad Nacional de San Martín.

#### *Determinación de la capacidad de adsorción y remoción*

Para determinar el contenido de cadmio en el agua de las muestras se realizó la metodología de adsorción atómica, el cual se utilizó un Espectrofotómetro de Adsorción Atómica - Marca GBC – Modelo SavantAA. Una vez obtenido los resultados del antes y después de aplicar el procedimiento del modelo experimental, se procedió a determinar la capacidad de adsorción del carbón activado (plátano y naranja) mediante la siguiente ecuación (Gonzales y Bitón, 2020):

$$q_c = \left( \frac{C_o - C_f}{M} \right) * V$$

Donde:

$q_c$ : Capacidad de adsorción (mg Cd / g CA)

$C_o$ : Concentración inicial de Cd (mg/L)

$C_f$ : Concentración final de Cd (mg/L)

$V$ : Volumen de la muestra (L)

$M$ : Masa del carbón activado empleado (g)

Para calcular el porcentaje de remoción de Cd, se empleó la siguiente ecuación (Gonzales y Bitón, 2020):

$$\% \text{ Remoción} = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100$$

Donde:

$C_i$ : Concentración inicial de Cd

$C_f$ : Concentración final de Cd

#### *Métodos de Isotermas de adsorción*

Comprende el estudio de equilibrio de los mecanismos de adsorción (adsorbato – adsorbente), a través de estos métodos se generan datos acerca de la eficiencia de adsorción de los carbones activados (Ramutshatsha-Makhwedzha et. al, 2022). Para el estudio se aplicaron las ecuaciones lineales de dos isotermas: Langmuir y Freundlich.

#### *Isoterma Langmuir*

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{m\acute{a}x}} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$C_e$ : Concentración del adsorbato presente en la solución de equilibrio (mg. L<sup>-1</sup>)

$q_e$ : Cantidad de adsorbato retenido en el equilibrio (mg.g<sup>-1</sup>)

$K_L$ : Constante de Langmuir (L. mg<sup>-1</sup>)

$q_{m\acute{a}x}$ : Capacidad de máxima adsorción (mg.g<sup>-1</sup>)

#### *Isoterma Freundlich*

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} * \log C_e$$

Donde:

$q_e$ : Concentración del adsorbato presente en la solución de equilibrio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$K_F$ : Capacidad de adsorción del material ( $\text{mg}^{1-\frac{1}{n}} \cdot \text{L}^{\frac{1}{n}} \cdot \text{g}^{-1}$ )

$C_e$ : Concentración del adsorbato presente en la solución de equilibrio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$\frac{1}{n}$ : Medida de intensidad de adsorción (adimensional)

#### *Técnicas Estadísticas para el Procesamiento de la Información*

Los resultados obtenidos fueron añadidos a una base de datos en Excel para ser procesados en el software IBM SPSS Statistics 25, en el cual se realizaron las pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, prueba de igualdad de Levene de varianzas, ANOVA de dos factores y Tukey.

## RESULTADOS

### *Obtención de carbón activado (CA)*

Se recolectó 1,5 Kg de cada residuo, de ellas se utilizó 80 g por cada precursor previamente secado y triturado para la elaboración del carbón activo, obteniendo 45g de CA de cáscara de *Musa paradisiaca* L. y 50 g de CA de cáscara de *Citrus x sinensis*. Por tanto, la cáscara de naranja tiene un mayor rendimiento como materia prima.

### *Caracterización fisicoquímica del carbón activado de cáscara de plátano y naranja*

Se observa en la tabla 2 la caracterización fisicoquímica en promedio de 3 muestras para cada tipo de CA; para el precursor cáscara de plátano obtuvo un mayor contenido de carbono fijo (42.9%) y menor en cenizas (30.3%) en comparación con el precursor cáscara de naranja.

