

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



**Isotermas de bioadsorción de arsénico en solución acuosa
utilizando dos biomásas de cascara de plátano**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

José Antonio Capacoila Calcina

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, febrero de 2024

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: **“ISOTERMAS DE BIOADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIÓN ACUOSA UTILIZANDO DOS BIOMASAS DE CASCARA DE PLÁTANO”** del autor **José Antonio Capacoila Calcina** tiene un índice de similitud de 1% 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 09 días del mes de febrero del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 09 día(s) del mes de febrero del año 2024, siendo las 12:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Luela, el (la) secretario(a): Msc. Franklyn Bard

Zapana Yucra y los demás miembros: Ing. Nancy Laura Rafael

Ing. Verónica Haydei Pari Mamani y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo

Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Isotermas de bioadsorción de arsénico en solución acuosa utilizando dos biomásas de cascara de plátano.

del(los) bachiller(es): a) José Antonio Lopezola Galcina

b) _____

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): José Antonio Lopezola Galcina

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

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.

[Firma]
Presidenta

[Firma]
Asesora

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretaría

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (c)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su constante guía y bendiciones en mi vida.

Expreso también mi más profundo agradecimiento a mis padres Sergio y Rosa por su amor incondicional, su apoyo y sus sacrificios.

De igual manera, quiero expresar mi sincera gratitud al Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, mi asesor, por su invaluable apoyo a lo largo de este proceso de tesis.

Asimismo, agradezco a los ingenieros involucrados en el proyecto, quienes han compartido generosamente su conocimiento y experiencia, enriqueciendo así mi aprendizaje y desarrollo personal.

José Antonio Capacoila Calcina

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
2.1. Escenario de la Investigación	13
2.2. Toma de la muestra de agua de pozo	13
2.3. Preparación del material bioadsorbente	13
2.4. Pre - tratamiento de la muestra de agua por oxidación solar.....	14
2.5. Efecto del Potencial de Hidrógeno.....	15
2.6. Ensayos de adsorción	16
2.7. Isotermas de adsorción	16
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	18
3.1. Concentración de arsénico en agua de pozo para consumo humano	18
3.2. Determinación del Punto de Carga Cero del Potencial de Hidrógeno.....	18
3.3. Composición química por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.....	20
3.4. Remoción de arsénico usando cáscaras de Plátano Seda y Bellaco.....	23
3.5. Isoterma de absorción de Arsénico	25
4. CONCLUSIONES	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de arsénico en agua de pozo para consumo humano	18
Tabla 2. Resultados de punto de carga cero de cada biomasa	20
Tabla 3. Composición química de las cáscaras de plátano de las variedades Bellaco y Seda	21
Tabla 4. Bioadsorción del arsénico con las cáscaras de plátano Bellaco y Seda	23
Tabla 5. Resultados de las isotermas de Langmuir y Freundlich de las cáscaras de plátano Bellaco y Seda.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso para la obtención del bioadsorbente	14
Figura 2. Punto de carga cero del pH de las cáscaras de plátano “Bellaco” y “Seda”	19
Figura 3. Remoción de Arsénico mediante Bioadsorción con Cáscaras de Plátano Bellaco y Seda	24
Figura 4. Isotermas de Langmuir de la cáscara de plátanos de Bellaco y Seda.....	25
Figura 5. Isotermas de Freundlich de la cáscara de plátano Bellaco y Seda.....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio	33
Anexo 2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente	34
Anexo 3. Informe de análisis de prueba piloto de remoción de arsénico	35
Anexo 4. Informe de análisis de punto de carga cero del potencial de hidrogeno	36
Anexo 5. Informe de análisis de agua	38
Anexo 6. Análisis de composición química por espectrometría de fluorescencia de rayos X	39
Anexo 7. Panel fotográfico	46

Isotermas de bioadsorción de arsénico en solución acuosa utilizando dos biomasas de cascara de plátano

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar las isotermas de bioadsorción de arsénico en solución acuosa utilizando dos biomasas de cascara de plátano. Para la obtención del bioadsorbente, las cáscaras de plátano fueron sometidas a un proceso de limpieza y expuesta a una estufa a 60°C durante 3 días. Posteriormente, se trituraron y tamizaron a través de una malla de 250µm. Seguidamente a la muestra de agua se le llevó a cabo un proceso de oxidación, adicionando 5 mL de peróxido de hidrógeno y se expuso al sol durante 8 horas. Los ensayos de adsorción se llevaron a cabo colocando 12, 16, 20, 24, 28 y 32 g del bioadsorbente, cada uno conteniendo 500 mL de la muestra de agua. Los experimentos se realizaron a una velocidad de agitación de 180 RPM durante un periodo de 90 minutos utilizando el Test de jarras, a temperatura ambiente (16°C) y con el pH ajustado a 5. En los ensayos de adsorción de arsénico, se observó que la cáscara de plátano “Bellaco” logró eliminar hasta 0.004 mg/L, mientras que el de plátano “Seda” alcanzó una remoción de hasta 0.012 mg/L. Es destacable que el valor obtenido con la cáscara de plátano bellaco se sitúa por debajo de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud para el consumo de agua. En conclusión, se determinó que ambos bioadsorbentes exhiben una eficiencia de absorción de arsénico superior al 92%, y la isoterma que se ajustó mejor a los datos experimentales fue el modelo de Langmuir.

Palabras clave: absorción, arsénico, bioadsorbente, isotermas, eficiencia.

Arsenic bioadsorption isotherms in aqueous solution using two banana peel biomasses

ABSTRACT

The aim of the research was to determine the bioadsorption isotherms of arsenic in aqueous solution using two banana peel biomasses. To obtain the bioadsorbent, banana peels were subjected to a cleaning process and exposed to an oven at 60°C for 3 days. Subsequently, they were crushed and sieved through a 250µm mesh. Then, the water sample underwent an oxidation process by adding 5 mL of hydrogen peroxide and exposed to sunlight for 8 hours. Adsorption tests were conducted by placing 12, 16, 20, 24, 28, and 32 g of bioadsorbent, each containing 500 mL of the water sample. The experiments were performed at an agitation speed of 180 RPM for a period of 90 minutes using the Jar Test, at room temperature (16°C), and with the pH adjusted to 5. In the arsenic adsorption assays, it was observed that the "Bellaco" banana peel removed up to 0.004 mg/L, while the "Seda" banana peel achieved a removal of up to 0.012 mg/L. It is noteworthy that the value obtained with the "Bellaco" banana peel is below the limits established by the World Health Organization for water consumption. In conclusion, it was determined that both bioadsorbents exhibit an arsenic absorption efficiency of over 92%, and the isotherm that best fit the experimental data was the Langmuir model.

