

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



**Adsorción de arsénico en aguas subterráneas mediante carbón  
activado derivado de cascaras de plátano Bellaco y Seda**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Jhon Amilkar Mamani Morales

Lyz Maribel Mendoza Luque

**Asesor:**

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

**Juliaca, junio de 2025**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DERIVADO DE CASCARAS DE PLÁTANO BELLACO Y SEDA”** de los autores **Jhon Amilkar Mamani Morales** y **Lyz Maribel Mendoza Luque** tienen un índice de similitud de 6% 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 Juliaca, a los 27 días del mes de junio del año 2025.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquani, a 37 día(s) del mes de junio del año 2021, siendo las 18:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Msc. Miguel Ángel Salcedo Enriquez el (la) secretario(a): Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla y los demás miembros: Mg. Franclyn Elard Zapana Yura

Msc. Lourda Higinil Pando Turpo y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Asociación de arsénico en aguas subterráneas mediante carbón activado derivado de cascara de plátano Bellaco y Seda"

del(los) bachiller(es): a) Lyz Maribel Mendoza Luque  
 b) Jhon Amikar Hamani Morales  
 c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental  
(Especialización 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): Lyz Maribel Mendoza Luque

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Jhon Amikar Hamani Morales

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

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.

[Firma]  
 Presidente/a  
[Firma]  
 Asesor/a  
[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Miembro  
[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretaria/a  
[Firma]  
 Miembro  
 \_\_\_\_\_  
 Bachiller (c)

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por otorgarnos la sabiduría, la capacidad intelectual y por colmar nuestras vidas de bendiciones que han contribuido significativamente a nuestro crecimiento personal y profesional.

Expresamos con profundo amor y gratitud, dedicamos este logro a nuestros padres Pedro Mamani, Hilda Morales, Romualdo Mendoza y Lucila Luque, quienes han sido nuestro pilar fundamental a lo largo de esta travesía académica mostrando su apoyo moral, emocional y muchas veces materialmente.

De igual manera expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Peruana Unión por la sólida formación académica brindada a lo largo de nuestra carrera profesional, así como por el valioso respaldo institucional ofrecido durante el desarrollo de esta investigación. Reconocemos también la importancia de haber contado con el acceso a sus laboratorios, los cuales fueron fundamentales para la ejecución de este trabajo

Jhon Amilkar Mamani Morales – Lyz Mariel Mendoza Luque

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
1. INTRODUCCION .....	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
2.1 Área de estudio .....	14
2.2 Diseño Experimental .....	15
2.3 Toma de Muestras .....	15
2.4 Determinación de los parámetros monitoreados .....	16
2.5 Determinación de valores de Arsénico .....	17
2.6 Ácido Fosfórico .....	18
2.7 Procedimiento Experimental .....	18
2.8 Caracterización de carbón .....	22
2.9 Modelos Isotérmicos .....	25
3. RESULTADOS.....	28
3.1 Caracterización del agua subterránea.....	28
3.2 Caracterización de carbón activado .....	29
3.3 Punto de carga cero del potencial de hidrogeno .....	29
3.4 Parámetros de control (pH) .....	30
3.5 Parámetros de control (Conductividad eléctrica).....	31
3.6 Parámetros de control (Turbiedad).....	32
3.7 Parámetros de control (Oxígeno Disuelto) .....	33

3.8	Remoción y porcentaje de arsénico con carbón activado de cascaras de plátano Bellaco y Seda .....	33
3.9	Isotermas de Adsorción (Modelo Langmuir) .....	34
3.10	Isotermas de adsorción (Modelo Freundlich) .....	35
3.11	Isotermas de adsorción (Modelo Temkin) .....	36
4.	DISCUSIÓN .....	37
4.1	Caracterización del agua.....	37
4.2	Caracterización de carbón activado .....	37
4.3	Punto de carga cero .....	37
4.4	Potencial de hidrogeno.....	38
4.5	Conductividad Eléctrica.....	38
4.6	Turbiedad.....	39
4.7	Oxígeno Disuelto.....	39
4.8	Remoción de arsénico.....	40
4.9	Modelo Langmuir .....	40
4.10	Modelo Freundlich.....	41
4.11	Modelo Temkin.....	41
5.	CONCLUSIONES.....	42
6.	REFERENCIAS.....	44
7.	ANEXOS .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Información sobre algunos parámetros y métodos utilizados de análisis de muestras .....	17
<b>Tabla 2.</b> Resultados obtenidos con los parámetros iniciales .....	28
<b>Tabla 3.</b> Caracterización de Carbón Activado .....	29
<b>Tabla 4.</b> Remoción de arsénico.....	34
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas de proceso para la obtención del carbón activado de cascara de plátanos (Bellaco y Seda).....	20
<b>Figura 2.</b> Punto de carga cero del pH de las cáscaras de plátano “Bellaco” y “Seda”	30
<b>Figura 3.</b> pH del agua post tratamiento con carbón activado de cáscaras de plátano Bellaco y cáscara de plátano Seda a diferentes concentraciones. ....	31
<b>Figura 4.</b> Conductividad eléctrica post tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano Bellaco y cáscara de plátano Seda a diferentes concentraciones .....	32
<b>Figura 5.</b> Turbiedad posterior tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano Bellaco y de plátano Seda a diferentes concentraciones.....	32
<b>Figura 6.</b> Niveles de oxígeno disuelto post tratamiento con carbón activado de cáscaras de plátano Bellaco y cáscara de plátano Seda a diferentes concentraciones.....	33
<b>Figura 7.</b> Modelo Langmuir de carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Seda. ....	35
<b>Figura 8.</b> Modelo Freundlich de carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Seda .....	36
<b>Figura 9.</b> Modelo Temkin de carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Seda.	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Evidencia de sumisión de artículo en la revista de Tecnologías y Ciencias del agua .....	50
<b>Anexo 2.</b> Copia de la resolución de inscripción del perfil del proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad .....	51
<b>Anexo 3.</b> Resultados de análisis iniciales y finales posterior tratamiento con carbón activado .....	52
<b>Anexo 4.</b> Análisis de caracterización del carbón activado de ambas variedades de plátano Bellaco y Seda.....	52

# **Adsorción de arsénico en aguas subterráneas mediante carbón activado derivado de cascaras de plátano Bellaco y Seda**

## **RESUMEN**

El arsénico es un contaminante con alto grado de toxicidad que se encuentran naturalmente en aguas subterránea, por lo que representa un alto riesgo en la salud humana, especialmente en lugares con acceso limitado a sistemas de tratamiento. Frente a esta problemática, la investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del carbón activado elaborado a partir de cascaras de plátano (Bellaco-Seda) para la remoción de arsénico en aguas subterráneas destinadas para consumo humano. Posteriormente, se elaboró carbón activado mediante un proceso de activación química y carbonización, aplicando a 5 diferentes concentraciones (3, 5, 7, 9, 11g/l) por triplicado, utilizando un diseño estadístico completamente aleatorio para el parámetro principal (Arsénico). La eficiencia de adsorción del arsénico se analizó mediante la aplicación de modelos matemáticos de Langmuir, Freundlich, y Temkin, con la finalidad de evaluar la naturaleza del proceso de adsorción. Los resultados obtenidos evidenciaron que el carbón activado de cascaras de plátano (Bellaco-Seda) alcanzo una eficiencia de remoción de arsénico superior al 90%, siendo Freundlich el que presento mejor ajuste  $R^2=0.89$  (Bellaco), y  $R^2=0.58$  (Seda) en el comportamiento isotérmico para las variedades de cascaras de plátano. Asimismo, se procedió con la caracterización del carbón de las dos variedades respectivamente. Finalmente, se concluyó en esta investigación, el carbón activado elaborado a partir de cascaras de plátano (Bellaco-Seda), es una alternativa sostenible y de bajo costo económico para la remoción de arsénico en aguas subterráneas ofreciendo una alternativa de solución para mejorar la calidad de aguas en zonas con escasas alternativas de tratamiento.

**Palabras clave:** *Adsorción, aguas subterráneas, arsénico, carbón activado, remoción, isotermas.*

# **Adsorption of arsenic in groundwater using activated carbon derived from Bellaco and Seda banana peels**

## **ABSTRACT**

Arsenic is a highly toxic contaminant found naturally in groundwater, posing a significant risk to human health, especially in areas with limited access to treatment systems. In response to this challenge, this study aimed to evaluate the efficiency of activated carbon produced from banana peels (Bellaco-Seda) for removing arsenic from groundwater intended for human consumption. Activated carbon was subsequently prepared through a chemical activation and carbonization process, applied at five different concentrations (3, 5, 7, 9, and 11 g/L) in triplicate, using a completely randomized statistical design for the primary parameter (arsenic). Arsenic adsorption efficiency was analyzed using Langmuir, Freundlich, and Temkin mathematical models to assess the nature of the adsorption process. The results obtained showed that activated carbon from banana peels (Bellaco-Seda) achieved an arsenic removal efficiency greater than 90%, with Freundlich showing the best fit  $R^2=0.89$  (Bellaco), and  $R^2=0.58$  (Seda) in the isothermal behavior for the banana peel varieties. Likewise, the characterization of the carbon from the two varieties respectively was carried out. Finally, it was concluded in this research, activated carbon made from banana peels (Bellaco-Seda), is a sustainable and low-cost alternative for the removal of arsenic in groundwater, offering an alternative solution to improve water quality in areas with few treatment alternatives.

**Keywords:** *Adsorption, groundwater, arsenic, activated carbon, removal, isotherms*

## 1. INTRODUCCION

El agua es un componente esencial de todos los seres vivos, garantizar su calidad es una de las principales preocupaciones de la humanidad, ya que tiene un impacto directo en el bienestar de la población. Para muchas comunidades rurales, el agua subterránea constituye la única fuente de agua potable, y aproximadamente el 50% de la población mundial depende de ella para su consumo (Calvopiña Beltrán & Satuquina, 2024). El agua subterránea se encuentra en el interior de la tierra, en los espacios porosos del suelo y las rocas, alojada en formaciones geológicas como acuíferos, acuicludos, y acuíardos (Fiestas & Millones, 2019). Los acuíferos son las formaciones más explotadas debido a la gran cantidad de agua que almacenan a diferencia del agua superficial, el agua subterránea tiene una mayor capacidad para protegerse de diversos contaminantes no obstante, una vez que se contamina, su recuperación es duradero (Calcina-Benique, Calcina-Rondán, Huaraya-Chambi, Salas-Camargo, & Tejada-Meza, 2022).

El arsénico es un contaminante ambiental que representa un riesgo significativo para la salud humana debido a sus efectos tóxicos, incluso en concentraciones bajas (Cortez, 2022). Su presencia en fuentes de agua, como en los pozos subterráneos, ha sido ampliamente documentada en diversas regiones del mundo, especialmente en áreas rurales donde el acceso a sistemas de tratamiento de agua es limitado.

La exposición prolongada al arsénico puede ocasionar problemas de salud graves, como cáncer, trastornos en la piel, y daños en órganos internos como los riñones y el hígado (Arsenic in Drinking-water, 2021). Una de las soluciones más efectivas para la eliminación de arsénico en agua es el uso de materiales adsorbentes, como el carbón activado, que se ha demostrado ser altamente eficaz en la remoción de contaminantes debido a su alta área superficial y capacidad de adsorción (Nezha, 2014). Tradicionalmente, el carbón activado se ha producido a partir de materiales orgánicos

como la cáscara de coco, manzana, y naranja. Asimismo, el uso de materiales alternativos y sostenibles, como la cáscara de plátano, ha ganado atención en los últimos años debido a su disponibilidad, bajo costo y alta capacidad de adsorción (Meez, Tolkou, Giannakoudakis, Katsoyiannis, & Kyzas, 2021).

En un estudio realizado por Alcantara & Casamayor (2020) indican que el carbón activado elaborado a partir de cáscara de plátano ha mostrado un alto potencial en la adsorción de metales pesados como el arsénico, superando valores mayores al 90% de remoción. La cáscara de plátano, proporciona una estructura porosa ideal para la retención de contaminantes.