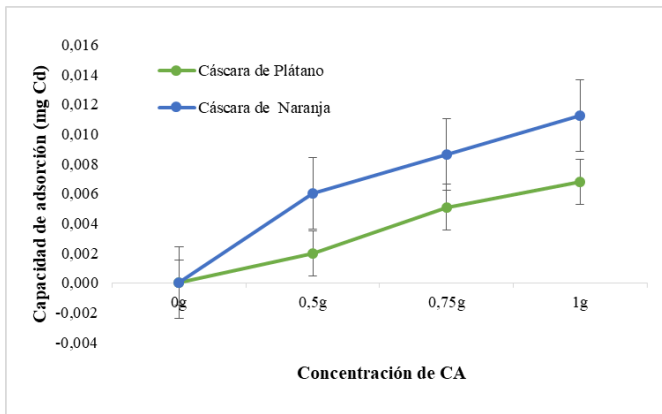
**Tabla 2**

*Análisis fisicoquímico del carbón activo según precursor*

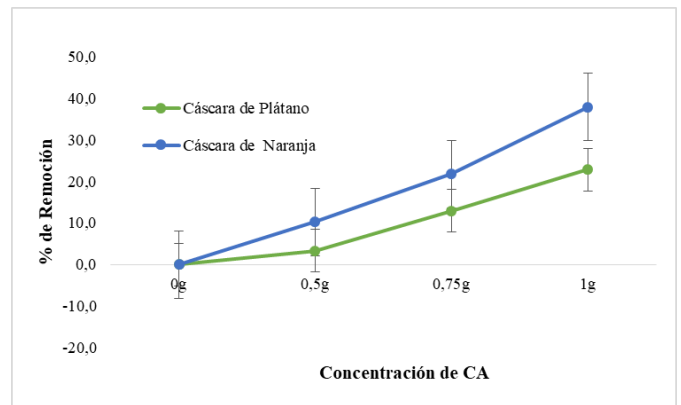
Precursor	%Humedad	% Material volátil	% Cenizas	%Carbono fijo
Cáscara de plátano	11.3 ± 0.1	26.9 ± 1.8	30.3 ± 7.5	42.9 ± 4.9
Cáscara de naranja	16.3 ± 0.3	36.9 ± 3.5	37.7 ± 3.4	25.4 ± 0.6

### *Resultados de la capacidad de adsorción y remoción del cadmio (Cd)*

En el gráfico 2 y 3 se muestra la capacidad de adsorción y eficiencia de remoción de Cd en promedio de los carbones activados, utilizando diferentes concentraciones (0g, 0.5g, 0.75g y 1g). Para ello el agua estuvo contaminada artificialmente con cadmio a 0.593 ppm. La mayor eficiencia de remoción para el carbón activado de cáscara de plátano fue de 22.8 % a una concentración de 1g; mientras, que para el carbón activado de cáscara de naranja se encontró un 37.8%, lo que indica que este precursor tuvo mejores resultados de remoción. Así mismo la mayor capacidad de adsorción del Cd en promedio es por parte del carbón activado de cáscara de naranja con 0.0112 mg de Cd/g de CA.

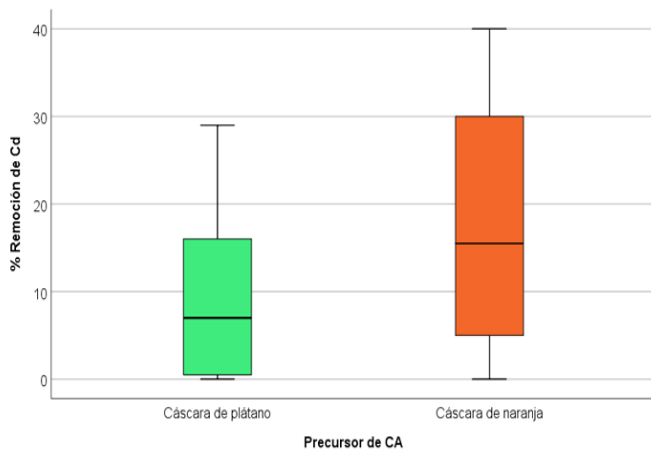


**Gráfico 2** Capacidad de adsorción de cadmio del carbón activado de cáscara de plátano y naranja a diferentes concentraciones

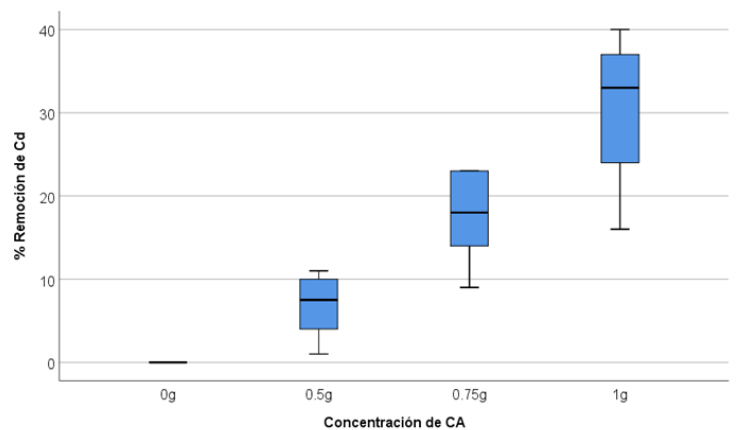


**Gráfico 3** Eficiencia de remoción de cadmio del carbón activado de cáscara de plátano y naranja a diferentes concentraciones