Keywords: adsorption, arsenic, bioadsorbent, isotherms, efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados se ha convertido en un problema grave para el medio ambiente, principalmente en los países que están en desarrollo, debido a la rápida generación de actividades urbanas e industriales (Aichour et al., 2018). En Perú, la rápida industrialización, urbanización y múltiples actividades antropogénicas están siendo afectadas por la contaminación de metales pesados, exponiéndose a concentraciones de Arsénico (As) superiores a los niveles recomendados en el agua, excediendo a 250 mg/L, siendo la región del sur de país la más afectada por sus niveles altos de As, lo que afecta la salud de la población con diversas enfermedades (Abid et al., 2016). La acumulación de metales pesados en el suelo y agua es especialmente importante porque puede afectar la salud humana y al medio ambiente (Chand y Pakade, 2013). Esto se agrava con la creciente demanda del agua para fines agrícolas, domésticos, industriales y recreativos.

El arsénico representa una amenaza importante para la salud pública, especialmente cuando se encuentra en aguas subterráneas (A. Ali et al., 2016). El As inorgánico esta naturalmente presente con altos niveles en aguas subterráneas de diversos países, tales como Argentina, Bangladés, Chile, India, México, Perú, entre otros países (Akkaya y Güzel, 2013). En Perú, la zona sur del país es donde hay mayor contaminación por As, excediendo el máximo límite permisible. En la región de Tacna, 19 distritos exceden los límites máximos permisibles de As en aguas de consumo humano establecido por la OMS y la legislación peruana (Región de Salud Tacna, 2023), presentándose enfermedades como cáncer de piel, cáncer de vejiga y de pulmón, como menciona el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), que ha clasificado al As y sus compuestos como cancerígenos para el ser humano (Organización Mundial de la Salud, 2011). Por lo tanto, es necesario buscar alternativas sostenibles para la remoción de arsénico en aguas subterráneas (Ángel Siles López et al., 2010).

Se han empleado diferentes tecnologías, como la adsorción, precipitación química, coagulación/floculación, evaporación, filtración por membrana, procesos biológicos, operaciones electroquímicas e intercambio iónico, entre otras, para la eliminación de metales pesados de agua contaminadas y de aguas residuales. Actualmente, se están desarrollando tecnologías más amigables ambientalmente y más económica (Stavrinou et al., 2018). Dentro de estas, se encuentra la bioadsorción, que es un proceso fisicoquímico que engloba los

fenómenos de adsorción y absorción de moléculas y iones. Este método se caracteriza por su fácil acceso, bajo costo y elevada capacidad de remoción de los metales pesados. La bioadsorción promueve el uso de materiales naturales renovables de bajo costo, los cuales poseen propiedades biosorbentes y se han demostrado muy eficientes en la remoción de diversos contaminantes del agua, siendo ampliamente utilizadas como una técnica eficiente y efectiva para la eliminación de metales pesados (R. M. Ali et al., 2016). Sin embargo, el éxito de esta técnica depende en gran medida de la naturaleza del material adsorbente utilizado para el proceso. Recientemente, se ha utilizado ampliamente el carbón activado como adsorbente, aunque el costo asociado con la instalación inicial y el sistema de regeneración es relativamente alto. Por lo tanto, la búsqueda de alternativas económicamente viables continúa siendo una de las principales prioridades en las investigaciones (Aliabadi et al., 2013).

En este sentido, los residuos agrícolas como la cáscara de plátano han sido reconocidos como posibles adsorbentes alternativo debido, principalmente, al hecho de que son fáciles de conseguir, rentables y altamente eficientes en la absorción de diferentes tipos de iones de metales pesados (Stavrinou et al., 2018). Considerando que las cáscaras de plátano Bellaco y Seda son biomásas de bajo costo, este estudio sugiere la posibilidad de emplear este material para desarrollar tecnologías alternativas eficientes, sostenibles y asequibles destinadas a la adsorción de arsénico en aguas de pozo. Estas tecnologías podrían utilizarse para complementar los procesos de tratamiento convencionales ya existentes. Por lo tanto, la investigación estudio las isothermas y la eficiencia de adsorción de iones de arsénico en agua de pozo utilizando dos biomásas de cáscara de plátano Bellaco y Seda. Posteriormente, se estudiaron los parámetros de adsorción en pruebas piloto (potencial de hidrógeno [pH], tiempo de contacto, temperatura y dosificación). Además, se determinó la caracterización de las cáscaras de plátano para conocer sus propiedades. Por otro lado, se determinaron las isothermas de Langmuir y Freundlich para representar los datos de adsorción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Escenario de la Investigación

Gran parte de los ensayos, como el tratamiento de las cáscaras de plátano, la oxidación del agua con arsénico, el Punto de Carga Cero del pH (PCZ) y la adsorción de arsénico, se desarrollaron en las instalaciones del laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Escuela Profesionales de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión de la ciudad de Juliaca. Por otra parte, los análisis de caracterización de las cáscaras de plátano mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (EDX) fueron realizados por el laboratorio Labicer perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería.

2.2. Toma de la muestra de agua de pozo

Inicialmente, la muestra de agua se tomó de una vivienda ubicada en la Av. Héroes de la Guerra del Pacífico Km 6 de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, región de Puno, Perú. Posteriormente, se tomó una muestra de 20L de agua del pozo de dicha vivienda, la cual fue analizada para determinar la concentración inicial de arsénico y el nivel de pH, y finalmente continuar con los siguientes análisis requeridos por la investigación.

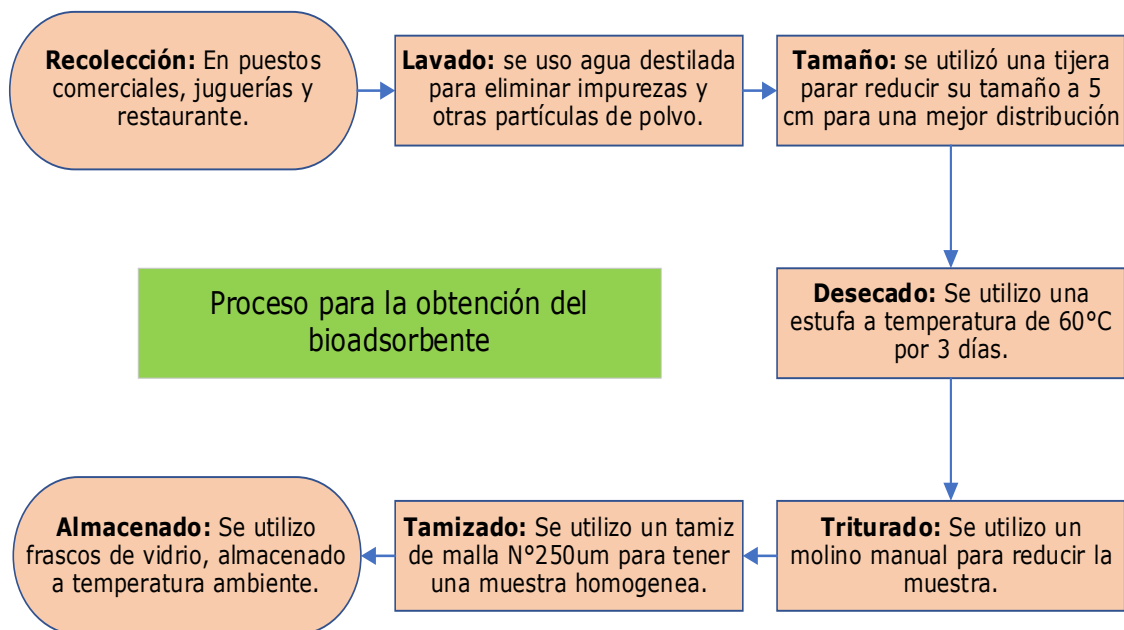
El límite máximo permisible de arsénico (As) en agua para consumo humano está regulado por diversas entidades a nivel internacional. En Perú, de acuerdo con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo N° 031-2010-SA) (MINSA, 2011), el límite es de 0.01 miligramos por litro (mg/L) o 10 microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$). La Organización Mundial de la Salud (OMS) también establece un límite de 0.01 mg/L (10 $\mu\text{g/L}$) en su "Guidelines for Drinking-water Quality" (WOH, 2017). En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha fijado un límite de 0.01 mg/L (10 $\mu\text{g/L}$) en su "National Primary Drinking Water Regulations" (EPA, 2009). Estos estándares reflejan la preocupación por la salud pública y la protección del consumidor frente a los posibles efectos adversos del arsénico en el agua potable.