Además, el proceso de activación química mejora la porosidad y la capacidad de adsorción del material, lo que aumenta su efectividad en la purificación del agua (Jha & Maharjan, 2022). Este mecanismo sostenible representa una solución viable, y accesible, para comunidades rurales con escasos recursos económicos. Se plantea como hipótesis que el carbón activado elaborado con cascaras de plátano (Bellaco-Seda) remueve de manera eficiente el arsénico presente en el agua, ajustándose de manera correcta a modelos matemáticos de adsorción.

Esta investigación se enfoca en la adsorción de arsénico proveniente de agua subterráneas que son destinadas para consumo humano con carbón activado de cáscara de plátano (Bellaco y Seda). El análisis estadístico mostro que la concentración del adsorbente fue el factor dominante, explicando casi toda la variabilidad en la remoción, Asimismo la prueba Tukey señala que dosis mayores a 7 g/l ya no generan diferencias significativas marcando un punto de eficiencias optima en el tratamiento. Además, se evalúa la capacidad de adsorción empleando los modelos matemáticos de Langmuir, Freundlich, y Temkin, del carbón activado, las cantidades y condiciones experimentales se detallan en la sección metodológica. Los modelos Langmuir,

Freundlich, y Temkin son eficaces para diferentes escenarios de adsorción. El modelo Langmuir es más adecuado para la adsorción monocapa en superficies homogéneas, mientras que el modelo de Freundlich es más adecuado para superficies heterogéneas (Murillo, Gomez, Ortiz, & Muñoz, 2015). El modelo de Temkin considera las interacciones del adsorbato, pero no suele ser el más adecuado en comparación con los otros dos modelos. La elección del modelo depende de las características específicas del sistema de adsorción en estudio (Cuesta & Nieto, 2022).

Finalmente, esta investigación busca aportar conocimientos sobre el uso de materiales desechables, generados por las personas, con el objetivo de evaluar la eficiencia de remoción de carbón activado elaborado de cascaras de plátano (Bellaco-Seda) para la remoción de arsénico en aguas subterráneas, promoviendo así, una solución sostenible y de bajo costo que puedan ser aplicados en zonas con poca disponibilidad de tratamiento.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudio**

La presente investigación se desarrolló en dos etapas. La primera se llevó a cabo en el kilómetro 6.5 de la carretera de salida a Arequipa, en la autopista Héroes de la Guerra del Pacífico, se recolecto muestras de agua subterránea con presencia de arsénico en una de las viviendas pobladas de la zona. La segunda fase tuvo lugar en los laboratorios de Saneamiento Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión, sede Juliaca. Esta etapa consistió en la caracterización inicial y final (post tratamiento), de las muestras, evaluando parámetros como la concentración de arsénico (As), pH, conductividad eléctrica, turbidez y oxígeno disuelto. Asimismo, se realizó la elaboración de carbón activado a partir de residuos de cáscara de plátano de las variedades Bellaco y Seda.

## **2.2 Diseño Experimental**

El diseño experimental ejecutado fue un diseño completamente aleatorio (DCA), que consistió en cinco tratamientos con tres repeticiones de cascara de plátano, por triplicado sumando un total de 30 unidades experimentales. Las repeticiones a distintas cantidades de gramos de masa (3, 5, 7, 9, y 11g/l) de las 2 variedades de plátano, los datos obtenidos se evaluaron mediante un análisis de varianza, dividiendo la variabilidad total de los resultados y nos permite ver cómo influye cada factor, en este caso se aplicó el ANOVA, para comprobar si la variedad y la concentración del carbón activado afectan la remoción de arsénico. Asimismo, se trabajará con tres diferentes modelos matemáticos para determinar la eficiencia del carbón activado en diferentes dosis, con la finalidad de obtener isothermas de absorción (Langmuir, Freundlich, Temkin). Las isothermas de absorción es la curva que, en condiciones de equilibrio, enlaza la concentración de metal adsorbida en la fase solida con la concentración de metal en solución para temperaturas específicas (Carbonel Ramos, 2018).

## **2.3 Toma de Muestras**

El agua subterránea se recolectó a una profundidad de alrededor de 16 pies (5 metros) por debajo de la superficie. Se optó por la captación de muestra en elegir un día soleado para recoger las muestras de agua. La humedad fue moderada y la temperatura osciló entre 16 y 19 °C. El horario de muestreo fue de 10:00 a.m. a 11:00 a.m. el 14 de enero de 2025. Las coordenadas 19L 374164 8284318 GPS del sitio de prueba se registraron utilizando un dispositivo móvil (Modelo: Samsung). La muestra fue entregada inmediatamente al Laboratorio de Saneamiento Ambiental de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión campus Juliaca. El nombre del sitio, la fecha y la hora de la recolección de la muestra se marcaron en los 2 baldes de muestras. Algunos parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, turbidez y oxígeno disuelto se determinaron de inmediato. Finalmente, se retiró alrededor de 1 litro de agua

en frasco de vidrio para su posterior análisis inicial de arsénico este se puso a refrigerador, el resto de muestra se hermetizo correctamente para que no se pudiera tener ningún tipo de inconvenientes a su posterior tratamiento, se optó por mantener la muestra restante en un lugar donde las temperaturas sean por debajo de los 15°C.

Diversas organizaciones internacionales regulan el contenido de arsénico (As) en el agua destinada al consumo humano, debido a los riesgos que representa para la salud. En el Perú, el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, establece que la concentración máxima admisible de arsénico en agua potable es de 0.01 mg/l(10 µg/l) (MINSA, 2011), este valor también está respaldado por la (OMS, 2018), su guía para la calidad del agua de consumo humano establece el mismo límite de 0.01 mg/l(10 µg/l), con el objetivo de proteger la salud humana y prevenir los efectos negativos a largo plazo, como el cáncer y otras enfermedades asociadas a la exposición prolongada a arsénico. Asimismo, en los Estados Unidos, la agencia de protección ambiental (EPA) estableció un límite de 0.01 mg/l lo que también se puede traducir como 10 µg/l de arsénico en el agua potable, publicado el documento de arsénico y aclaraciones sobre el cumplimiento y la nueva norma de monitoreo de fuentes, guía de referencia rápida (US EPA, 2001a). Las normativas vigentes evidencian la angustia por la salud humana del consumidor ante los efectos nocivos del arsénico en el agua potable.

#### **2.4 Determinación de los parámetros monitoreados**

Con la finalidad de evaluar el parámetro objetivo y la disposición de los laboratorios, se analizaron un total de 5 parámetros. Los parámetros a evaluar fueron Arsénico, pH, conductividad eléctrica, turbidez, y oxígeno disuelto  $\geq 5$  (MINAM, 2017). Todos estos parámetros fueron evaluados en el laboratorio de saneamiento ambiental horas después de la toma de muestras del pozo subterráneo, con la ayuda de diferentes instrumentos de medición. Se utilizo el instrumento de HANNA HI9125 portable pH/ORP

METER, para el parámetro de pH, asimismo se trabajó con el instrumento turbidímetro portátil 2100Q de HACH, para turbidez, el HACH-HQ40d dual-input multi-parameter digital meter, para conductividad eléctrica, asimismo también se utilizó el mismo instrumento para lo que viene a ser oxígeno disuelto.

**Tabla 1.** Información sobre algunos parámetros y métodos utilizados de análisis de muestras

Parámetro	MINSA (DS N° 031-2010-SA.) MINAM (DS N° 004-2017)	Instrumento	Método y modelo
Arsénico (mg/l)	0.01	Medidor del valor de Arsénico.	El espectrofotómetro DR 1900 HACH LANGE.
Potencial de Hidrógeno	6.5 -8.5	Medidor de pH	HANNA HI9125 portable pH/ORP METER.
CE (µS/cm)	1500	Probador de conductividad eléctrica.	HACH-HQ40d dual-input multi-parameter digital meter.
Turbidez (UNT)	5	Medidor de turbidez.	Turbidímetro portátil 2100Q de HACH.
Oxígeno Disuelto (mg/l)	≥ 5	Probador de Oxígeno Disuelto	HACH-HQ40d dual-input multi-parameter digital meter.

*Nota:* pH= Potencial de Hidrogeno, CE=Conductividad Eléctrica, mg/l=miligramos por litro, µS/cm=microsiemens por centímetro, UNT=Unidad nefelométrica.

## 2.5 Determinación de valores de Arsénico

Se utilizo un espectrofotómetro DR 1900 modelo HACH LANGE, para la determinación de los valores de arsénico. Este equipo permite la cuantificación de variados analíticos mediante múltiples métodos colorimétricos, utilizando longitudes de onda específicas, este equipo utiliza un sistema óptico basado en un monocromador con rejilla holográfica una fuente de luz de tungsteno y un detector de fotodiodo de silicio, el rango que se utilizó en este caso fue el de 535 nm. Los parámetros óptimos de funcionamiento incluyen el uso de cubetas estándar de 16 mm de diámetro, donde se insertaron las muestras previamente tratadas con los reactivos específicos que vienen

con el producto (reactivos en polvo o en cubetas prellenadas tipo TNT), (“Dr 1900,” 2014).

El método pre programado correspondiente al análisis de arsénico fue seleccionado desde el menú interno del dispositivo, el cual contiene una variedad de métodos validados. El tiempo de reacción química se evidencio automáticamente de acuerdo con el protocolo seleccionado, seguido por la lectura directa, a través del botón principal (Read), registrando la absorbancia y mostrando el resultado en unidades de concentración (mg/l).

## **2.6 Ácido Fosfórico**

La activación química de las cascaras de plátano se realizó con ácido fosfórico a 30 ml completándolo con agua destilada para obtener un total de 100 ml de reactivo por cada 110 g de material seco de cascara de plátano, para el pH, se realizó con una solución de agua destilada sin iones que puedan interferir en los análisis.

## **2.7 Procedimiento Experimental**

### **2.7.1 *Materia Prima***

Se seleccionó como materia prima cáscaras de plátano tipo bellaco 6 kg y tipo seda 6 kg, recolectadas del mercado dominical. Inicialmente, se procedió a la eliminación de impurezas sólidas visibles utilizando una espátula de laboratorio. Luego, los residuos fueron lavados cuidadosamente con agua destilada para garantizar una limpieza adecuada. Posteriormente, las cáscaras limpias se colocaron en una estufa a 60 °C durante 72 horas para su secado. Una vez deshidratadas, se pesaron obteniendo un total de 370.45g (Bellaco) y 338.95g (Seda) de materia seca. Esta fue impregnada con una solución activante compuesta por ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) a 90 ml y agua destilada al 210 ml para ambas variedades de material seco de cascara de plátano, la mezcla resultante se dejó reposar por 1 hora y luego fue introducida nuevamente en la

estufa, esta vez a una temperatura de 80 °C durante 48 horas, seguidamente se procedió a lavar con agua destilada para reducir la acidez optando por un pH de 6.0 a 6.5 inmediatamente se puso a la estufa a una temperatura de 80° C durante 48 horas, como paso previo al proceso de carbonización para la obtención del carbón activado.