Estadísticamente entre los factores (precursor de CA y concentración de CA) existe diferencia significativa ( $p=0,0$ ) en porcentaje de remoción y capacidad de adsorción; en el gráfico 4 se muestra que el CA a partir de la cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) es más eficiente en la remoción de Cd que la de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.), siendo las medias 17,58 y 9,83 respectivamente. Mientras que en las concentraciones de CA (0g, 0.5g; 0.75 g; 1g) se formaron 4 subconjuntos, siendo las medias 0, 6.8, 17.5 y 30.5 respectivamente, indicando que hay mayor eficiencia de remoción de Cd en el grupo 4 (1 g de CA), es decir, que a mayor concentración de carbón activado mayor va a ser el porcentaje de remoción de cadmio (gráfico 5).

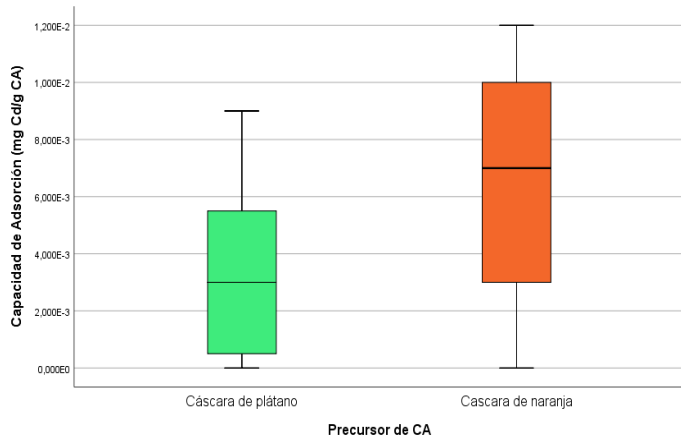


**Gráfico 4** Diagrama de cajas de la eficiencia de remoción de Cd por precursor de carbón activado

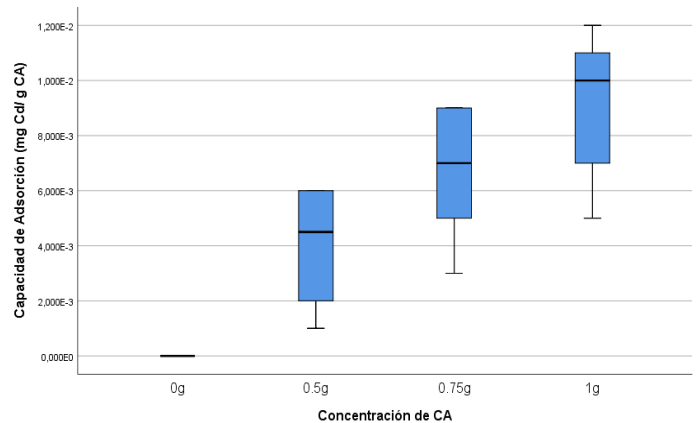


**Gráfico 5** Diagrama de cajas de eficiencia de remoción de Cd por tratamientos o concentración de CA

Con respecto a capacidad de adsorción, se obtuvieron medias de 0,0065 mg/g (*Citrus x sinensis*) y 0,0034 mg/g (*Musa paradisiaca* L.). Mientras que en las concentraciones de CA (0g, 0.5g; 0.75 g; 1g) se formaron 4 subconjuntos, siendo las medias 0, 0.004, 0.0067 y 0.0092 mg/g



**Gráfico 6** Diagrama de cajas de capacidad de adsorción de Cd por precursor de carbón activado



**Gráfico 7** Diagrama de cajas de capacidad de adsorción de Cd por tratamientos o concentración de CA

### Análisis del pH de la solución

El pH inicial del agua contaminada con Cd fue de 6.34; después de aplicar el modelo experimental el parámetro tuvo variaciones el cual se muestra en la tabla 3, indica que a medida que la concentración de CA es mayor el pH baja; es decir, se vuelve más ácida la solución.