2.3. Preparación del material bioadsorbente

La Figura 1 muestra las etapas del proceso para la obtención del bioadsorbente provenientes de la cáscara de plátano de las variedades Bellaco y Seda.

Figura 1

Etapas del proceso para la obtención del bioadsorbente



Las cáscaras de plátano, considerado como residuos orgánicos, pueden ser transformadas en un recurso valiosos mediante el proceso de desecación y pulverización. Cuando se mezclan con agua contaminada, tienen la capacidad de purificarla de metales pesados. Una aplicación adicional es su utilización en la fabricación de harina. Otra alternativa practica es emplear las cáscaras de plátano como adsorbente en el tratamiento de efluentes (Cardoso Franco et al., 2015). Sorprendentemente, estas cáscaras representan alrededor del 30% del peso total del fruto, y con frecuencia son descartadas sin aprovechar (Gómez Montaña et al., 2019). A pesar de ser una biomasa desechada, comúnmente destinado a la alimentación de animales o simplemente desperdiciada, tiene un potencial como recurso para combatir la contaminación ambiental siendo muy significativo.

2.4. Pre - tratamiento de la muestra de agua por oxidación solar

Previamente, se llevó a cabo un pretratamiento de la muestra de agua de pozo antes de realizar las pruebas de adsorción. Este pretratamiento consistió en la oxidación solar de los metales pesados disueltos en el agua. Para ello, se trabajó con una muestra de 20 L de agua de pozo y se le añadieron 5 mL de Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2). Posteriormente, se expuso la muestra durante un periodo de 8 horas a la luz solar, iniciando desde las 08:00 am hasta

las 16:00 pm en un balde de polietileno transparente. La oxidación solar es un proceso que utiliza la energía solar para oxidar los metales pesados disueltos en el agua. El proceso se basa en la formación de radicales hidroxilos (OH^\cdot) a partir de la reacción entre el agua y los fotones solares. Este método facilita la conversión de los iones metálicos disueltos en formas más fácilmente absorbibles, mejoran así la eficiencia del proceso de adsorción posteriormente (Chávez Quijada y Miglio Toledo, 2011).

2.5. Efecto del Potencial de Hidrógeno

Para estudiar el efecto del pH en la adsorción de arsénico utilizando las cáscaras de plátano “Bellaco” y “Seda”, se llevaron a cabo pruebas de punto de carga cero (PZC). Estas pruebas tienen como objetivo determinar el pH óptimo para la adsorción, siguiendo el siguiente procedimiento: 1) Preparar una solución madre de cloruro de sodio (NaCl) 0.1M en agua destilada, esta solución se utilizó como base para las siguientes etapas. 2) Toma de muestra y ajuste de pH: se tomaron 50 mL de la muestra en un vaso precipitado de 100 mL y se ajustó el pH en cada solución en un rango entre 2.0 y 12 unidades; para lograr esto, se agregaron cantidades adecuadas de ácido clorhídrico (HCl) 0.1 M o hidróxido de sodio (NaOH) 0.1M según fuera necesario. 3) Posteriormente, la adición del material adsorbente: a cada solución se añadió 0.15 g del material adsorbente, las soluciones se agitaron y se dejaron reposar durante 48 horas a temperatura ambiente. 4) Medición del pH final: después de las 48 horas, se filtraron y se midió el valor del pH final en cada solución (da Silva Paniagua et al., 2021). El objetivo de este proceso es determinar el pH óptimo para la adsorción eficiente de arsénico utilizando las cáscaras de plátano como material adsorbente. La elección del pH adecuado es crucial, ya que afecta la distribución de las especies de arsénico en solución y, por lo tanto, su capacidad de adsorción.

Los ensayos para determinar el pH se llevaron a cabo mediante las pruebas de PCZ realizadas anteriormente, obteniendo un promedio de pH de 5 para ambos bioadsorbentes. Una vez completados todos los ensayos previos, se procedió a realizar los ensayos finales para determinar la influencia del bioadsorbente en la remoción de arsénico. Este ensayo final consistió en poner en contacto 12, 16, 20, 24, 28 y 32 g/L del bioadsorbente en una cantidad de 500 mL de la muestra de agua de pozo con arsénico, previamente tratado con la oxidación solar, y someterlas a agitación utilizando el Test de Jarras a 180 RPM durante 90 minutos. Cabe mencionar que todos los ensayos se efectuaron a temperatura ambiente de 16 °C y un

pH de 5. Una vez terminado el proceso del Test de Jarras, las muestras fueron filtradas para determinar la concentración final del arsénico mediante el método de Dietilditiocarbamato de Plata, según la Norma Técnica Peruana 214.008, realizado en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión (INACAL, 2017).

2.6. Ensayos de adsorción

Para el desarrollo de las pruebas de adsorción, se realizaron ensayos previos con el fin de determinar la dosis optima del bioadsorbente, el pH y el tiempo de contacto. Estos ensayos ayudaron a determinar la influencia del bioadsorbente y los demás procesos para los posteriores ensayos. Para la dosis óptima del bioadsorbente se determinó en los ensayos preliminares iniciar con una dosis de 12 y 16 g/L del bioadsorbente. Obteniendo resultados favorables, se incrementó las siguientes dosis a 20, 24, 28 y 32 g/L. Cabe mencionar que todas las muestras se pusieron en contacto con una solución de muestra de agua de pozo en 500 mL para cada dosis, con un tiempo de contacto de 90 minutos a 180 RPM. Con estos ensayos realizados se determinó que la mejor dosis de bioadsorbente fue de 16 g/L.