### **2.7.2 Preparación del carbón activado**

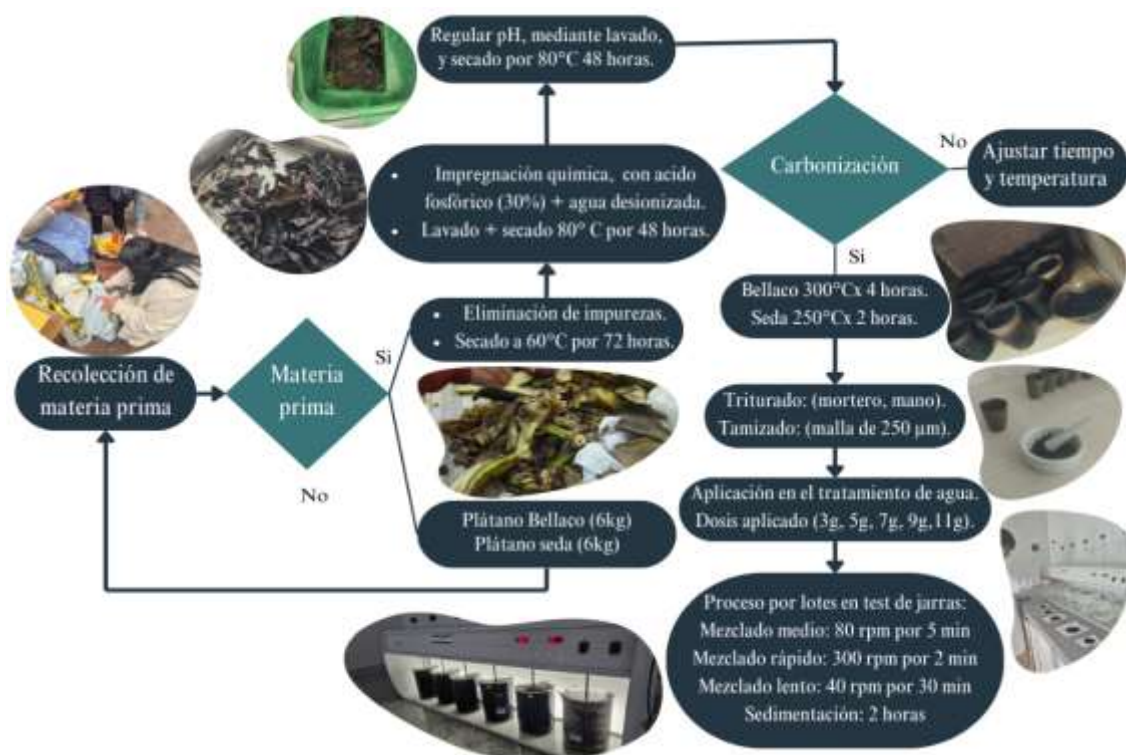
Se coloca alrededor de 10.2 g de cascara de plátano (Bellaco y Seda), en cada uno de los 12 crisoles de 24 cm , sumando un total de 122.4 g, las cascara fueron sometidas en una mufla a una temperatura de 300 °C durante 4 horas para su carbonización, para el caso del plátano bellaco, sin embargo en el caso de la cascara del plátano de seda se ajustó la temperatura y el tiempo el cual se puso a 250°C durante un periodo de 2 horas para su carbonización, seguidamente, pasado el tiempo de activación, se procedió a triturar el carbón activado obtenido con la ayuda de un mortero y su pilón para obtener partículas muy finas que puedan pasar por un tamizador de malla N° 250um para la obtención de una muestra homogénea (Capacoila, 2024), finalmente, el materia fina obtenida de carbón activado es almacena en bolsas herméticas para que estas no estén expuestas a ningún tipo de contaminante.

### **2.7.3 Experimentación por lotes**

Se llevaron a cabo 5 pruebas experimentales utilizando diferentes masas de carbón (3, 5, 7, 9, 11g/l), en el agua traído para los análisis. Para asegurar la confiabilidad de los resultados, cada tratamiento se procedió a realizar por triplicado, utilizando un volumen constante 1l por ensayo. La agitación se efectuó mediante el instrumento de test de jarra, aplicando una velocidad inicial de 80 rpm, este para que el carbón pueda mezclarse con la solución acuosa contaminado, durante 5 minutos, (mezcla intermedia), seguido de 300 rpm a un tiempo de 2 minutos (mezcla rápida), y finalmente 40 rpm durante 30 minutos (Mezcla lenta)(Bolaños, 2014). Posteriormente, procede a sedimentar por un periodo de 2 horas, durante el cual, el material contaminado se

depositó en el fondo de los vasos precipitados, de esta manera, se concluyeron con los datos correspondientes a cada ensayo con los dos tipos de carbón activado (Bellaco, Seda), obteniendo alrededor de 30 muestras post tratamiento, para sus respectivos análisis finales.

**Figura 1** Etapas de proceso para la obtención del carbón activado de cascara de plátanos (Bellaco y Seda).



#### 2.7.4 Procedimientos experimentales de los parámetros

Las dosis del adsorbentes empleados fueron de 3, 5, 7, 9 y 11g/l en material de carbón activado, este es el adsorbente más versátil y comúnmente usado debido a su alta área superficial y volumen de poro, alta capacidad de adsorción, con cinética rápida, y relativamente fácil regeneración (Tongpoothorn, Sriuttha, Homchan, Chanthai, & Ruangviriyachai, 2011). La medición se realizó con el equipo portátil HANNA HI9125, diseñado para analizar soluciones acuosas mediante un electrodo de vidrio que detecta

la concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ). Este electrodo genera un voltaje proporcional al pH de la solución, el cual es procesado por el equipo y convertido en un valor numérico de pH, mostrado directamente en la pantalla (HANNA instruments, 2025). Para determinar el efecto de pH, se colocaron 20 ml de agua tratada en vasos precipitados de 50 ml. Luego, se dejó reposar aproximadamente 1 minuto con la sonda para la obtención de los resultados pertinentes.

La medición de la turbidez, se realizó con el turbidímetro portátil 2100Q de HACH, se trabajó de 5 ml de agua tratada por muestra. El equipo nos permitió obtener resultados precisos, posterior a cada análisis se procedió a lavar el recipiente de análisis con agua desionizada gracias a su sistema óptico que compensa interferencias como el calor de la muestra o partículas que asientan rápidamente HACH, la turbiedad fue evaluada como parámetro secundario, para garantizar la calidad de las muestras antes de realizar los análisis correspondientes.

Por otra parte, para la evaluación de conductividad eléctrica y oxígeno disuelto se trabajó con 40 ml de agua tratada. Con el equipo multiparámetro este instrumento mide simultáneamente varios parámetros como pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto (ANA, 2016), El equipo utilizado fue Multímetro portátil HQ40D. El dispositivo multifuncional, permite medir estos parámetros simultáneamente con gran precisión, utilizando sondas Intellical™ que se ajustan automáticamente al tipo de muestra. La medición precisa de estos dos parámetros es fundamental para asegurar que el tratamiento del agua haya sido efectivo, manteniendo las condiciones adecuadas para su posible uso o consumo (HACH, 2011).

### 2.7.5 Cálculo de porcentaje de eliminación de Arsénico

Las cantidades de Arsénico se calcularon de agua tratada y no tratada con carbón activado de cascara de plátano, se consideró la dosis el tiempo de contacto, el pH para cada caso. Los cálculos finales de los materiales se contrastaron con los cálculos preliminares, y el porcentaje de remoción se calculó utilizando la siguiente ecuación (Shaibur, Khatun, Howlader, Khan, & Ambade, 2024).

$$Removal \% = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

$$C_i = \text{Concentracion inicial de As} \left( \frac{mg}{L} \right) \quad (2)$$

$$C_f = \text{Concentracion final de As} \left( \frac{mg}{L} \right) \quad (3)$$

## 2.8 Caracterización de carbón

Con el propósito de obtener información base sobre las propiedades del carbón activado, se procedió a realizar la caracterización del carbón, con la finalidad de comprender mejor su naturaleza y estimar como sus componentes podrían influir en el proceso de activación.

### 2.8.1 Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad se determinó en una balanza de precisión, se pesaron aproximadamente 3g de muestra húmeda colocándolo en un crisol vacío, previamente tarado. Posteriormente la muestra fue secada en la estufa a 105°C durante un mínimo de 3 horas para asegurar la completa eliminación de moléculas de agua (García López & Granillo Oporta, 2017). Después de retirar la muestra del horno, se procedió a enfriar en un desecador y se pesó de nuevo, este proceso se repitió hasta obtener un peso constante (3 réplicas).

$$\%Humedad = \frac{CM_1 - CM_2}{CM_1} * 100\% \quad (4)$$

Donde: CM1 es Muestra Inicial y CM2 es Muestra Final.

### **2.8.2 Porcentaje de material volátil**

Para hallar el material volátil de nuestro carbón se procedió a realizar colocando en un crisol con tapa y una muestra de 3 gramos por 30 minutos en la mufla a 950°C (Fiestas & Millones, 2019). Posteriormente se retiró el crisol con ayuda de pinzas de laboratorio hasta que se enfrió, para así finalmente realizar su pesado y obtener un resultado final.

$$\%material\ volatil = \frac{mi-mr}{muestra} * 100\% \quad (5)$$

Donde: MI es Masa del crisol con su tapa y la muestra en gramos, Mr es Masa del crisol con su tapa y el residuo en gramos y M: Masa de la muestra seca en gramos.

### **2.8.3 Porcentaje de cenizas**

Se peso en un crisol tarado 3 gramos de cada muestra seca. Posteriormente se llevó a la mufla a 650°C por un tiempo de 16 horas (considerando que la incineración es completa cuando el peso sea constante). Se espero a que la temperatura del crisol descienda, y se procedió a su pesado final a temperatura ambiente (Fiestas & Millones, 2019).

$$\%cenizas = \frac{C3-C1}{C2} * 100\% \quad (6)$$

Donde: C1 es Masa de crisol vacía en gramos, C2 es Masa la muestra en gramos y C3 es Masa del crisol con las cenizas en gramos.

#### **2.8.4 Densidad aparente**

Es el peso en g/cm<sup>3</sup> de carbón totalmente seco en el aire, incluye el volumen de los poros y el de los espacios entre las partículas. Esta variable es la base para establecer el volumen de cama necesaria para una masa de carbón activo granular. Asimismo sirve como referencia para la identificación de carbones activos de calidad, ya que densidades mayores entregan un mejor volumen de actividad (García López & Granillo Oporta, 2017).

$$D. \text{Aparente} = \frac{m(g)}{V(ml)} \quad (7)$$

#### **2.8.5 Densidad real**

La densidad real (también conocida como densidad verdadera o densidad esquelética) es la masa del sólido dividido por el volumen real que ocupa la materia sólida, excluyendo los poros abiertos y los espacios interarticulares. Esta propiedad es fundamental para caracterizar materiales porosos como el carbón activado. (García López & Granillo Oporta, 2017).

$$D. \text{Real} = \frac{mc}{V_s} \quad (8)$$

Donde: Mc es masa seca de la muestra, Vs es Volumen de sólido real del carbón (cm<sup>3</sup>), desplazamiento del líquido en picnómetro.

#### **2.8.6 Porosidad total**

La porosidad total representa el porcentaje del volumen total del carbón que está ocupado por espacios porosos, representa la parte del volumen aparente no corresponde a masa sólida. Este parámetro es esencial para evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado (Fiestas & Millones, 2019).

$$\text{Porosidad Total} = \frac{D. \text{Real} - D. \text{Aparente}}{D. \text{Real}} * 100 \quad (9)$$

### **2.8.7 Punto de carga cero**

El punto de carga cero (PZC) es un parámetro clave en la caracterización de materiales adsorbentes, ya que indica el valor de pH al cual la superficie del carbón activado no presenta carga neta. Este valor permite predecir el comportamiento de adsorción del material frente a diferentes especies iónicas en solución. Por ejemplo, cuando el pH de la solución es menor al PZC, la superficie del adsorbente tiende a cargarse positivamente, favoreciendo la atracción de aniones; mientras que, a pH mayores, se facilita la adsorción de cationes (Pérez Macedo et al., 2023). Finalmente conocer el punto de carga cero es fundamental para optimizar procesos de remoción de contaminantes, como metales pesados, en sistemas de tratamiento de aguas (Hernández, Otero, Falcón, & Yperman, 2017).

## **2.9 Modelos Isotérmicos**

En el transcurso de adsorción, llega un momento en que el material adsorbente ya no tiene capacidad para retener más partículas del adsorbato esto provoca que se establezca una relación entre la concentración del soluto que permanece en la solución y la que ha sido retenida, marcando un estado de equilibrio (Carolina, Francisco, Marcela, & Roberto, 2013). Las isotermas son expresiones gráficas de la cantidad de adsorbato ligado sobre la superficie de un gramo de sólido, en función a la cantidad inicial o de la concentración en equilibrio, siempre a temperatura constante. Estas brindan acceso a propiedades de los adsorbentes como el volumen y el tamaño del poro, la energía de adsorción y el área superficial específica (Cuesta & Nieto, 2022). Las isotermas describen como ocurre el proceso de adsorción en la superficie del material mostrando la cantidad del material contaminante (adsorbato) queda retenida cuando alcanza el equilibrio, dependiendo de la cantidad que queda disuelta en el agua (El Jery et al., 2024).