**Tabla 3**  
Medias de la variable pH por CA y concentración

Carbón activado	n	Concentración	pH
Cáscara de Plátano	3	0g	5.78 ± 0.06
		0.5g	2.29 ± 0.03
		0.75g	2.23 ± 0.05
		1g	2.15 ± 0.05
Cáscara de Naranja	3	0g	5.78 ± 0.06
		0.5g	2.20 ± 0.02
		0.75g	2.21 ± 0.04
		1g	2.14 ± 0.10

El pH es significativo ( $p=0.00$ ) en las diferentes concentraciones de CA agregados a la solución de agua contaminada con Cd, mas no es significativo ( $p=0.17$ ) en el tipo de precursor utilizado. Como entre las concentraciones de CA existe diferencia significativa se realizó la prueba Tukey, el cual indica la formación de 3 subconjuntos, donde el pH de los tratamientos de 0.5 g y 0.75g son estadísticamente iguales, así como para 0.75g y 1g pertenecen al mismo grupo.

### Modelos de Isotermas de absorción

Las ecuaciones de las isotermas de absorción aplicados al modelo experimental dieron como resultado que el mejor ajuste para la absorción de cadmio con cáscara de naranja corresponde a

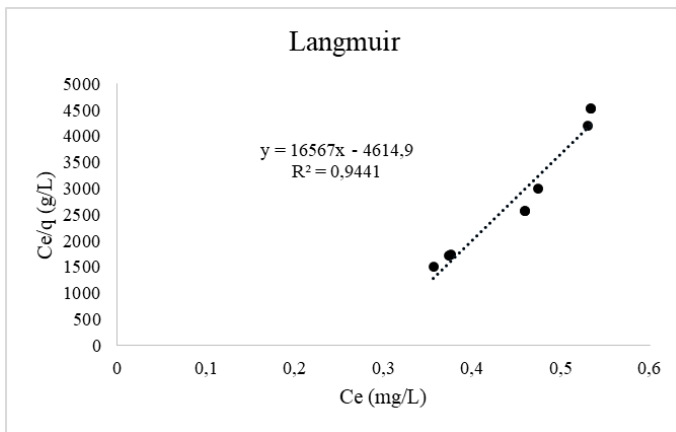
isoterma de Langmuir ( $R^2 = 0.9441$ ), mientras que para la cáscara de plátano el modelo con mayor ajuste fue el Freundlich ( $R^2 = 0,877$ ). También, se muestra la capacidad máxima adsorción ( $q_{max}$ ) en Langmuir, sobresaliendo el de naranja con  $0.00006$  mg/g. Mientras que Freundlich te indica la capacidad de adsorción del material ( $K_f$ ) y la medida de intensidad de adsorción ( $1/n$ ) para los tipos de CA (Tabla 4).

De acuerdo a la prueba de hipótesis del modelo de regresión lineal simple, es significativo tanto para Langmuir ( $p=0.000$ ) y Freundlich ( $p=0,001$ ), es decir el modelo de regresión es el adecuado, la cantidad de adsorbato retenido en el material está relacionado con la cantidad de adsorbato presente en la solución.