2.7. Isotermas de adsorción

El análisis de los datos de las isotermas de adsorción es un paso importante para encontrar el modelo adecuado que pueda utilizarse en el proceso de diseño. Los datos experimentales se aplicaron a los modelos isotérmicos de dos parámetros, Langmuir y Freundlich. Los datos de las isotermas de adsorción para la biosorción de arsénico por cáscaras de plátano de las variedades “Bellaco” y “Seda” se ajustaron a estos modelos isotérmicos para determinar cuál de ellos se ajusta mejor a los datos experimentales.

El modelo de isoterma de adsorción de Langmuir generalmente se adopta para la adsorción homogénea y se usa con éxito en procesos de adsorción monomolecular, donde la adsorción ocurre en un número finito y definido de sitios que son idénticos y equivalentes (Nurain et al., 2021). Las ecuaciones 1 y 2 se expresan de la siguiente manera:

El modelo de isoterma de adsorción de Langmuir, ampliamente utilizado para describir la adsorción homogénea, es eficaz en procesos de adsorción monomolecular donde la adsorción ocurre en un número finito y definido de sitios equivalentes e idénticos (Nurain et al., 2021). Este modelo se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$q_e = \frac{q_{max}bC_e}{1+bC_e} \quad (1)$$

Isoterma de Langmuir linealizada:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m b C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

Dónde: “qe” es la cantidad de metal adsorbido en (mmol/g), “qmax” es la capacidad máxima de Langmuir en monocapa expresada en (mmol/g), “b” es la constante de Langmuir en (L/mmol) y “Ce” son las concentraciones iniciales y de equilibrio respectivamente en (mmol/L).

Adicionalmente, el modelo de adsorción de Freundlich describe una adsorción no ideal y reversible, donde se forma una multicapa de adsorción con una distribución heterogénea de los sitios de adsorción. Este modelo es utilizado para estimar la intensidad de adsorción del adsorbato sobre la superficie del adsorbente, proporcionando una representación más realista para sistemas de adsorción complejos. Las ecuaciones que definen este modelo son:

$$q = k_f C_{eq}^{1/n} \quad (3)$$

Isoterma de Freundlich linealizada:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

Dónde: “qe” es la cantidad de metal adsorbido en (mmol/g), “Kf” es la constante de Freundlich, “b” es la constante de Langmuir en (L · mmol⁻¹), “Ce” son las concentraciones iniciales y de equilibrio respectivamente en (mmol/L), “n” es la intensidad de sorción y los valores de 1/n indican que el tipo de isoterma es, irreversible (1/n=0), favorable (0<1/n<1) y desfavorable (1/n>1). Estas ecuaciones proporcionan una base sólida para entender y predecir el comportamiento de adsorción de arsénico en diferentes condiciones, siendo cruciales para el desarrollo de tecnologías efectivas de purificación de agua.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Concentración de arsénico en agua de pozo para consumo humano

Se determinó la concentración de arsénico presente en el agua de pozo de la vivienda seleccionada de la asociación de Viviendas Nueva Jerusalén de la ciudad de Juliaca mediante un análisis de laboratorio. La Tabla 1 muestra los resultados del nivel de arsénico presente en el agua.

Tabla 1

Concentración de arsénico en agua de pozo para consumo humano

Contaminante	Resultados obtenidos del pozo	Límite máximo permisible Norma Peruana/ OMS / EPA	Cumple
Arsénico	0.149 mg/L	0.01 mg/L	No

La tabla 1 representa el resultado del análisis de concentración inicial de arsénico en agua de pozo, la cual se utilizará en los experimentos, donde el valor que muestra 0.149 mg/L es mayor de lo recomendado para consumo humano por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por Decreto Supremo N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud del Perú.

La presencia de altos niveles de arsénico en aguas subterráneas, especialmente en pozos, representa una seria amenaza para la salud humana, como ha destacado la Organización Mundial de la Salud (OMS). La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua potable contaminada puede aumentar significativamente el riesgo de enfermedades crónicas, incluyendo problemas cardiovasculares, y otros efectos adversos para la salud en las poblaciones afectadas (Srivastava, 2020).

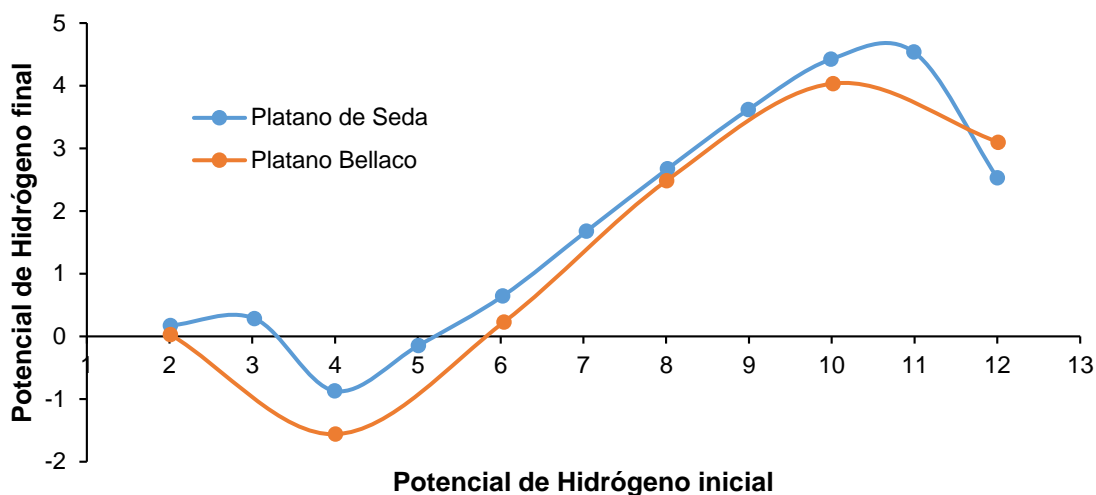
3.2. Determinación del Punto de Carga Cero del Potencial de Hidrógeno

El punto de carga cero (PZC) se define como el valor del pH en el cual la carga neta total (externa e interna) de las partículas sobre la superficie del material adsorbente es neutra, es decir, el número de sitios positivos y negativos es igual (Mihaly Cozmuta et al., 2012). Para

determinar la potencial carga cero del material adsorbente se utilizó una solución de NaCl 0.01 N en diferentes rangos de pH 2 a 12. El punto o interacción donde se corta la línea, va constituir el potencial de carga cero de la cáscara de plátano Bellaco y Seda (ver figura 2).