### **2.9.1 Modelo Langmuir**

Este modelo describe que las moléculas del colorante o adsorbato se fijan sobre la superficie del material sólido, como la arcilla, formando una capa uniforme. Además, se asume que todas las partes de esa superficie tienen la misma capacidad y energía para atraer las moléculas (Zhou, Zhang, Gu, & Lu, 2015). Sin embargo, este modelo asume que las moléculas que son adsorbidas no interactúan entre ellas, solo con el adsorbente y que este no dispone la capacidad máxima de adsorción de  $\leq 1$  molécula en cada punto de sitio activado (Sellaoui, Dotto, Lamine, & Erto, 2017). A continuación, se presenta la ecuación con el cual trabaja este modelo de isoterma:

$$Q_e = \frac{Q_m * K_L * C_e}{1 + K_L * C_e} \quad (10)$$

Forma Lineal

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m * K_L} + \frac{C_e}{Q_{max}} \quad (11)$$

Donde:  $Q_e$  es la capacidad de adsorción,  $Q_m$  es la máxima adsorción posible (mg/g),  $C_e$  es el soluto en equilibrio (mg/l) y  $K_L$  es una constante de equilibrio de adsorción (l/mg).

### **2.9.2 Modelo Freundlich**

Este modelo de isotermas es muy diferente al anterior, ya que el comportamiento de adsorción descrito en este modelo asume que la superficie del adsorbente no es uniforme, sino que se desordena, permitiendo que las moléculas del adsorbato se acumulen formando varias capas (Zhou, Lu, Zhou, & Liu, 2019). Esto implica que el adsorbente tiene diferentes niveles de energía para atraer las moléculas, sin embargo, al igual que el modelo anterior, no se consideran las posibles interacciones entre las moléculas que se están adheridos (Cuesta & Nieto, 2022). La expresión del modelo matemático de Freundlich se representa a continuación:

$$Q_e = K_f * C_e^{(\frac{1}{n})} \quad (12)$$

Forma lineal

$$\text{Log}Q_e = \text{log}K_f + \frac{1}{n} * \text{log}C_e \quad (13)$$

Donde:  $Q_e$  es la capacidad de adsorción (mg/g),  $C_e$  Es la concentración de soluto (mg/l) después de la adsorción, “n” es una constante aplicable de la adsorción relativa a su fuerza y  $K_f$ = Es la constante relacionada a la capacidad de adsorción del adsorbente (mmol/g).

### 2.9.3 Modelo Temkin

Este modelo no considera las concentraciones en la solución como parte de sus variables, ya que su propósito principal es representar como se relacionan el material adsorbente y la sustancia a eliminar (Ayawei, Ebelegi, & Wankasi, 2017). Poniendo en contexto con el carbón activado, funcionaria, conforme más contaminantes ( $A_s$ ) se adhieren a su superficie, tanto la energía de adsorción como el calor asociado a este proceso disminuyen de manera lineal (Cuesta & Nieto, 2022). Esto ocurre debido a que, a aumentar la cobertura de la superficie activa, quedan menos sitios disponibles con alta afinidad para seguir atrapando nuevas moléculas (Ayawei et al., 2017). La fórmula del modelo Temkin es la siguiente:

$$Q_e = \frac{RT}{bt} * \text{Ln}(At * Ce) \quad \vee \quad Q_e = B * \text{Ln}(At * Ce) \quad (14)$$

$$B = \frac{Rt}{bt} \quad (15)$$

Forma lineal

$$Q_e = B * \text{ln}(Ce) + A \quad (16)$$

Donde:

R= Constante de los gases ideales (8,314 J/mol K)

T= Temperatura a la que se realizó la adsorción (K)

bt= Constante adimensional relacionada al calor de adsorción

At = Constante de unión de equilibrio isotérmico (L/g)

Ce = Concentración final del soluto (mg/l) en la solución

B = Es la energía necesaria para la adsorción (J/mol)

$A = B * \ln(At)$ : Intercepto de la recta

### 3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados pretratamiento y postratamiento obtenidos a partir de la remoción de arsénico del carbón activado a base de cascara de plátano (Bellaco-Seda).

#### 3.1 Caracterización del agua subterránea

La Tabla 2, muestra los resultados iniciales de los parámetros evaluados en esta investigación, realizando una comparativa con normativas nacionales e internacionales, con el objetivo de evidenciar si estos cumplen o no con los LMP de agua para consumo humano.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos con los parámetros iniciales

Parámetros	Resultados obtenidos del agua subterráneo	Límite máximo permisible Norma Peruana DS N° 031-2010-SA./ OMS / EPA/ OS.020 DS N° 024-2009	DS N° 004-2017-ECA/MINAM	Unidad	Cumple
Arsénico	0.1076	≤0.010	-	mg/l	NO
pH	6.2	6.5 a 8.5	-	-	NO
Conductividad eléctrica	2060	≤1500	-	μS/cm	NO
Turbiedad	7.26	≤5	-	UNT	NO
Oxígeno Disuelto	5.89	-	≥ 5	mg/l	SI

*Nota:* OMS=Organización Mundial de la Salud; DS N° 031-2010-SA.= reglamento de la calidad del agua para consumo humano; EPA=Agencia de Protección Ambiental; pH=Potencial de Hidrogeno; mg/l=miligramos por litro; μS/cm =microsiemens por centímetro; Unidades Nefelométricas de Turbidez; OS.020=Plantas de tratamiento de agua potable; MINAM=Ministerio del Ambiente; DS N° 004-2017-ECA=Estándares de Calidad Ambiental para agua.

### 3.2 Caracterización de carbón activado

La Tabla a continuación, muestra las principales propiedades especificados para el carbón activado obtenido de la cáscara de plátano Bellaco y Seda donde se evalúa si estas cumplen con las especificaciones de un carbón activado para el tratamiento de aguas y normas de análisis tales como ASTM D5832 (Cenizas 2 -15%), ASTM-D-2867 (Humedad 2-8%), ASTM-D2854 (Densidad aparente 0.26-0.65 g/cm<sup>3</sup>) (Velázquez-Trujillo, Bolaños-Reynoso, & Pliego-Bravo, 2010). Asimismo, la porosidad mientras más cerca al valor de 1 se encuentre presenta mayor cantidad de poros abiertos dispone para la remoción de contaminantes en el agua (Rodríguez, 2025).

**Tabla 3.** Caracterización de Carbón Activado

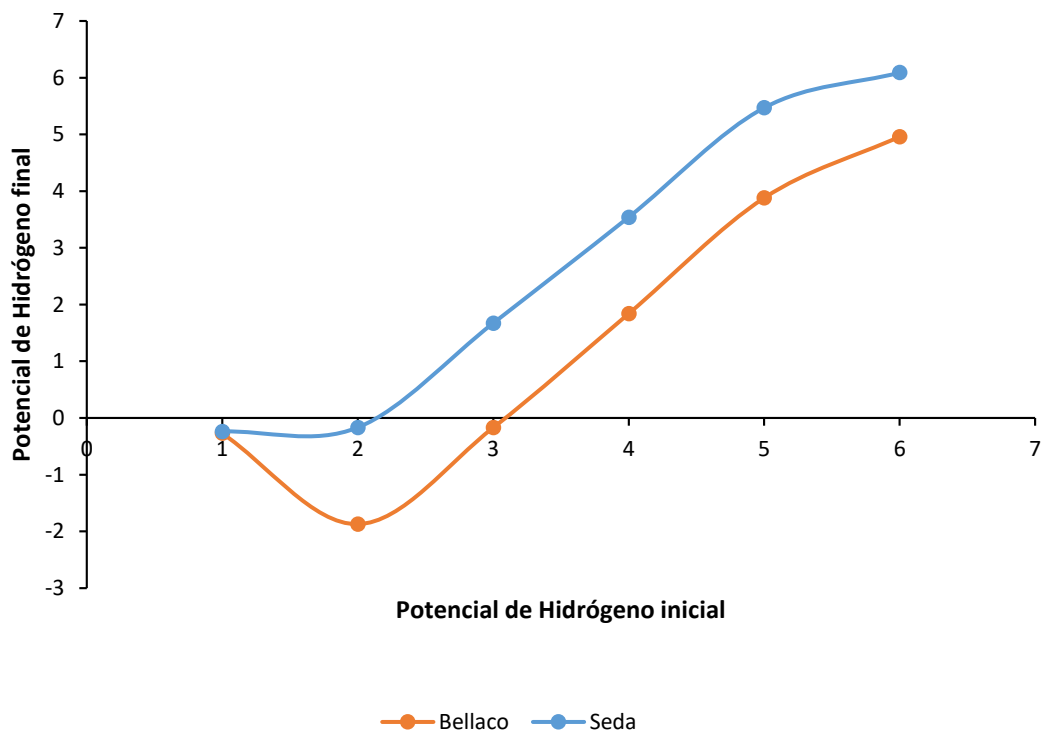
Propiedades	Normas ASTM	Rango de Referencia	Variedad Bellaco	Variedad Seda
			Resultado	Resultado
% Humedad	ASTM D2867	2-8	0.44	0.12
% Materia Volátil	ASTM D5832	10 – 25	6.14	5.29
% Cenizas	ASTM D2866	2-15	9.9	9.9
Densidad Aparente	ASTM D2854	0.26-0.65	0.6405 g/cm <sup>3</sup>	0.6273 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Real	ASTM D5550	1.8-2.2	1.78 g/cm <sup>3</sup>	1.89 g/cm <sup>3</sup>
Porosidad total	Cálculo indirecto		0.6410 g/cm <sup>3</sup> carbón	0.6682 g/cm <sup>3</sup> carbón

*Nota:* ASTM=Sociedad Americana de pruebas y materiales donde indican como medir correctamente las propiedades del carbón activado; ASTM D2867= mide el porcentaje de humedad; ASTM D5832= mide el porcentaje de la materia volátil; ASTM D2866=mide el porcentaje de cenizas; ASTM D2854= método de prueba estándar para la densidad aparente del carbón activado; ASTM D5550=Método de prueba estándar para la gravedad específica de sólidos del suelo mediante picnómetro de gas; %=Porcentaje; g/cm<sup>3</sup>=gramo por centímetro cubico.

### 3.3 Punto de carga cero del potencial de hidrogeno

La Figura 2 muestra la determinación del punto de carga cero pH PZC en cascaras de plátano Bellaco y Seda, mostrando una variación leve indicando por debajo de este pH presenta una carga positiva para una remoción adecuada (Ulloa, 2024).

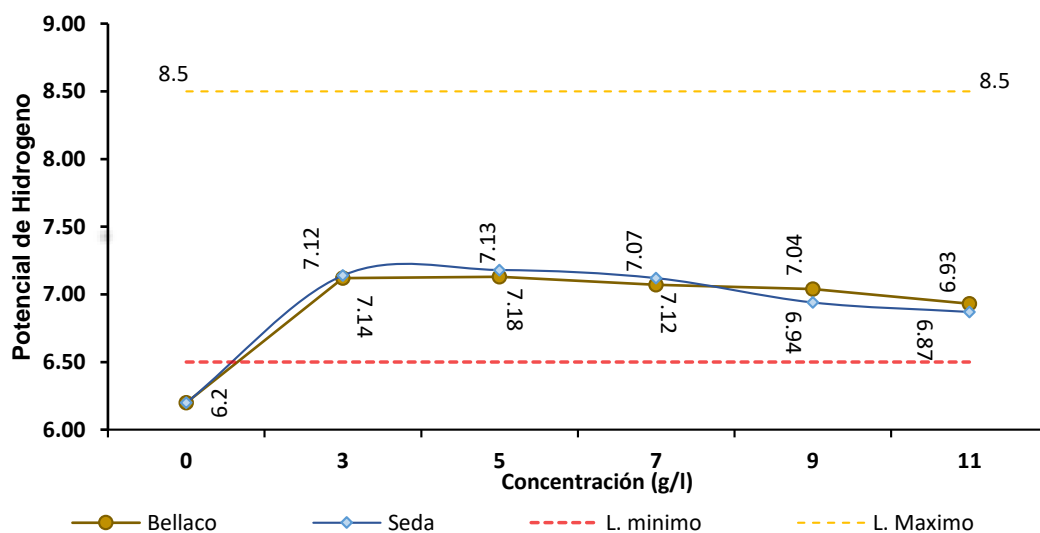
**Figura 2** Punto de carga cero del pH de las cáscaras de plátano “Bellaco” y “Seda”



### 3.4 Parámetros de control (pH)

La Figura 3, muestra que el tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano (Bellaco-Seda), influye positivamente en el pH del agua subterránea, observándose una tendencia pequeña a la disminución del pH conforme aumenta la dosis aplicada. Se observa que el tratamiento con cáscara de plátano seda tiende a mantener un pH ligeramente más alto en comparación con el plátano bellaco, especialmente en dosis bajas, destacando Seda 5 con el valor más alto (7.18).