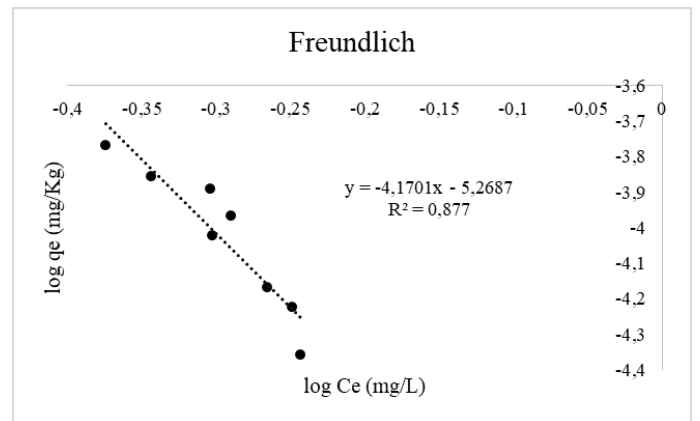
**Tabla 4**

*Parámetros de ajuste según modelo de isoterma por tipo de carbón activado*

CA_Plátano		CA_Naranja	
Langmuir	Freundlich	Langmuir	Freundlich
<b>R2</b> 0.8149	<b>R2</b> 0.877	<b>R2</b> 0.9441	<b>R2</b> 0.9439
<b>qmáx</b> 0.00002	<b>Kf</b> 0.00001	<b>qmáx</b> 0.00006	<b>Kf</b> 0,00005
<b>Kl</b> -2.45339	<b>1/n</b> -4.1701	<b>Kl</b> -3.58989	<b>1/n</b> -1,6371
	<b>n</b> -0.2398		<b>n</b> -0,6108



**Gráfico 8** Ajuste de isoterma Langmuir en la adsorción de Cd empleando carbón activo de cáscara de naranja.



**Gráfico 9** Ajuste de isoterma Freundlich en la adsorción de Cd empleando carbón activo de cáscara de plátano

## DISCUSIÓN

Para elegir el tipo de precursor de CA según Bonilla et. al, (2017), se debe considerar: la disponibilidad, el costo, contenido de cenizas y su capacidad de adsorción; teniendo en cuenta esto según Ruiz y Julca (2022), mencionan “en el Perú, Junín es la principal región de producción de naranja con 55%, seguida de San Martín y Lima”. En tanto el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2020) indica que existen 160 mil Ha de producción de plátano, focalizándose más del 70% en la región amazónica; entonces existe una alta disponibilidad de usar los residuos agrícolas como las cáscaras para la elaboración de CA en la región.

Un indicador de calidad y alto rendimiento del CA, es que el contenido de cenizas sea bajo, el contenido de material volátil y carbono fijo sea alto. Cárdenas y Flores (2022) obtuvieron en su caracterización 11.78 % de carbono fijo y 53.67% de cenizas para su CA de cáscara de plátano; sin embargo, los resultados obtenidos de análisis fisicoquímicos (tabla 2), muestra que el CA de cáscara de plátano se ajusta mejor a dichas condiciones (CF: 42.9 %; MV: 26.9 % C: 30.3%). Por otro lado, el resultado en contenido de carbono fijo para el CA de cáscara de naranja fue de 25.4 %, dato bajo en comparación con Bonilla et. al, (2017) que obtuvo 58.71%.

Sin embargo, los resultados indican que el CA de cáscara de naranja tuvo un mayor promedio en la remoción de Cd, así como en la capacidad de absorción, esto se debe a que las cáscaras de naranja tienen una alta capacidad de adsorción de metales, debido al alto contenido de hemicelulosa, celulosa, pectina y lignina (Valdés-Rodríguez et, al. 2022). Por otro lado, a mayor concentración de CA agregado a la solución contaminada, será superior la eficiencia de remoción, afirmado por Arias (2019), cuanto mayor sea la concentración del compuesto que se desea eliminar entonces se requerirá aplicar más absorbente.

Paredes y Segura (2021) mencionan que la variabilidad de los porcentajes de remoción es influenciada por la temperatura, pH y tipo de metal Pacheco (2021) indica que la adsorción es proporcional a la temperatura, sin embargo, cuando la concentración del adsorbato es alta, el adsorbente se satura y el proceso se vuelve lento. Este factor no influyó drásticamente en la capacidad de adsorción del experimento ya que se realizó a temperatura ambiente; en ciertos casos cuando se aumenta la temperatura suele reducirse la cantidad de adsorbato, pero si es muy alta es posible que la textura del adsorbente se dañe por ende disminuye la adsorción (Nina y Huanca, 2020; Hernández et. al, 2019).

El pH es un factor significativo en el proceso de adsorción, incluso depende del tipo de metal a remover (Paytan, 2021), a pH altos se tiene inconvenientes en la precipitación del metal mientras que a pH bajos se inhibe la aproximación de los iones metálicos a la superficie de adsorbente; por ello Nina y Huanca (2020) plantean que el pH óptimo para la adsorción está en un rango de 4-7. En los resultados el agua contaminada artificialmente con Cd estuvo en pH de 6.34 pero al agregar el carbón activado los valores descendieron a pH de 2, ya que para la elaboración de los CA fueron impregnados con ácido fosfórico, es un indicador para el bajo porcentaje de remoción que se obtuvo para ambos tipos de CA, ya que Hernández et. al, (2019) afirma que la adsorción de cationes como es el caso del Cd suele ser favorecida a pH superiores a 4.5.