Figura 2

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



El punto de carga cero (pH) se determinó mediante el método de la derivada del pH, evaluando un rango de pH entre 2.0 y 12. Los valores de pH encontrados fueron 5.278 para la cáscara de plátano “Bellaco” y 5.25 para plátano de “Seda”. Esto significa que cuando el pH del bioadsorbente está por debajo de su pH PZC, la carga total será positiva, lo que resultará en una mayor remoción de aniones. Por otro lado, si el pH de la solución es mayor que el pH PZC, el bioadsorbente estará cargado negativamente, favoreciendo a la remoción de cationes. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2*Resultados de punto de carga cero de cada biomasa*

Material	Punto de carga cero (pH)
Cáscara de plátano Bellaco	5.78
Cáscara de plátano Seda	5.25

La determinación del punto de carga cero (pH PZC) en cáscaras de plátano "Bellaco" y "Seda" reveló valores de 5.78 y 5.25 respectivamente, indicando que, por debajo de este pH, los bioadsorbentes presentan una carga positiva favoreciendo la remoción de aniones, mientras que, por encima de este valor, su carga es negativa, promoviendo la adsorción de cationes. Basándose en sus estudios sobre la biosorción de metales, Negroiu et al. (2021), concluyeron que el mayor porcentaje de remoción y capacidad de biosorción se observa a un pH de 5. Este mismo valor de pH fue considerado y utilizado en los ensayos de punto de carga cero (PCZ).

Estos resultados son fundamentales para comprender y optimizar los procesos de remoción de contaminantes en soluciones acuosas, ofreciendo una guía precisa para ajustar el pH y mejorar la eficacia de los tratamientos de agua. Sin embargo, se requieren más estudios para validar estos hallazgos en diferentes condiciones y tipos de contaminantes.

3.3. Composición química por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (EDX) es una técnica que nos permite la identificación de elementos de una muestra a partir de la lectura de emisiones de rayos X secundarios o fluorescentes que son emitidos desde la muestra luego de que esta haya sido expuesta a la irradiación de rayos X primarios. Cuando los rayos X primarios impactan una muestra, pueden ser absorbidos por el átomo o esparcirse a través del material. Si los rayos X primarios tienen suficiente energía, pueden expulsar electrones de los niveles internos, creando vacantes. Estas vacantes se llenan con electrones de los niveles exteriores, y en el proceso emite rayos X característicos cuya energía es la diferencia entre los niveles de energía involucrados. Dado que cada elemento tiene niveles de energía únicos, cada uno produce

rayos X característicos, permitiendo de este modo medir la composición elemental de una muestra sin destruirla (De la Cruz Echaccaya, 2018).

La técnica de análisis de rayos X consiste en exponer una muestra a un flujo de radiación gamma, rayos X o partículas aceleradas para excitar los elementos presentes en ella. Luego, se identifican y cuantifican los elementos mediante los rayos X característicos que se producen. Esta técnica permite determinar la concentración de elementos que se encuentran entre el Sodio y el Uranio. Sin embargo, no se pueden determinar elementos ligeros como hidrogeno, oxigeno, carbono y nitrógeno debido a la baja energía de sus rayos X característicos y a su bajo rendimiento de fluorescencia. La técnica se aplica a muestras solidas o liquidas, orgánicas o inorgánicas (Miramira et al., 2016). La Tablas 3 muestra la composición química de las cáscaras de plátano de las variedades Bellaco y Seda.

Tabla 3

Composición química de las cáscaras de plátano de las variedades Bellaco y Seda

Parámetro	Resultado (%)		Parámetro	Resultado (%)		Método de referencia
Variedad	Bellaco	Seda	Variedad	Bellaco	Seda	MTC E118 Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva.
Materia orgánica	86.919	86.94	Materia orgánica	86.919	86.94	
Elementos Químicos			Compuestos Químicos			
Bromo (Br)		0.005	Bromo (Br)		0.004	
Cloro (Cl)		1.129	Cloro (Cl)		0.936	
Azufre (S)	0.063	0.053	Óxido de azufre (SO ₃)	0.133	0.112	
Calcio (Ca)	0.798	0.766	Óxido de calcio (CaO)	0.773	0.744	
Cobre (Cu)	0.008		Óxido de cobre (CuO)	0.006		
Estaño (Sn)	0.383	0.239	Óxido de estaño (SnO ₂)	0.329	0.207	
Estroncio (Sr)	0.01	0.009	Óxido de estroncio (SrO)	0.008	0.008	
Fosforo (P)	0.332	0.245	Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0.646	0.478	
Hierro (Fe)	0.223	0.069	Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	0.218	0.068	
Magnesio (Mg)		0.322	Óxido de magnesio (MgO)		0.473	
Manganeso (Mn)	0.026	0.018	Óxido de manganeso (MnO)	0.023	0.016	
Potasio (K)	10.384	9.332	Óxido de potasio (K ₂ O)	9.396	8.421	

Rubidio (Rb)	0.019	0.018	Óxido de rubidio (Rb ₂ O)	0.014	0.013
Silicio (Si)	0.82	0.845	Óxido de silicio (SiO ₂)	1.523	1.574
Zinc (Zn)	0.014	0.008	Óxido de zinc (ZnO)	0.012	0.007

Las tablas 3 muestra el análisis comparativo de la composición química de las cáscaras de plátano Bellaco y Seda, reveló similitudes en la composición de materia orgánica, con valores de 86.919 y 86.94%, respectivamente. En cuanto a los elementos químicos, se empleó espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva para determinar la presencia de diversos compuestos. Se observaron pequeñas variaciones en la concentración de elementos como bromo, cloro, azufre, calcio, estaño, estroncio, fósforo, hierro, manganeso, potasio, rubidio, silicio y zinc entre ambas variedades, con algunas diferencias destacadas, como el contenido de potasio, siendo 10.384% para Bellaco y 9.332% para Seda.

Los elementos presentes en el suelo o en medios acuáticos tienen un papel crucial en la capacidad de los organismos para adsorber metales pesados, influyendo en procesos como la competencia por sitios de adsorción, la formación de complejos con los metales pesados y la modificación de su disponibilidad. Sin embargo, su impacto específico varía según factores como la concentración relativa de los elementos, las características del medio y las complejas interacciones entre estos y los metales pesados presentes (Cuizano et al., 2010). En el contexto de la bioadsorción de metales pesados como el arsénico, estos elementos juegan roles diversos y con grados variables de efectividad. La competencia iónica por los sitios de adsorción, el efecto en la carga superficial del material adsorbente y la influencia en la solubilidad de los metales pesados son algunos de los factores clave influenciados por la presencia de estos elementos (Ortiz Sanchez y Vega Calero, 2019).

La composición química de las cáscaras de plátano varía dependiendo de la variedad y el estado de madurez. La materia seca oscila entre 8.5% y 16.9%, mientras que la proteína cruda varía de 6.3% a 10.5%. El contenido de grasa cruda se encuentra en un rango de 1.7% a 6.6%. La fibra dietética total (TDF) comprende entre 43.2 y 49.7%, con una fracción significativa de fibra insoluble (IDF) que varía entre 32.1 y 37.8%. La lignina está presente en un rango de 5.9 a 9.1%, la pectina varía entre 10.1 y 21.4%, reflejando un alto contenido en fibras solubles. La celulosa se encuentra en un rango de 7.4 a 9.7%, y la hemicelulosa varía entre 5.2 y 8.4%. Esta composición resalta el potencial de las cáscaras de plátano como una fuente valiosa de nutrientes y compuestos útiles para diversas aplicaciones industriales y

alimenticias (Zhao y Hall, 2008). Esto demuestra que estos compuestos, que presentan contenido celulósico, muestran capacidad de adsorción de metales y otros contaminantes (Sanchez Chica, 2018).