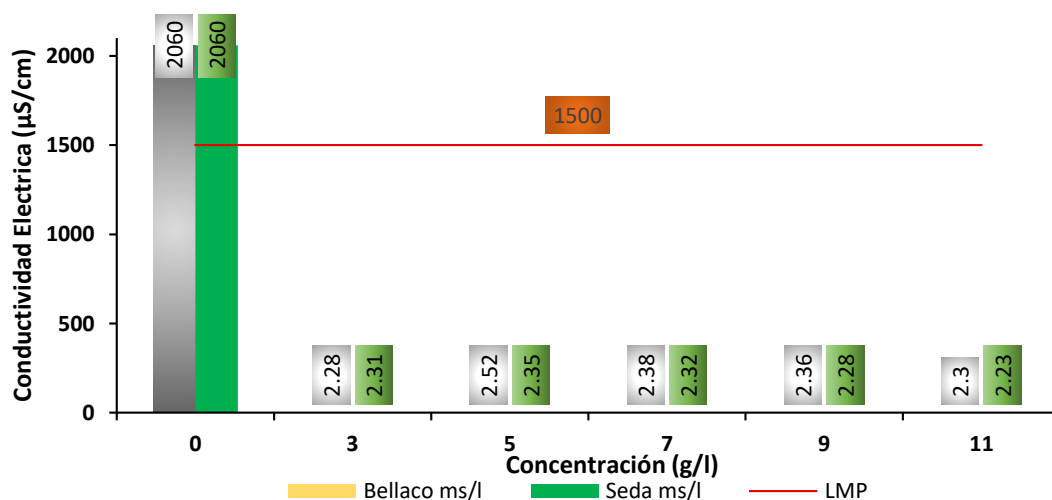
**Figura 3** pH del agua post tratamiento con carbón activado de cáscaras de plátano Bellaco y cáscara de plátano Seda a diferentes concentraciones.



### 3.5 Parámetros de control (Conductividad eléctrica)

La Figura 4, muestra que la conductividad eléctrica del agua de pozo varía significativamente según la dosis y el tipo de carbón activado utilizado; en el tratamiento con cáscara de plátano bellaco, se observa un pico en B5 (2.52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que indica una mayor presencia de iones en solución, seguido de una disminución progresiva en dosis mayores (B7-B11), indicando que el carbón activado comienza a adsorber compuestos conductores a partir de cierto umbral.

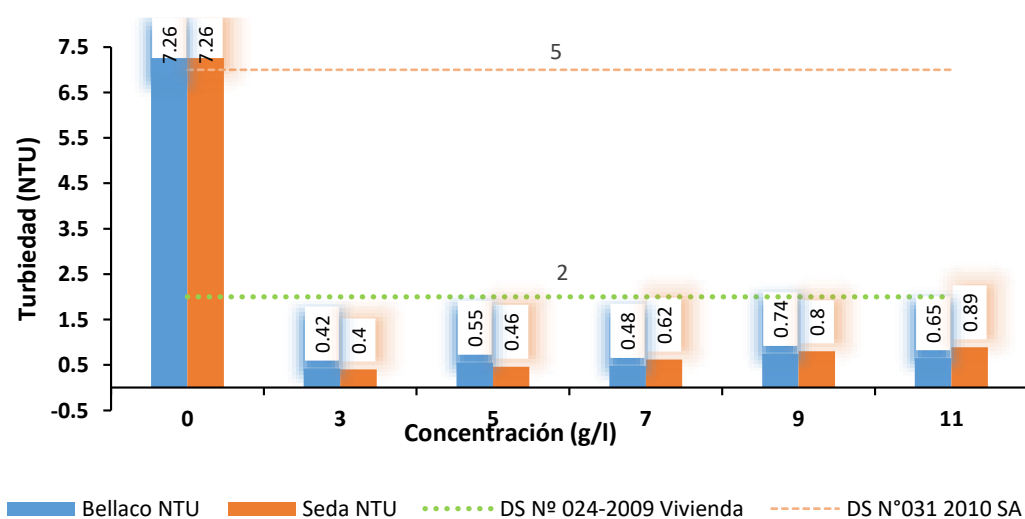
**Figura 4** Conductividad eléctrica post tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano Bellaco y cáscara de plátano Seda a diferentes concentraciones



### 3.6 Parámetros de control (Turbiedad)

La Figura 5, observamos que la turbiedad del agua de pozo varía con la dosis y el tipo de carbón activado utilizado, con diferencias significativas. En general, a bajas dosis (B3 y S3), la turbiedad es menor, con valores de 0.42 y 0.40 NTU respectivamente, lo que indica una eficiencia inicial en la remoción de partículas suspendidas.

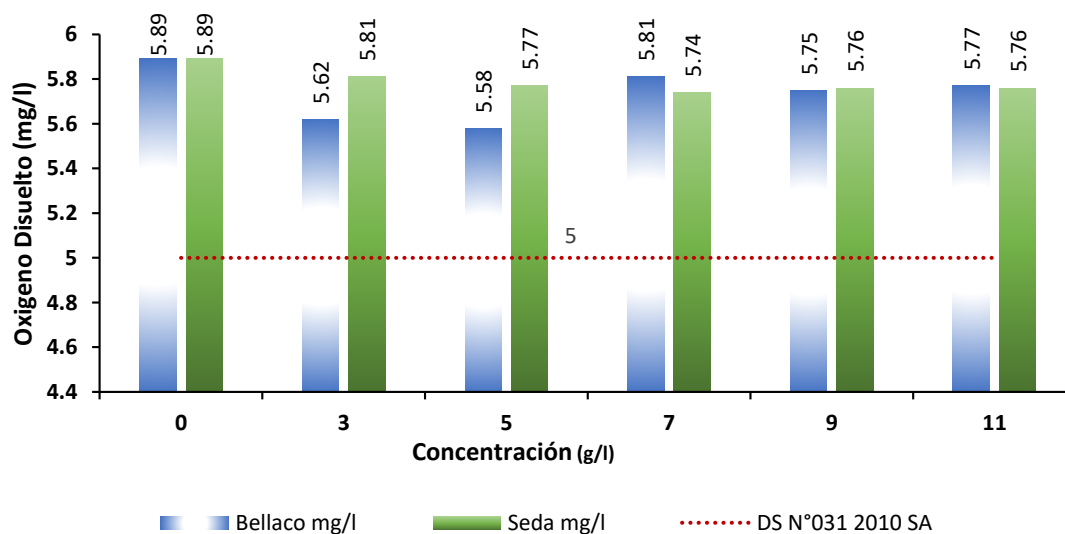
**Figura 5** Turbiedad posterior tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano Bellaco y de plátano Seda a diferentes concentraciones.



### 3.7 Parámetros de control (Oxígeno Disuelto)

La Figura 6, se muestra como el tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano influye en los niveles de oxígeno disuelto en el agua de pozo, mostrando que algunas dosis favorecen una ligera mejora en la oxigenación, mientras que otras pueden reducirla.

**Figura 6** Niveles de oxígeno disuelto post tratamiento con carbón activado de cáscaras de plátano Bellaco y cáscara de plátano Seda a diferentes concentraciones.



### 3.8 Remoción y porcentaje de arsénico con carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Seda

La Tabla 4, muestra el promedio y porcentaje de remoción por triplicado (3, 5, 7, 9, 11g/l) de las dos variedades de plátano (Bellaco-Seda), realizando una comparativa para ver si al posterior tratamiento estos cumplen con las normativas mencionadas (MINSa, 2011).

**Tabla 4. Remoción de arsénico**

Concentración (g/l)	Concentración inicial del agua (mg As/l)	Carbón activado de cascara de plátano Bellaco			Carbón activado de cascara de plátano de Seda		
		Concentración final (mg As/l)	Norma Peruana/MI NSA/ EPA/LMP 0.01 mg/l	% de remoción	Concentración final (mg As/l)	Norma Peruana/MI NSA/ EPA/LM 0.01 mg/l	% de remoción
3	0.1076	0.0139	Si	87.06	0.0052	Si	95.14
5	0.1076	0.0083	Si	92.31	0.0048	Si	95.57
7	0.1076	0.0069	Si	93.60	0.0043	Si	95.98
9	0.1076	0.0037	Si	96.59	0.0038	Si	96.44
11	0.1076	0.0018	Si	98.28	0.002	Si	98.46

*Nota:* MINSA=Ministerio de Salud protege la salud pública; EPA=Agencia de Protección Ambiental; Protege la salud humana y el medio ambiente; LMP= Límite Máximo Permissible, controla la contaminación del agua; mg As/l=miligramos de arsénico por litro; mg/l=miligramos por litro; g/l=gramos por litro y %=Porcentaje.

### 3.8.1 Análisis de varianza

**Tabla 5. Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Variedad	1	0.000055	0.000055	15.94	0.000
Concentración (g/L)	5	0.052423	0.010485	3056.29	0.000
<b>Error</b>	29	0.000099	0.000003		
Falta de Ajuste	5	0.000087	0.000017	34.28	0.000
Error puro	24	0.000012	0.000001		
<b>Total</b>	35	0.052578			

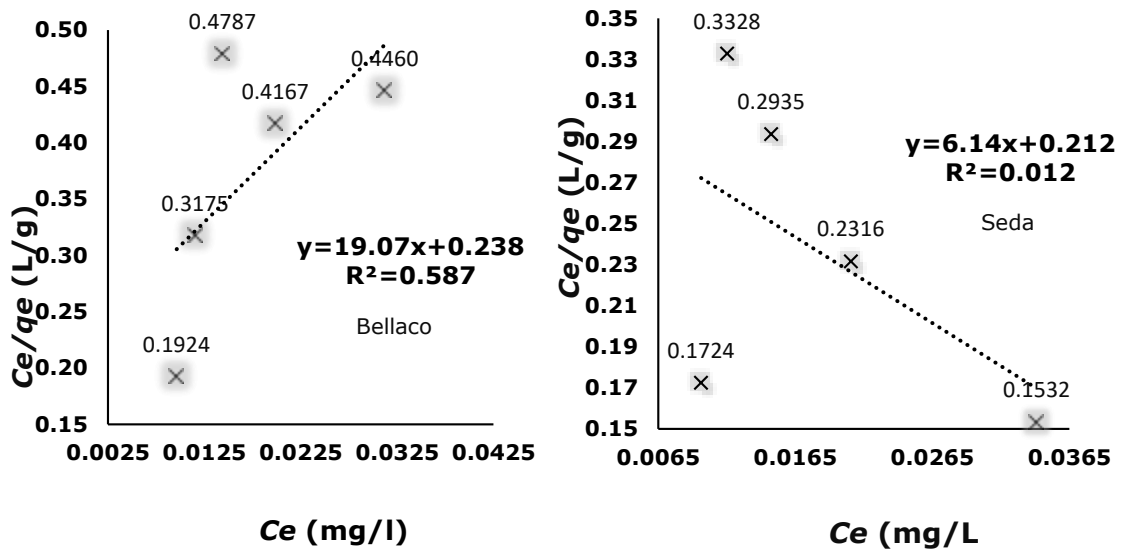
*Nota:* GL=Grados de libertad; SC Ajust. = Suma de Cuadros Ajustada; MC Ajust. = Media Cuadrática Ajustada; Valor F= Estadístico F de Fisher; Valor P= Valor de Probabilidad.

### 3.9 Isotermas de Adsorción (Modelo Langmuir)

Seguidamente, se mostrarán los resultados evaluados utilizando los modelos matemáticos de isotermas, Langmuir, Freundlich y Temkin (Cuesta & Nieto, 2022), donde se visualizara cual de estos dos variedades se ajusta más ( $R^2 < 1$ ) con los distintos modelos matemáticos que se utilizara.