Los datos experimentales de la adsorción de Cd por CA de cáscara de naranja se ajustaron mejor al modelo Langmuir ( $R^2= 0.9441$ ), al igual que Arias (2019) con un coeficiente de determinación de 0.9626 para remoción de Cr (VI); el modelo de isoterma Langmuir indica que la retención de los iones metálicos se dio sobre una superficie homogénea (Ramutshatsha-Makhwedzha et. al, 2022). Mientras que el modelo de Freundlich se ajustó mejor a los datos experimentales de adsorción por CA de cáscara de plátano ( $R^2=0.877$ ), al igual con los resultados de Hernández et.al, (2019) y Paytan (2021), teniendo como coeficiente de correlación de 0.8589 y 0.9954 respectivamente; sugiriendo que el adsorbente tiene una superficie heterogénea. En estudios

realizados por Frida et.al, (2021), Biibaj et.al, (2019) señalan que el CA de plátano presentan una estructura irregular, amorfa y aglomerada en comparación con los de la naranja que tiene una estructura más regular y porosa (Syeda et.al, 2022; Basha et.al, 2021). Por ende, Wang et.al, (2022) recalca que si la morfología del CA es irregular y la estructura de los poros es desordenada influye negativamente en el rendimiento del proceso de adsorción.

## CONCLUSIONES

Se obtuvo carbón activado de *Musa paradisiaca* L. y *Citrus x sinensis* cuya granulometría es  $\leq$  a 1mm; se demostró que las cáscaras de naranja tienen un mayor rendimiento (62.5%) para la elaboración de CA como precursor. Estos residuos utilizados en la investigación tienen potencial para ser aprovechados porque son materiales accesibles y económicos en la región.

El análisis fisicoquímico del carbón activado de cáscaras de *Musa paradisiaca* L. indican un contenido de humedad de 11.3 %, material volátil de 26.9 %, cenizas de 30.3% y carbono fijo de 42.9%. Mientras de la cáscara de *Citrus x sinensis* mostró un contenido de humedad de 16.3%, material volátil de 36.9 %, cenizas del 37.7% y carbono fijo de 25.4%.

Comparando la eficiencia de remoción de Cd por los diferentes carbones activados obtenidos, el CA de cáscaras de *Citrus x sinensis* tuvo mejores resultados que de la *Musa paradisiaca* L. siendo las medias 17.58 y 9.83 respectivamente. Encontrándose un promedio mayor de remoción del 22.8 % para el CA de plátano; mientras, el CA de naranja obtuvo un 37.8%.

La mayor capacidad de adsorción de Cd fue de 0.0092mg Cd/g CA y la mejor eficiencia de remoción alcanzó un porcentaje de 30.5 % utilizando una concentración de 1g de CA, indicando que a mayor concentración de adsorbente la remoción de contaminante será más eficiente.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un lavado de los carbones activados después de la carbonización para remover el exceso de la sustancia química con la que se impregnó con soluciones amortiguadoras que ajuste su pH en un rango de 4-7 para favorecer el proceso de adsorción.

Realizar ensayos a una escala real, utilizando aguas residuales industriales o aguas contaminadas que contenga cadmio en altas concentraciones para verificar la eficiencia de remoción de los carbones activados y compararlos con los resultados obtenidos en escala laboratorio.

Considerar hacer investigaciones donde se trabaje con diferentes activadores químicos, pH, temperaturas de activación, tamaño de partícula; con el fin de conocer las influencias de estos factores en la capacidad de adsorción de los carbones activados.

## Referencias

- Arias Patiño, L. C. (2019). Evaluación de la capacidad de remoción de Cr (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 129. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1112](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1112)
- Azabache Liza, F., Colmenares, W., & Terrones, R. (2016). Determinación de la eficiencia del carbón activado obtenido experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo. 6. Retrieved from <http://revistas.unsm.edu.pe/index.php/Ia/article/viewFile/Ac7/30>
- Basha, S. R., Babu, G. V., & Nagendra, T. (2021). Machine Translated by Google Capacidades características y de biosorción de biosorbentes de piel de naranja para la eliminación de amoníaco y nitrato de aguas contaminadas Machine Translated by Google. 1, 1–14