Negroiu et al. (2021) mencionan que, para estudiar la morfología de la superficie de la cáscara de plátano a partir de los residuos de la misma, se realizaron análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de energía dispersiva (EDS) para identificar los elementos presentes en la muestra, demostrando que las superficies de las partículas de ceniza son homogéneas y porosas. El patrón EDS de la muestra de cáscara de plátano indica que la muestra contiene un 6.68, 53.44, 1.31, 1.02, 35.97, 0.47 y 1.12% de carbono, oxígeno, magnesio, aluminio, silicio, potasio, y calcio, respectivamente.

3.4. Remoción de arsénico usando cáscaras de Plátano Seda y Bellaco

La Figura 4 muestra los resultados de las seis dosis de bioadsorbente. La cáscara de plátano de la variedad "Bellaco" y "Seda"; la variedad "Bellaco" muestra un mayor porcentaje de remoción en todas las dosis. Además, se evidencia que las dosis de 28 y 32 g/L son las que presentan un mayor porcentaje de remoción en comparación con la cáscara de plátano "Seda", que muestra un porcentaje menor.

Tabla 4

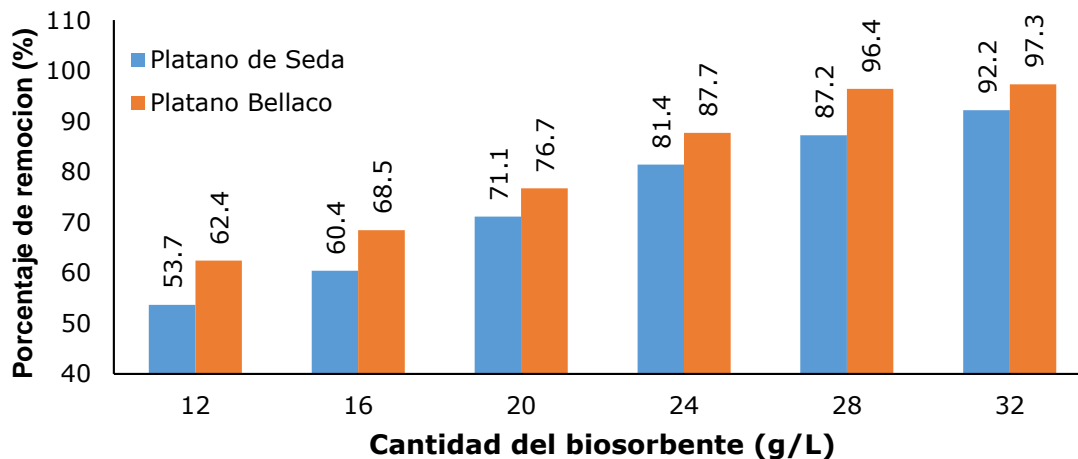
Bioadsorción del arsénico con las cáscaras de plátano Bellaco y Seda

Cantidad del bioadsorbente (g)	Concentración inicial del agua (mg As/L)	Plátano Bellaco		LMP		Plátano de Seda		LMP	
		Concentración final (mg As/L)	Norma Peruana/OMS/EPA 0.01 mg/L	% de remoción	Concentración final (mg As/L)	Norma Peruana/OMS/EPA 0.01 mg/L	% de remoción		
12	0.149	0.056	No	62.4	0.069	No	53.7		
16	0.149	0.047	No	68.5	0.059	No	60.4		
20	0.149	0.035	No	76.7	0.043	No	71.1		
24	0.149	0.018	No	87.7	0.028	No	81.4		
28	0.149	0.005	Si	96.4	0.019	No	87.2		
32	0.149	0.004	Si	97.3	0.012	No	92.2		

Además, la dosis de 28 y 32 cumplan con el LMP requeridos por la norma peruana, la norma de OMS y la norma de la EPA, para agua para consumo humano.

Figura 3

Remoción de Arsénico mediante Bioadsorción con Cáscaras de Plátano Bellaco y Seda



La figura 3 muestra las concentraciones de 24, 28 y 32 mg/L presentan mayores porcentajes de remoción de arsénico de los bioabsorbentes.

En el contexto de la investigación, se ha establecido que la eficacia de la remoción de arsénico mediante el bioadsorbente está sujeta a parámetros controlables en el proceso de adsorción, como el pH, el tamaño de partícula, la cantidad de bioadsorbente, la temperatura y la concentración de biomasa. Investigaciones previas, como las realizadas por Kamsonlian et al. (2012).

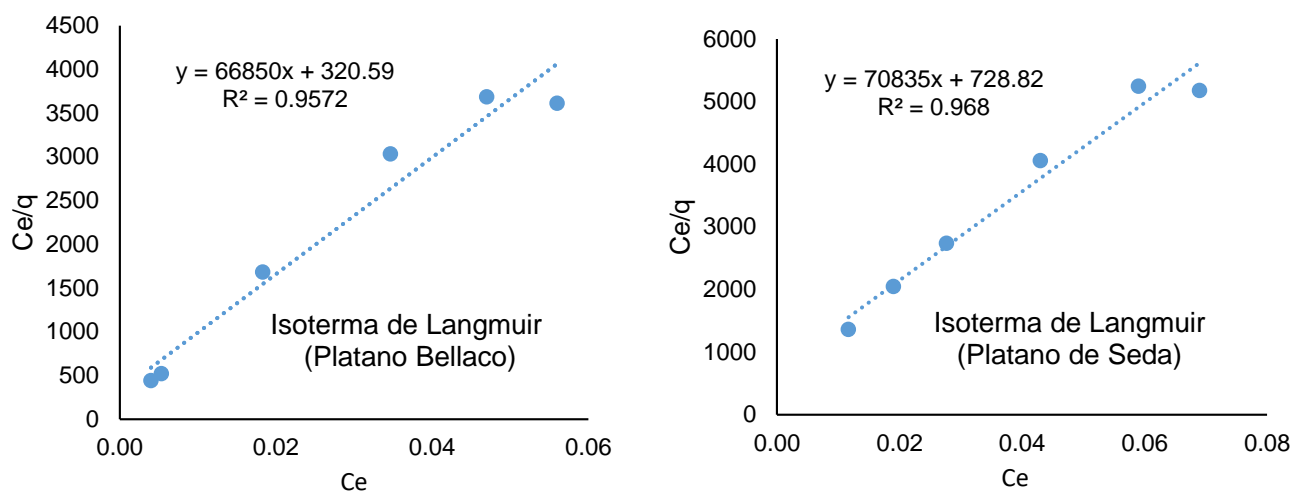
Dentro del marco de la investigación, se ha observado que la cantidad de bioadsorbente desempeña un papel crucial en la limitación de la concentración de metal adsorbido (Abdolali et al., 2016). En otras palabras, a medida que aumenta la cantidad de adsorbente, también aumenta la capacidad de adsorción, hasta alcanzar un límite máximo (Rios Elizalde, 2014). En el caso de esta investigación, se logró una remoción del 97.3% utilizando 16 gramos de bioadsorbente, llegando a dicho límite.