En la Figura 7, muestra la gráfica obtenida empleando el modelo matemático Langmuir con las dos variedades de carbón activado (Bellaco-Seda), se estableció  $Q_e$  como “eje X”, de igual forma  $C_e/q_e$  como el “eje Y”, facilitando la gráfica de regresión lineal correspondiente para apreciar los parámetros del modelo Langmuir.

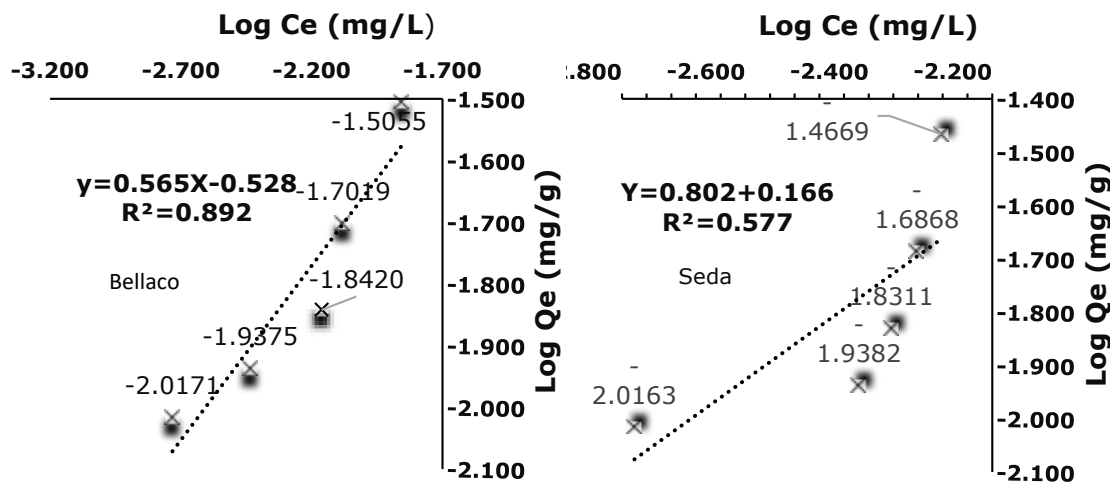
**Figura 7** Modelo Langmuir de carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Sed



### 3.10 Isotermas de adsorción (Modelo Freundlich)

La Figura 8, presenta la gráfica obtenida empleando el modelo matemático Freundlich con las dos variedades de carbón activado (Bellaco-Seda), se estableció  $\log Q_e$  como “eje X”, de igual forma  $\log C_e$  como el “eje Y”, facilitando la gráfica de regresión lineal correspondiente para apreciar los parámetros del modelo Freundlich.

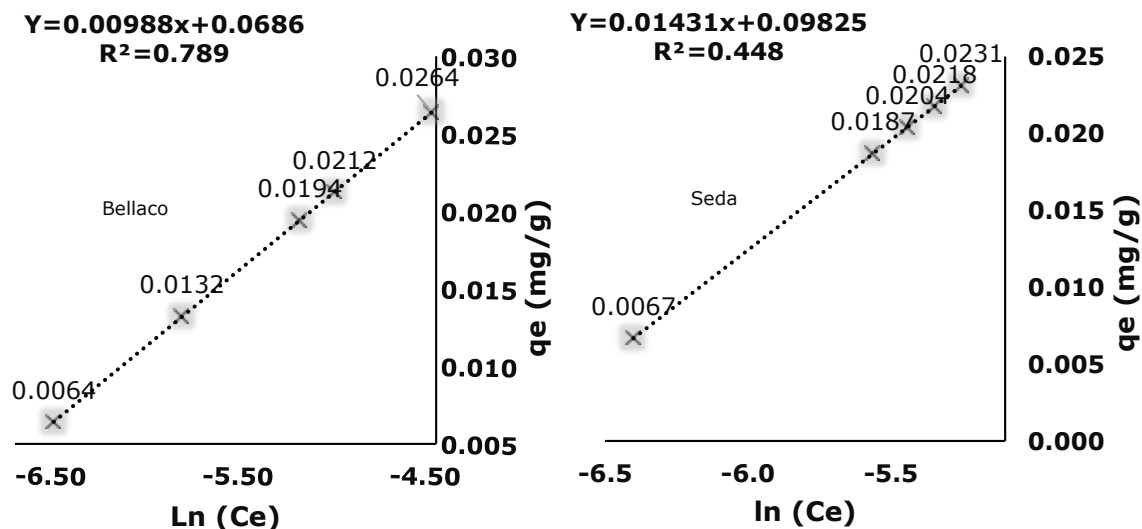
**Figura 8** Modelo Freundlich de carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Seda



### 3.11 Isotermas de adsorción (Modelo Temkin)

La Figura 9, presenta la gráfica obtenida empleando el modelo matemático Temkin con las dos variedades de carbón activado (Bellaco-Seda), estableciendo  $\ln Ce$  como “eje X”, de igual forma  $Q_e$  (mg/g) como el “eje Y”, ejecutando la gráfica de regresión lineal correspondiente para apreciar los parámetros del modelo Temkin. Este modelo considera que el calor de moléculas disminuye linealmente como se observa en los gráficos esta ecuación lineal se expresa como  $Q_e=B*\ln (Ce)+A$  (Anirudhan & Sreekumari, 2011).

**Figura 9** Modelo Temkin de carbón activado de cascara de plátano Bellaco y Seda



## **4. DISCUSIÓN**

### **4.1 Caracterización del agua**

La Tabla 2, muestra los valores iniciales de concentración de arsénico registrados en las muestras de agua subterránea estos se encontraban por encima de los LMP establecidos por las normativas internacionales (OMS, 2018b) (US EPA, 2001b), los cuales fijan un valor de 0.01 mg/l para arsénico para aguas destinadas de consumo humano. Adicionalmente se evaluaron los parámetros de control relevantes para la investigación como pH, CE, turbidez, y OD cuyos valores iniciales fueron contrastados con lo estipulado por el reglamento de la calidad del agua para consumo humano del Ministerio de Salud del Perú (MINSA, 2011). Este análisis permite establecer de forma comparativa si cada parámetro cumple o no con lo exigido.

### **4.2 Caracterización de carbón activado**

Los resultados obtenidos de la caracterización de carbón activado derivados de las cascaras de plátano (Bellaco- Seda), son indicadores claves y consistentes, de tal manera que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos aceptables de carbón activado de origen lignocelulósicos de las normas ASTM según los señala (Velázquez-Trujillo et al., 2010). Por su parte, en un estudio realizado recientemente se destaca que la distribución y los tamaños de los poros en el carbón influyen significativamente en la capacidad de adsorción, indicando que los microporos y mesoporos son cruciales para la adsorción de líquidos, sintetizando que a mayor porosidad total, mayor cantidad de poros abiertos para remover los contaminantes presentes en el agua (Rodríguez, 2025).

### **4.3 Punto de carga cero**

Como se observa en la figura 2, la intersección de las curvas de diferencia de pH, el eje X, indica el PZC de los carbones activados obtenidos de cascaras de plátano (Bellaco-Seda), siendo de 4.96 y 6.09 respectivamente. Estos resultados son

consistentes con materiales carbonosos activados mediante procesos químicos y se sitúan dentro del rango reportado para adsorbentes de origen lignocelulósicos (Mohan & Pittman, 2007). La variabilidad que presenta el gráfico de PZC relacionada con factores como la composición química de ambiente, la presencia de iones específicos, o condiciones experimentales. Estudios previos han demostrado que el PZC es un parámetro crítico que determina la acidez o basicidad de una superficie en ausencia de iones adsorbidos específicamente (Kosmulski, 2009). Los valores extremos registrados desde el más ácido (-1.87 Bellaco), hasta el más alto (6.09 Seda), coinciden con observaciones reportadas por (Parks, 1964), en sistemas coloidales, donde el punto de carga cero puede variar debido a la adsorción de compuestos orgánicos o cambios en la fuerza iónica del medio.

#### **4.4 Potencial de hidrogeno**

La Figura 3, describe el comportamiento del pH de la variedad Bellaco, y Seda, generando una modificación en este parámetro del agua tratada, lo cual puede atribuirse a su capacidad de adsorción y a la posible liberación de compuestos asociados a su estructura (Cárdenas 2022). En esta figura, se observa que, al emplear la dosis más alta (11 g), ambas variedades provocaron una leve reducción del pH, alcanzando valores de 6.93 para Bellaco y 6.87 para Seda, mientras que las dosis menores mantuvieron el pH por encima de 7.1. Algunos estudios describen que la estructura porosa y la química superficial de los carbones activados influyen directamente en el equilibrio ácido-base del agua tratada (Ambaye, Vaccari, van Hullebusch, Amrane, & Rtimi, 2021).

#### **4.5 Conductividad Eléctrica**

La Figura 4, La conductividad eléctrica del agua tratada con carbón activado de cáscara de plátano varió significativamente según la dosis y el tipo de adsorbente utilizado. En el caso del carbón Bellaco, la mayor conductividad se registró con la dosis de 5 g (2.52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que indica una mayor presencia de iones en solución. A partir

de esta concentración, se evidenció una disminución progresiva de la conductividad en las dosis superiores (7 g a 11 g), reflejando una posible retención iónica más eficiente con el incremento del adsorbente. Lo cual indica relación con la adsorción de especies iónicas por el material adsorbente este comportamiento es coherente con lo indicado por (Foo & Hameed, 2010) quienes señalaron que los materiales carbonosos pueden liberar inicialmente ciertos compuestos conductores antes de alcanzar un equilibrio de intercambio iónico, por otro lado el carbón activado de Seda mostro un valor diferente donde mantuvo el valor de conductividad con la dosis más alta de (S11), con 2.23  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando una eficiencia superior en la remoción de dosis más bajas también fue experimento por (Tan et al., 2015).

#### **4.6 Turbiedad**

La Figura 5, en esta figura se pudo evidenciar una reducción grande de turbiedad utilizando carbón activado (Bellaco- Seda), teniendo como resultado inicial 7.26 y post tratamiento con la variedad Seda (S3) por debajo de 0.4, siendo el carbón activado de cascaras de plátano un excelente reductor de turbidez. Algunas investigaciones destacan el potencial del carbón activado derivado de cascaras de plátano como material eficiente para la reducción de turbidez en el tratamiento de agua para consumo humano (Arrocha, Guevara, Gonzalez, Rivas, & Delgado, 2019), de manera que también se menciona que el carbón activado de cáscara de plátano mostró la mayor eficiencia, logrando una remoción de turbidez del 98.57% bajo condiciones óptimas de agitación, tiempo de exposición y dosis según (Vasquez Nagarro, 2023).

#### **4.7 Oxígeno Disuelto**

La Figura 6, muestra que el OD post tratamiento con carbón activado de cascara de plátano (Bellaco-Seda) varían ligeramente según la dosis utilizada en el tratamiento, sin embargo, todos se encuentra dentro de los limites permisibles para consumo humano. Las dosis intermedias como el B7, B11, Y S3, presentan valores más altos de

OD, posiblemente por una eficaz remoción de impurezas. Diferente B3, B5 mostrando valores más reducidos en el tratamiento con carbón activado de cáscara de plátano bellaco. Esta disminución puede deberse a que el carbón activado, al no estar completamente oxidado o estabilizado, podría estar consumiendo oxígeno del agua o generando compuestos que lo oxidan según (Nemade, Rao, & Alappat, 2002).

#### **4.8 Remoción de arsénico**

La Tabla 4, se evidencian el promedio de los resultados por triplicado por cada dosis utilizado por cada variedad (Bellaco-Seda), para así obtener el porcentaje de remoción de arsénico en aguas tratadas, siendo estos favorables. Se observa que, al incrementar la cantidad de adsorbente, el porcentaje de remoción también aumenta, alcanzando un valor máximo de 98.28% con Bellaco, y 98.46% con Seda a una dosis de 11 g en ambos casos. Estas diferencias pueden atribuirse a la variabilidad en la estructura porosa y la presencia de grupos funcionales oxigenados en cada tipo de dosis, tal como lo indica (Neisan et al., 2023) en su análisis comparativo. Este comportamiento es relacionado con (Jovanović, Vukašinović-Pešić, Veljović, & Rajaković, 2011) (Cundari, Fanneza, Arisma, & Julian, 2023) quienes demostraron que la eficiencia de remoción de arsénico puede superar el 95%.