Bibaj, E., Lysigaki, K., Nolan, J. W., Seyedsalehi, M., Deliyanni, E. A., Mitropoulos, A. C., & Kyzas, G. Z. (2019). Activated carbons from banana peels for the removal of nickel ions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 667–680. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1676-0>

Bonilla Mansilla, H. D., Tejada Tovar, C., & Del Pino Moreyra, J. (2017). Obtención De Isotermas De Adsorción Del Plomo (Ii) Del Efluente Minero Río Anticona-Cerro De Pasco Utilizando El Carbón Activado De Cáscara De Naranja. *Ciencia & Desarrollo*, 16(21), 29–36. <https://doi.org/10.33326/26176033.2017.21.727>

Bonifacio, C. (2019). Evaluación del tiempo de carbonización y concentración del ácido fosfórico en la preparación de carbón activado a partir de la cáscara de naranja valencia a nivel laboratorio. 17(128), 94. <https://doi.org/10.3406/bagf.1940.7080>

Bravo, K., & Garzón, A. (2017). eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua. 1–86.

Cárdenas, L., & Flores, M. (2022). “Efecto del carbón activado de cáscara de plátano (musa paradisiaca variedad hartón) en la remoción de hierro total del agua del subsuelo de la universidad nacional de Ucayali. Ucayali, Perú.” in *universidad nacional de Ucayali*.

Fridaa, E., Sebayanga, K., & Humaidi, S. (2021). Datos sobre caracterización , modelo y tasa de adsorción de carbón activado de cáscara de plátano ( Musa Acuminata ) para adsorbentes de varios metales pesados ( Mn , Pb , Zn , Fe ). 39. <https://doi.org/10.17632/mcjwgp6zg.1>

Gonzales, M., & Bitón, D. (2020). Adsorción de mercurio en agua contaminada artificialmente empleando carbón activado de semillas de Aguaje (Mauritia Flexuosa A.). 1, 22. [papers2://publication/uuid/45D7E632-B571-4218-9E47-8B4457FEA9D3](https://doi.org/10.33326/26176033.2020.22.727)

Hernández Mestanza, L. M., Majano Abrego, G. E., & Mira Martínez, E. A. (2019). Elaboración de un material biosorbente a partir de la cáscara de plátano (Musa sp.) para ser utilizado en la remoción de Cromo VI proveniente de las aguas residuales de la industria de curtiembre. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20508/1/>

James, A., & Yadav, D. (2021). Valorization of coconut waste for facile treatment of contaminated water: A comprehensive review (2010–2021). *Environmental Technology and Innovation*, 24, 102075. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102075>

Kwikima, M., Mateso, S., & Chebude, Y. (2021). Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater. A review. *Scientific African*, 13, e00934. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00934>

Manwani, S., Sharma, A., Bhoot, N., Awasthi, A., & Awasthi, G. (2022). Comparative analysis of different chemical and biological adsorbents for the reduction of arsenic and mercury from vegetable species in the Sanganer, Jaipur. *Materials Today: Proceedings*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.504>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2020). MINAGRI desarrollará tecnología que proteja al banano orgánico del letal hongo Fusarium Oxysporium. <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-040/>

Ogbodo, O., Asadu, O., Anthony, C., Onoh, I., Chijioke, O., Sunday, I., & Evuensiri, O. (2021). Journal of Hazardous Materials Advances Preparation and Characterization of activated carbon from agricultural waste ( Musa-paradisiaca peels ) for the remediation of crude oil contaminated water. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2(September), 100010. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2021.100010>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de la Organización Mundial de la Salud.

Nina Ancalla, D. Y., & Huanca Choquejahu, K. D. (2020). Estudio de bioabsorbentes para la remoción de plomo en tratamientos de aguas. 1–15.

Paytan Montañez, T. C. (2021). Adsorción de Plomo (II) usando cáscara de plátano (Musa Paradisiaca) en aguas contaminadas.

Paredes Ramirez, O. E., & Segura Acosta, L. M. (2021). Estudio de la remoción de metales pesados en aguas contaminadas de ríos utilizando carbón activado vegetal. In *Universidad Privada del Norte*.

Pacheco Quintero, A. R. (2021). Evaluación de la remoción del tinte capilar azul plata en una muestra de agua utilizando carbón activado obtenido a partir de cáscara de bananas.