3.5. Isotherma de absorción de Arsénico

Los datos experimentales del equilibrio de adsorción del ion arsénico fueron evaluados utilizando los modelos de las isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich. El estudio de equilibrio refleja el comportamiento del material en el equilibrio, es decir, mediante la construcción de las siguientes gráficas es posible conocer la capacidad de adsorción de los materiales (Nurain et al., 2021). Además, mediante estos datos es posible la modelización del proceso de adsorción. Se presenta el gráfico de los valores experimentales de la adsorción específica (C_e/q) en función de la concentración del ion metálico en equilibrio (C_e) y la forma lineal de la ecuación de Langmuir, presentes en la Figuras 4.

Figura 4

Isothermas de Langmuir de la cáscara de plátanos de Bellaco y Seda



La Figura 5 muestra las gráficas obtenidas por el modelo de Freundlich de las distintas variedades de cáscara de plátano “Bellaco” y “Seda”. Asimismo, en la Tabla 7 se puede observar los datos obtenidos en la Isotherma de Freundlich de las variedades de plátano “Bellaco” y “Seda”.

Figura 5

Isotermas de Freundlich de la cáscara de plátano Bellaco y Seda

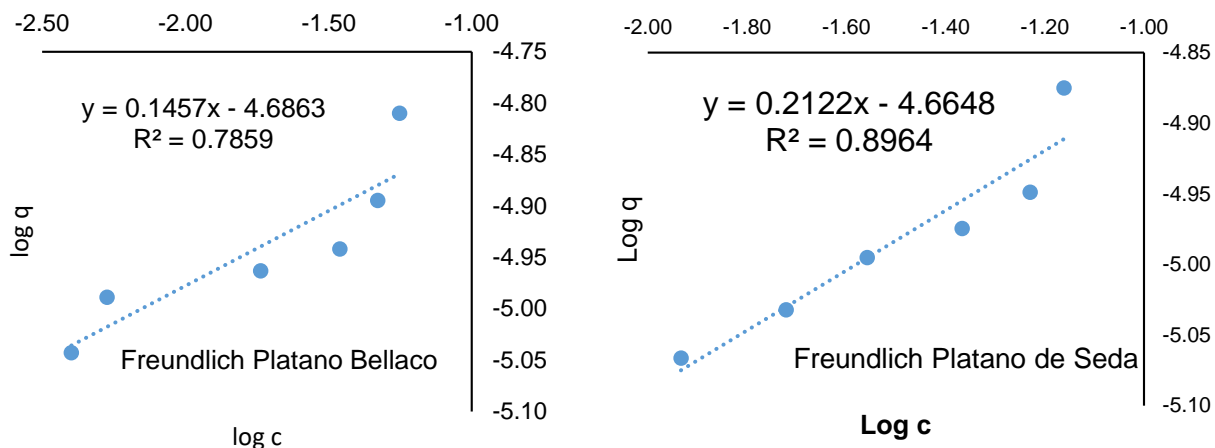


Tabla 5

Resultados de las isotermas de Langmuir y Freundlich de las cáscaras de plátano Bellaco y Seda

Isoterma de Langmuir					
Variedad	R2	Pendiente	Ordenada	Valor de B = 1/b	Valor de K = 1/kb
Seda	0.968	70835	728.82	0.0000141	97.19
Bellaco	0.957	66850	320.59	0.000015	208.52
Isoterma de Freundlich					
Variedad	R2	Pendiente	Ordenada	Valor de N = 1/n	Valor de Kd = Log(kd)
Bellaco	0.786	0.1457	-4.6863	6.863	0.0000206
Seda	0.896	0.2101	-1.668	4.76	0.0215

Aplicando la ecuación linealizada 2, la capacidad máxima de biosorción de los bioadsorbentes (q_m) es de 208.52 mg para la cáscara de plátano "Bellaco" y 97.19 mg para la cáscara de plátano "Seda". Estos resultados indican que las cáscaras de plátano Bellaco tienen una mayor capacidad de adsorción de arsénico en comparación con las de Seda. Las características esenciales de los parámetros de la isoterma de Langmuir pueden utilizarse para predecir la afinidad entre el sorbato y el sorbente, proporcionando una valiosa herramienta para la optimización del proceso de bioadsorción. Este análisis demuestra la viabilidad de

utilizar cáscaras de plátano como bioadsorbentes efectivos para la remoción de arsénico en agua destinada al consumo humano. Los datos de equilibrio para la adsorción se representan como $(\log q)$ frente a $(\log C_e)$, como se muestra en la figura 5. Las dos constantes (n) y (K) se calculan a partir de la pendiente $(1/n)$ y la intersección $(\log K)$ de la línea, respectivamente. Los valores de (K) , $(1/n)$ y el coeficiente de variación (R^2) se recogen en la tabla 5.

El valor n indica el grado de no linealidad entre la concentración de la solución y la adsorción del siguiente modo: si $(n=1)$, la adsorción es lineal; si $(n<1)$, la adsorción es un proceso físico. Una pendiente relativamente ligera y un valor pequeño de $(1/n)$ indican que la biosorción es buena en todo el intervalo de concentración. El valor de (n) en la ecuación de Freundlich resultó ser 6.863 para la cáscara de plátano Bellaco y 4.76 de Seda. El valor más alto de K (0.0215) indica la mayor capacidad de adsorción de las cáscaras de plátano.

Los datos de equilibrio para la adsorción se representan como $\log q$ frente a $\log C_e$, como se muestra en la Figura 5. Las constantes n y K se calculan a partir de la pendiente $\left(\frac{1}{n}\right)$ y la intersección $\log K$ de la línea, respectivamente. Los valores de K , $\frac{1}{n}$, y el coeficiente de determinación R^2 se presentan en la Tabla 5. El valor de n indica el grado de no linealidad entre la concentración de la solución y la adsorción: si $n = 1$, la adsorción es lineal; si $n < 1$, la adsorción es un proceso físico. Una pendiente relativamente pequeña y un valor bajo de $\frac{1}{n}$ indican que la biosorción es efectiva en todo el intervalo de concentración. El valor de n en la ecuación de Freundlich resultó ser 6.863 para la cáscara de plátano Bellaco y 4.76 para la cáscara de plátano Seda. El valor más alto de K (0.0215) sugiere una mayor capacidad de adsorción de las cáscaras de plátano Bellaco en comparación con las de Seda. Estos resultados destacan la eficiencia y el potencial de las cáscaras de plátano como bioadsorbentes para la remoción de arsénico del agua destinada al consumo humano.