#### **4.9 Modelo Langmuir**

La Figura 7, se evalúan los valores obtenidos mostrando en sus resultados con el carbón activado de la variedad de Bellaco;  $R^2=0.587$  indicando un ajuste moderado al modelo de Langmuir. Este se pueda dar porque su superficie tiene una distribución relativamente uniforme en sitios activos, permitiendo una adsorción más ordenada y cercana a una monocapa, sin embargo, como es el caso de la variedad de Seda con un  $R^2= 0.012$ , aludiendo a un ajuste demasiado bajo, posiblemente a que presenta una superficie heterogénea, con sitios de distinta energía (Mohan & Pittman, 2007). En

síntesis, este modelo se ajusta en mejor manera, mas no aceptable, a la variedad del Bellaco.

#### **4.10 Modelo Freundlich**

El modelo de Freundlich es uno de los modelos de isoterma más utilizados para describir procesos de adsorción en superficies heterogéneas (Mohan & Pittman, 2007). Asimismo como se puede apreciar en la figura 8 los valores  $R^2$  obtenidos indican el grado de ajuste entre los datos experimentales y el comportamiento teórico de adsorción (Bhatt, Kumar, & Chakrabarti, 2007). Para el bellaco, el valor  $R^2=0.892$  mostrando un excelente ajuste lo que indica que presenta una superficie energética heterogénea bien representada por este modelo, mostrando una proyección estable y progresiva; sin embargo por el caso de la variedad de seda muestra un  $R^2=0.577$ , indicando mayor dispersión de los datos y presentando un menor ajuste, quizá porque presenta una superficie de menor uniformidad, siendo este mayor su capacidad de adsorción. A pesar de ello, los resultados uno menos que el otro presenta valores de  $n>1$  lo que confirma que el proceso de adsorción fue termodinámicamente favorable en ambos casos.

#### **4.11 Modelo Temkin**

La Figura 9, se observa que la variedad de carbón activado Bellaco  $R^2=0.789$ , se ajusta de mejor forma a diferencia de la variedad de Seda  $R^2=0.448$ . El modelo Temkin parte de la premisa que el calor de adsorción disminuye con la cobertura del adsorbente, implicando una interacción progresiva y heterogénea entre el carbón activado y el metaloide (Dadwal, Mishra, & Technology, 2017). En la figura se puede observar cómo sufre una correlación de los puntos experimentales con la línea de regresión en el caso de la variedad del bellaco siendo su interacción más estable entre el adsorbente y adsorbato.

## 5. CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas del carbón activado obtenido mediante la activación química de cascara de plátano de la variedad Bellaco y Seda, indican que cumplen con los criterios establecidos para materiales adsorbentes. Asimismo, el uso del agente activante (ácido fosfórico) seleccionado favorece un rendimiento eficiente en términos de capacidad de remoción.

Los resultados obtenidos están en línea con lo reportado por autores clave en el estudio del punto de carga cero, Parks, y Kosmulski, quienes han establecido que la interacción entre superficies cargadas y moléculas orgánicas puede alterar significativamente el equilibrio ácido-base. La presencia de valores de pH extremos (-1.87 y 6.09) sugiere un fuerte efecto de los componentes del sistema (Bellaco, Seda) sobre las propiedades superficiales, lo que concuerda con mecanismos descritos en la literatura.

El agua subterránea analizada mostró una concentración de arsénico de 0.1076 mg/l, superando el límite de 0.010 mg/l establecido por el MINSa, la OMS y la US EPA. También se detectaron valores elevados en parámetros secundarios como pH (6.2), conductividad eléctrica (2060  $\mu$ S/cm) y turbidez. Sin embargo, tras aplicar dosis crecientes de carbón activado (3–11 g/l) de las variedades Bellaco y Seda, se logró una remoción de arsénico entre 87 % y 98 %, cumpliendo en todas las muestras con el límite normativo. La dosis óptima fue 11 g/l, alcanzando remociones de 98.28 % (Bellaco) y 98.46 % (Seda), lo que evidencia su alto poder adsorbente. Además, se mejoraron notablemente los parámetros de calidad del agua, estabilizando el pH, reduciendo la conductividad y la turbidez a niveles aceptables, y manteniendo el oxígeno disuelto en rangos adecuados.

Finalmente, el modelo Freundlich fue el que mejor representa el proceso de adsorción de arsénico para ambas variedades de carbón activado, con un ajuste destacado en la variedad de Bellaco ( $R^2=0.892$ ), lo que evidencia una superficie heterogénea y una adsorción progresiva en múltiples capas, cabe señalar que los modelos de Langmuir y Temkin mostraron un cierto nivel de ajuste, especialmente en la variedad de Bellaco, aun así los resultados fueron inferiores, señalando que el comportamiento de adsorción no responde a una monocapa, y tampoco a una energía constante de adsorción.

## 6. REFERENCIAS

- Alcantara, Z., & Casamayor, Y. (2020). Efecto del agente activador y granulometría del carbón activado de Musa paradisiaca en adsorción de arsénico del río Chichircucho, 2019. *Universidad Cesar Vallejo*, 56. Retrieved from [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., van Hullebusch, E. D., Amrane, A., & Rtimi, S. (2021). Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(10), 3273–3294. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
- ANA. (2016). Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Agua R.J. 010-2016. *Ana*, p. 59.
- Anirudhan, T. S., & Sreekumari, S. S. (2011). Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons. *Journal of Environmental Sciences*, 23(12), 1989–1998. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60515-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60515-3)
- Arrocha, F., Guevara, C., Gonzalez, M., Rivas, F., & Delgado, R. (2019). Evaluación de filtros de carbón activado basado en cáscaras de frutas (piña, plátano, coco, naranja). *Revista de Iniciación Científica*, 5, 79–83. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2390>
- Arsenic in Drinking-water. (2021). *Arsenic in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*.
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, 2017, 1–11. Retrieved from <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2017/3039817/>
- Bhatt, P., Kumar, M. S., & Chakrabarti, T. (2007). Assessment of bioremediation possibilities of technical grade hexachlorocyclohexane (tech-HCH) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 349–353. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.034>

- Bolaños, D. V. (2014). *Protocolo Para El Funcionamiento, Control Y Operación Del Nuevo Equipo De Prueba De Jarras Del Laboratorio De Hidraulica Y Saneamiento*. 1–61.
- Calcina-Benique, M. E., Calcina-Rondán, L. E., Huaraya-Chambi, F. R., Salas-Camargo, A. R., & Tejada-Meza, K. (2022). Arsenic in groundwater of the Callacame river basin, and its impact on agricultural soils in Desaguadero, Puno-Perú. *DYNA (Colombia)*, 89(221), 178–184. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.98319>
- Calvopiña Beltrán, J. A., & Satuquinga, J. (2024). Comparación de la Calidad del Agua Subterránea y Superficial Mediante la Presencia de Metales Pesados en la Parroquia Juan Montalvo Cantón Latacunga Provincia Cotopaxi-Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 4374–4392. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.13903](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13903)
- Capacoila, C. J. A. (2024). *Universidad peruana unión*.
- Carbonel Ramos, D. (2018). Cadmium, Copper and Lead Adsorption on Natural and Modified Bentonite, Kaolin and Zeolite: A Review of Process Parameters, Isotherms and Kinetics. *Ingeniería*, 23(3), 252–273.
- Carolina, P. A., Francisco, P. S., Marcela, T. P., & Roberto, A. J. (2013). *Isotermas de adsorción de agua en champiñones*.
- Cortez, D. (2022). Determinación de la dosis óptima del carbón activado de citrus sinensis para la remoción de arsénico en Pacora. *Repositorio Institucional - UCV*.
- Cuesta, E., & Nieto, A. (2022). Evaluación de la capacidad de adsorción de arcillas naturales mediante cinética e isotermas de adsorción en la remoción de colorantes. *Riobamba, Ecuador, Repositorio Institucional UNACH*, 59. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9876>
- Cundari, L., Fanneza, A. L., Arisma, N. C., & Julian, A. A. (2023). Isotherm and Kinetic Adsorption of Cadmium (Cd) onto Biosorbent Made from Kepok Banana Peel (*Musa Acuminata* balbisian): the Effect of Activator Type and Biosorbent Dosage. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 12(2), 297–303. <https://doi.org/10.13170/aijst.12.2.27947>
- Dadwal, A., Mishra, V., & Technology, F. (2017). *Review on Biosorption of Arsenic from*

*Contaminated Water* † *Division of Biological Sciences and Engineering* , Netaji Subhas Institute of Technology ( Formerly Delhi School of Biochemical Engineering , Indian Institute of Technology ( Banaras Hindu Universi. (May 2016), 1–45.

Dr 1900. (2014). *Manual de Uso de Espectrofotómetro DR 1900*.

El Jery, A., Alawamleh, H. S. K., Sami, M. H., Abbas, H. A., Sammen, S. S., Ahsan, A., ... Al-Ansari, N. (2024). Isotherms, kinetics and thermodynamic mechanism of methylene blue dye adsorption on synthesized activated carbon. *Scientific Reports*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50937-0>

Fiestas, M. S., & Millones, A. L. (2019). *Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope*. 100.

Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>

García López, R. A., & Granillo Oporta, Y. A. (2017). Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activado de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis* linn osbeck). *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*, 92. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf>

Hernández, M., Otero, A., Falcón, J., & Yperman, Y. (2017). Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO<sub>3</sub> Physiochemical Characteristic of Activated Carbon of Coconut Shell Modified with HNO<sub>3</sub>. *Rev. Cubana Quím*, 29(1), 2224–5421. Retrieved from <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq>

Jha, V. K., & Maharjan, J. (2022). Activated carbon obtained from banana peels for the removal of AS (III) from water. *Scientific World*, 15(15), 145–157. <https://doi.org/10.3126/sw.v15i15.45665>

Jovanović, B. M., Vukašinović-Pešić, V. L., Veljović, D. N., & Rajaković, L. V. (2011). Arsenic removal from water using low-cost adsorbents - A comparative study. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 76(10), 1437–1452.

<https://doi.org/10.2298/JSC101029122J>

- Kosmulski, M. (2009). pH-dependent surface charging and points of zero charge. IV. Update and new approach. *Journal of Colloid and Interface Science*, 337(2), 439–448. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.04.072>
- Meez, E., Tolkou, A. K., Giannakoudakis, D. A., Katsoyiannis, I. A., & Kyzas, G. Z. (2021, November). Activated carbons for arsenic removal from natural waters and wastewaters: A review. *Water (Switzerland)*, Vol. 13. MDPI. <https://doi.org/10.3390/w13212982>
- MINAM. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9.
- MINSA. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. 1–23.
- Mohan, D., & Pittman, C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents-A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1–2), 1–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.006>
- Murillo, C., Gomez, O., Ortiz, O., & Muñoz, S. (2015). APLICACIÓN DE MODELOS PARA LA GENERACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE METANO EN UNA MUESTRA DE SHALE Y SU IMPACTO EN EL CÁLCULO DE RESERVAS. *El Reventón Energético*, 13, 131–140.
- Neisan, R. S., Saady, N. M. C., Bazan, C., Zendejboudi, S., Al-nayili, A., Abbassi, B., & Chatterjee, P. (2023). Arsenic Removal by Adsorbents from Water for Small Communities' Decentralized Systems: Performance, Characterization, and Effective Parameters. *Clean Technologies*, 5(1), 352–402. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol5010019>
- Nemade, P. D., Rao, A. V., & Alappat, B. J. (2002). Removal of fluorides from water using low cost adsorbents. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(1), 311–317. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0037>
- Nezha, R. (2014). *Analysis of the co-dispersion structure of the main health-related indicators, the health center, elderly people living at home, and health-related indicators*. 1–203.