Ramírez, E., & Segura, M. (2021). “estudio de la remoción de metales pesados en aguas contaminadas de ríos utilizando carbón activado vegetal.”

Ramutshatsha, D., Mavhungu, A., Moropeng, M. L., & Mbaya, R. (2022). Activated carbon derived from waste orange and lemon peels for the adsorption of methyl orange and methylene blue dyes from wastewater. *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09930>

Ruiz Camacho, W., & Julca Otiniano, A. (2022). Efecto de la fertilización sobre la naranja variedad Valencia en tres zonas agroecológicas en la Provincia de Chanchamayo, Junín, Perú. *Idesia (Arica)*, 40(4), 39–44. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000400039>

Ruth, S., & Vasquez, P. (2020). Universidad peruana unión.

Syeda, H. I., Sultan, I., Razavi, K. S., & Yap, P. S. (2022). Biosorption of heavy metals from aqueous solution by various chemically modified agricultural wastes: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 46(November 2021), 102446. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102446>

Wang, Q., Luo, C., Lai, Z., Chen, S., He, D., & Mu, J. (2022). Honeycomb-like cork activated carbon with ultra-high adsorption capacity for anionic, cationic and mixed dye: Preparation, performance and mechanism. *Bioresource Technology*, 357(April), 127363. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127363>

Wattanakornsiri, A., Rattanawan, P., Sanmueng, T., Satchawan, S., Jamnongkan, T., & Phuengphai, P. (2022). Local fruit peel biosorbents for lead(II) and cadmium(II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42(September), 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.008>

Valdés-Rodríguez, E. M., Mendoza-Castillo, D. I., Reynel-Ávila, H. E., Aguayo-Villarreal, I. A., & Bonilla-Petriciolet, A. (2022). Activated carbon manufacturing via alternative Mexican lignocellulosic biomass and their application in water treatment: Preparation conditions, surface chemistry analysis and heavy metal adsorption properties. *Chemical Engineering Research and Design*, 187, 9–26. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.08.039>



mary olortegui garcia <maryolorteguigarcia@gmail.com>

---

## Revista Ambiente & Água - Manuscript ID AMBIAGUA-2024-3030

1 mensaje

---

Revista Ambiente & Água <onbehalf@manuscriptcentral.com>

28 de agosto de 2024, 1:53 p.m.

Responder a: ambi.agua@gmail.com

Para: maryolorteguigarcia@gmail.com, maryolortegui@upeu.edu.pe

CC: maryolorteguigarcia@gmail.com, maryolortegui@upeu.edu.pe, gracemoralesiza5@gmail.com

28-Aug-2024

Dear Mrs. Olortegui Garcia:

Your manuscript entitled "Activated Carbon from Banana Peel (Paradise muse L.) and Orange Peel (Citrus x sinensis) in the Removal of Cadmium in Contaminated Waters" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Revista Ambiente & Água.

Your manuscript ID is AMBIAGUA-2024-3030.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/ambiagua-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/ambiagua-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Revista Ambiente & Água.

Sincerely,  
Revista Ambiente & Água Editorial Office



“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

**RESOLUCIÓN N° 0262-2024/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Ñaña 23 de abril de 2024

**VISTO:**

El expediente de **Mary Isabel Olortegui García**, identificado(a) con código universitario N° **201810727** y **Grace Estefanía Morales Iza** identificado(a) con código universitario N° **201812443** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del proyecto de tesis;

Que **Mary Isabel Olortegui García** y **Grace Estefanía Morales Iza**, han solicitado la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado "Eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano (*Musa balbisiana*) y naranja (*Citrus x sinensis*) en la remoción de cadmio en aguas contaminadas";

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 23 de abril de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado "Eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano (*Musa balbisiana*) y naranja (*Citrus x sinensis*) en la remoción de cadmio en aguas contaminadas", por el de: "Eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y naranja (*Citrus x sinensis*) en la remoción de cadmio en aguas contaminadas", en el registro respectivo y disponer que con la orientación de su asesor el(la) **Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado**, sea desarrollado y ejecutado el proyecto de tesis por **Mary Isabel Olortegui García** y **Grace Estefanía Morales Iza**, otorgándose un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución, a partir de la inscripción inicial.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



Ph.D. Silvia Pilco Quesada  
**SECRETARIA ACADÉMICA**

**CC:**

- Interesado
- Asesor
- DGI
- Archivo