- OMS. (2018a). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608.
- OMS. (2018b). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608. Retrieved from <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1> (accessed 12 September 2024)
- Parks, G. (1964). Observations on rearing *karocolens pittospori* (coleoptera: Curculionidae: Molytinae). *New Zealand Entomologist*, 9(1), 34–37. <https://doi.org/10.1080/00779962.1987.9722490>
- Pérez Macedo, P. M., Hernández Arrazola, S. E., Aquino González, L. V., León Martínez, F., Cano Barrita, P. F. de J., & Rojas-Olivos, A. (2023). Adsorción de pb2+ y colorantes mediante carbón activado obtenido de *Agave Angustifolia* Haw. y residuos vegetales. *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura*, 2(2), 30–37. <https://doi.org/10.56643/rcia.v2i2.167>
- Rodriguez, A. M. C. (2025). *Propiedades y Aplicaciones del Carbón Activado: Un Análisis Completo*. (January). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25405.17129>
- Sellaoui, L., Dotto, G. L., Lamine, A. Ben, & Erto, A. (2017). Interpretation of single and competitive adsorption of cadmium and zinc on activated carbon using monolayer and exclusive extended monolayer models. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(24), 19902–19908. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9562-8>
- Shaibur, M. R., Khatun, Y., Howlader, M., Khan, A. S., & Ambade, B. (2024). *Determinación de la calidad del agua y eliminación eficiente de arsénico y hierro de las aguas subterráneas utilizando carbón de cáscara de fruta de caoba y pedúnculo de plátano*.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>
- Tongpoothorn, W., Sriuttha, M., Homchan, P., Chanthai, S., & Ruangviriyachai, C. (2011). Preparation of activated carbon derived from *Jatropha curcas* fruit shell by simple thermo-chemical activation and characterization of their physico-

chemical properties. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(3), 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.06.012>

Ulloa, X. G. C. (2024). *ADSORCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA USANDO CARBÓN ACTIVADO MODIFICADO MEDIANTE TRATAMIENTO ÁCIDO*.

US EPA. (2001a). *Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule: A Quick Reference Guide Title Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule 66 FR 6976 ( Critical Deadlines & Requirements Consumer Confidence Report Requir. (4606), 1–2.*

US EPA. (2001b). *Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule: A Quick Reference Guide Title Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule 66 FR 6976 ( Critical Deadlines & Requirements Consumer Confidence Report Requir. (4606), 1–2.* Retrieved from [www.epa.gov/safewater](http://www.epa.gov/safewater);

Vasquez Nagarro, J. D. (2023). *"EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DEL CARBÓN Tesis para optar el título profesional de.*

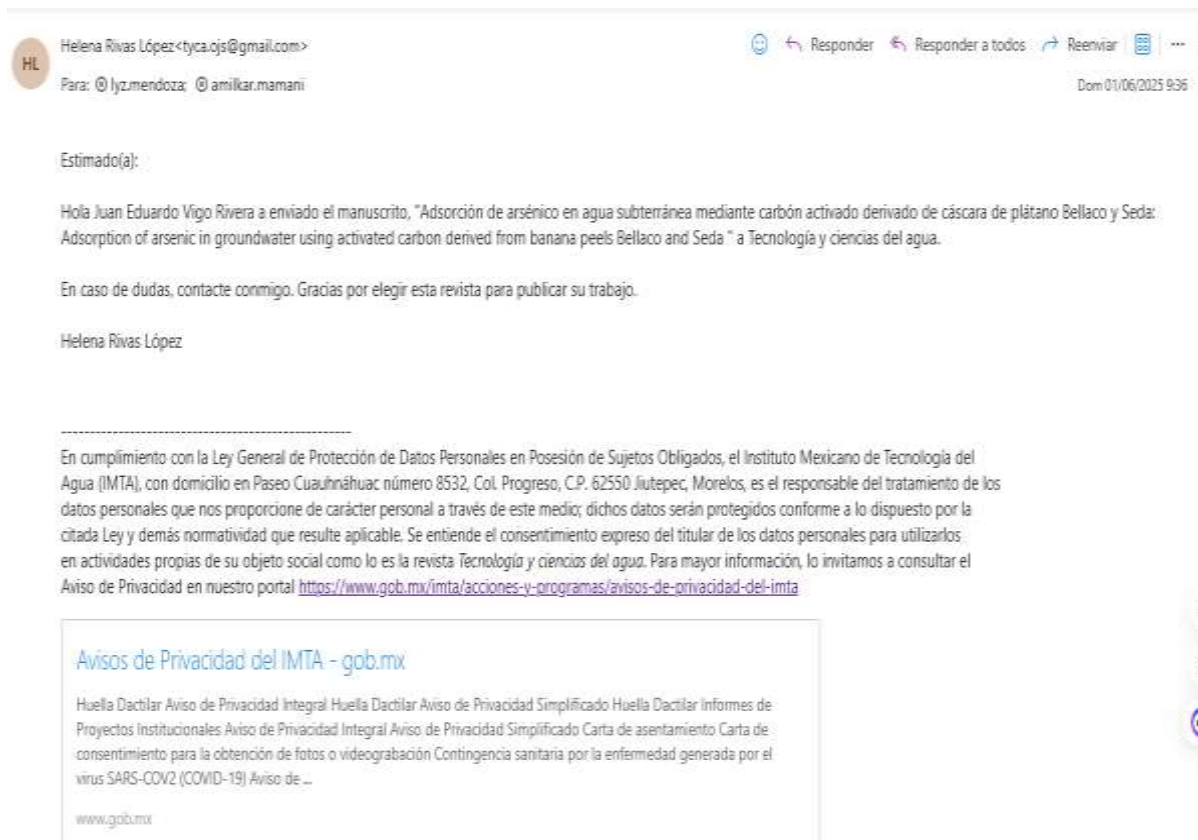
Velázquez-Trujillo, A., Bolaños-Reynoso, E., & Pliego-Bravo, Y. S. (2010). Optimization of activated carbon production from bamboo. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 9(3), 359–366.

Zhou, Y., Lu, J., Zhou, Y., & Liu, Y. (2019). Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review. *Environmental Pollution*, 252, 352–365. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.072>

Zhou, Y., Zhang, R., Gu, X., & Lu, J. (2015). Adsorption of Divalent Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Citric Acid Modified Pine Sawdust. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 50(2), 245–252. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.956223>

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Evidencia de sumisión de artículo en la revista de *Tecnologías y Ciencias del agua*



HL Helena Rivas López <tyca.ojs@gmail.com> Responder Responder a todos Reenviar Dom 01/06/2025 9:36

Para: @lyz.mendoza; @amilkar.mamani

Estimado(a):

Hola Juan Eduardo Vigo Rivera a enviado el manuscrito, "Adsorción de arsénico en agua subterránea mediante carbón activado derivado de cáscara de plátano Bellaco y Seda: Adsorption of arsenic in groundwater using activated carbon derived from banana peels Bellaco and Seda." a Tecnología y ciencias del agua.

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Helena Rivas López

-----

En cumplimiento con la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con domicilio en Paseo Cuauhnáhuac número 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos, es el responsable del tratamiento de los datos personales que nos proporcione de carácter personal a través de este medio; dichos datos serán protegidos conforme a lo dispuesto por la citada Ley y demás normatividad que resulte aplicable. Se entiende el consentimiento expreso del titular de los datos personales para utilizarlos en actividades propias de su objeto social como lo es la revista *Tecnología y ciencias del agua*. Para mayor información, lo invitamos a consultar el Aviso de Privacidad en nuestro portal <https://www.gob.mx/imta/acciones-y-programas/aviso-de-privacidad-del-imta>

[Avisos de Privacidad del IMTA - gob.mx](#)

Huella Dactilar Aviso de Privacidad Integral Huella Dactilar Aviso de Privacidad Simplificado Huella Dactilar Informes de Proyectos Institucionales Aviso de Privacidad Integral Aviso de Privacidad Simplificado Carta de asentamiento Carta de consentimiento para la obtención de fotos o videograbación Contingencia sanitaria por la enfermedad generada por el virus SARS-COV2 (COVID-19) Aviso de ...

[www.gob.mx](http://www.gob.mx)



**Anexo 3. Resultados de análisis iniciales y finales posterior tratamiento con carbón activado**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL**  
**Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquani, Autopista**  
**Héroes de la Guerra del Pacífico**

**ANÁLISIS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

Solicitante: Jhon Amilkar Mamani Morales y Lyz Maribel Mendoza Luque

Análisis de: Tratamiento de Agua

Fecha de extracción: 14/01/2025

Fecha de recepción: 14/01/2025

Condiciones de llegada: Buenas

Extraídas por: El solicitante

Lugar de muestreo: Juliaca - Puno

Muestra conservada: Sí

método analítico		electrométrico	electrométrico	nefelometría	electrométrico	dietilditiocarbamato de plata
	Dosis (g)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Turbiedad (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Arsénico (mg/L)
	Inicial	6.20	2060	7.26	5.89	0.1076 mg/L
Cáscara de Bellaco	3	7.07	2.28	0.37	5.66	0.01532
	3	7.16	2.28	0.48	5.61	0.01125
	3	7.14	2.27	0.42	5.58	0.01521
	5	7.21	2.52	0.49	5.42	0.00822
	5	7.08	2.51	0.53	5.69	0.00827
	5	7.10	2.53	0.63	5.63	0.00834
	7	7.12	2.37	0.61	5.77	0.00657
	7	7.00	2.39	0.40	5.81	0.00673
	7	7.08	2.39	0.42	5.85	0.00736
	9	7.10	2.38	0.68	5.79	0.00364
	9	7.00	2.36	0.90	5.76	0.00365
	9	7.03	2.33	0.63	5.69	0.00371
	11	6.96	2.32	0.75	5.93	0.00194
	11	6.89	2.29	0.66	5.61	0.00172
11	6.93	2.28	0.54	5.77	0.00189	

Método analítico		electrométrico	electrométrico	nefelometría	electrométrico	dietilditioicarbamato de plata
	Dosis (g)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Turbiedad (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Arsénico (mg/L)
	Inicial	6.20	2060	7.26	5.89	0.1076 mg/L
Cáscara de Plátano seda	3	7.14	2.35	0.42	5.75	0.00479
	3	7.15	2.29	0.37	5.91	0.00561
	3	7.14	2.28	0.41	5.78	0.00528
	5	7.16	2.37	0.51	5.85	0.00457
	5	7.14	2.36	0.47	5.76	0.00468
	5	7.23	2.32	0.40	5.71	0.00504
	7	7.04	2.33	0.60	5.68	0.00438
	7	7.20	2.32	0.51	5.77	0.00406
	7	7.13	2.32	0.76	5.76	0.00455
	9	7.02	2.33	0.73	5.88	0.00389
	9	6.96	2.30	0.91	5.73	0.00397
	9	6.85	2.21	0.76	5.67	0.00365
	11	6.82	2.21	0.78	5.73	0.00177
	11	6.89	2.21	0.91	5.79	0.00120
11	6.90	2.28	0.97	5.77	0.00201	

**ADVERTENCIA:**

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

**FECHA:** 15/04/2025

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.

Laboratorio de saneamiento  
ambiental

**Anexo 4. Análisis de caracterización del carbón activado de ambas variedades de plátano Bellaco y Seda**



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL  
 Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra del  
 Pacífico

**Análisis caracterización de carbón**

Solicitante: Jhon Amílkar Mamani Morales y Lyz Maribel Mendoza Luque

Análisis de: carbón

Fecha de extracción: 03/03/2025

Fecha de recepción: 03/03/2025

Condiciones de llegada: Buenas

Extraídas por: El solicitante

Lugar de muestreo: Juliaca - Puno

Muestra conservada: Si

parámetro	unidades	método analítico	casaca de Bellaco	casaca de seda
Humedad	%	método de secado en estufa	0.44	0.12
volátil	%	Método Gravimétrico	6.14	5.29
Ceniza	%	Método de Incineración en Mufla	9.9	9.9
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	Método de volumen desplazado en probeta	0.6405	0.6273
Densidad real	g/cm <sup>3</sup>	Picnómetro con helio	1.78	1.89
Porosidad total	g/cm <sup>3</sup>	Calculo directo en base a la densidad aparente y densidad real.	0.641	0.6682

caracterización de carbono punto de carga cero			
muestra	pH	Bellaco	Seda
M1	2.00	-0.24	-0.24
M2	4.00	-1.87	-0.17
M3	6.00	-0.17	1.67
M4	8.00	1.84	3.54
M5	10.00	3.88	5.47
M6	12.00	4.96	6.09

**ADVERTENCIA:**

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

FECHA: 15/04/2025

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.

Laboratorio de saneamiento  
 ambiental