Rios Elizalde (2014), concluye en su investigación basándose en sus estudios sobre la cinética de biosorción de arsénico utilizando cascara de plátano maduro en polvo, de que el modelo de Langmuir es el mejor ajuste matemático para los datos experimentales obtenidos. Esto respalda la idea de que el proceso de adsorción está controlado por una reacción química.

4. CONCLUSIONES

El agua de pozo de la zona "Salida Arequipa – Km 8" no es apta para consumo humano debido al alto contenido de arsénico. Según los puntos de carga cero (PZC) determinados para los bioadsorbentes de cáscara de plátano de las variedades "Bellaco" y "Seda", el pH óptimo de adsorción se sitúa en 5.25 y 5.70, respectivamente. Además, las biomásas de estas cáscaras presentan en su composición química un alto contenido de potasio y óxido de potasio, lo cual favorece la bioadsorción de arsénico: "Bellaco" contiene 10.384% K y 9.396% K_2O , mientras que "Seda" contiene 9.332% K y 8.421% K_2O . En consecuencia, la biomasa de plátano de la variedad "Bellaco" muestra una mayor capacidad de bioadsorción de arsénico (97.32%) en comparación con la variedad "Seda" (92.17%), aunque ambas superan el 90% de eficiencia. Así, las biomásas de ambas variedades logran remover arsénico de las aguas subterráneas hasta niveles que cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua de consumo humano establecidos por la normativa peruana y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, el modelo matemático de adsorción que mejor se ajusta a la bioadsorción de arsénico por las cáscaras de plátano "Bellaco" y "Seda" es la isoterma de Langmuir, con coeficientes de determinación (R^2) de 0.957 y 0.968, respectivamente. En resumen, estos resultados demuestran que es factible utilizar las isotermas de adsorción de las biomásas de estas variedades de plátano para remover arsénico del agua de pozo destinada al consumo humano.

REFERENCIAS

- Abdolali, A., Ngo, H. H., Guo, W., Lu, S., Chen, S. S., Nguyen, N. C., Zhang, X., Wang, J., y Wu, Y. (2016). A breakthrough biosorbent in removing heavy metals: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanism analyses in a lab-scale study. *Science of the Total Environment*, 542, 603-611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.095>
- Abid, M., Niazi, N. K., Bibi, I., Farooqi, A., Ok, Y. S., Kunhikrishnan, A., Ali, F., Ali, S., Igalavithana, A. D., y Arshad, M. (2016). Arsenic(V) biosorption by charred orange peel in aqueous environments. *International Journal of Phytoremediation*, 18(5), 442-449. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1109604>
- Aichour, A., Zaghouane-Boudiaf, H., Iborra, C. V., y Polo, M. S. (2018). Bioadsorbent beads prepared from activated biomass/alginate for enhanced removal of cationic dye from water medium: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 533-540. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.073>
- Akkaya, G., y Güzel, F. (2013). Optimization of Copper and Lead Removal by a Novel Biosorbent: Cucumber (*Cucumis Sativus*) Peels—Kinetic, Equilibrium, and Desorption Studies. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 34(10), 1295-1307. <https://doi.org/10.1080/01932691.2012.743863>
- Ali, A., Saeed, K., y Mabood, F. (2016). Removal of chromium (VI) from aqueous medium using chemically modified banana peels as efficient low-cost adsorbent. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2933-2942. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.05.011>
- Ali, R. M., Hamad, H. A., Hussein, M. M., y Malash, G. F. (2016). Potential of using green adsorbent of heavy metal removal from aqueous solutions: Adsorption kinetics, isotherm, thermodynamic, mechanism and economic analysis. *Ecological Engineering*, 91, 317-332. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.015>
- Aliabadi, M., Irani, M., Ismaeili, J., Piri, H., y Parnian, M. J. (2013). Electrospun nanofiber membrane of PEO/Chitosan for the adsorption of nickel, cadmium, lead and copper ions from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 220, 237-243. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.01.021>
- Ángel Siles López, J., Li, Q., y Thompson, I. P. (2010). Biorefinery of waste orange peel. *Critical Reviews in Biotechnology*, 30(1), 63-69. <https://doi.org/10.3109/07388550903425201>
- Cardoso Franco, C., Moreira de Castro, M., y Walter, M. E. (2015). Estudo das cascas de Banana das variedades Prata, Caturra E Maçã Na Biossorção de

Metais Pesados gerados pelos efluentes dos Laboratórios do Centro Universitário de Belo Horizonte. *E-Xacta*, 8(1), 99-115.
<https://doi.org/10.18674/exacta.v8i1.1472>

Chand, P., y Pakade, Y. B. (2013). Removal of Pb from water by adsorption on apple pomace: Equilibrium, kinetics, and thermodynamics studies. *Journal of Chemistry*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/164575>

Chávez Quijada, M. L., y Miglio Toledo, M. (2011). Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano. *Soc. Quím. Perú*, 77(4), 307-314.

Cuizano, N. A., Reyes, Ú. F., Domínguez, S., Llanos, B. P., y Navarro, A. E. (2010). Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Revista Sociedad Química Perú*, 76(2), 123-130.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v76n2/a02v76n2.pdf>

da Silva Paniagua, C. E., dos Santos Costa, B. E., Alves, V. N., y Coelho, N. M. M. (2021). Evaluation of Banana peel flour in natura and modified with Thiosemicarbazide in the Adsorption of As(III) in different aqueous matrices. *Revista Virtual de Química*, 13(2), 551-567. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20210008>

De la Cruz Echaccaya, E. F. (2018). Fluorescencia de rayos X y su aplicación en la determinación de elementos químicos en determinadas muestras. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 56.

EPA, U. (2009). National Primary Drinking Water Guidelines. *Epa 816-F-09-004*, 1, United States Environmental Protection Agency. 7p-.

Gómez Montaña, F. J., Bolado García, V. E., y Blasco López, G. (2019). Compositional and antioxidant analysis of peels from different banana varieties (*Musa spp.*) for their possible use in developing enriched flours. *Acta Universitaria*, 29, 1-14. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2260>

INACAL. (2017). Agua para Consumo Humano. Determinación de arsénico. Método de dietilditiocarbamato de plata. 2a Edición. *Norma Técnica Peruana 214.008*.

Kamsonlian, S., Balomajumder, C., y Chand, S. (2012). A Potential of biosorbent derived from banana peel for removal of As (III) from contaminated water. *International Journal of Chemical Sciences and Applications*, 3(2), 269-275.

Mihaly Cozmuta, L., Mihaly Cozmuta, A., Peter, A., Nicula, C., Bakatula Nsimba, E., y Tutu, H. (2012). The influence of pH on the adsorption of lead by Na-clinoptilolite: Kinetic and equilibrium studies. *Water SA*, 38(2), 269-278.
<https://doi.org/10.4314/wsa.v38i2.13>

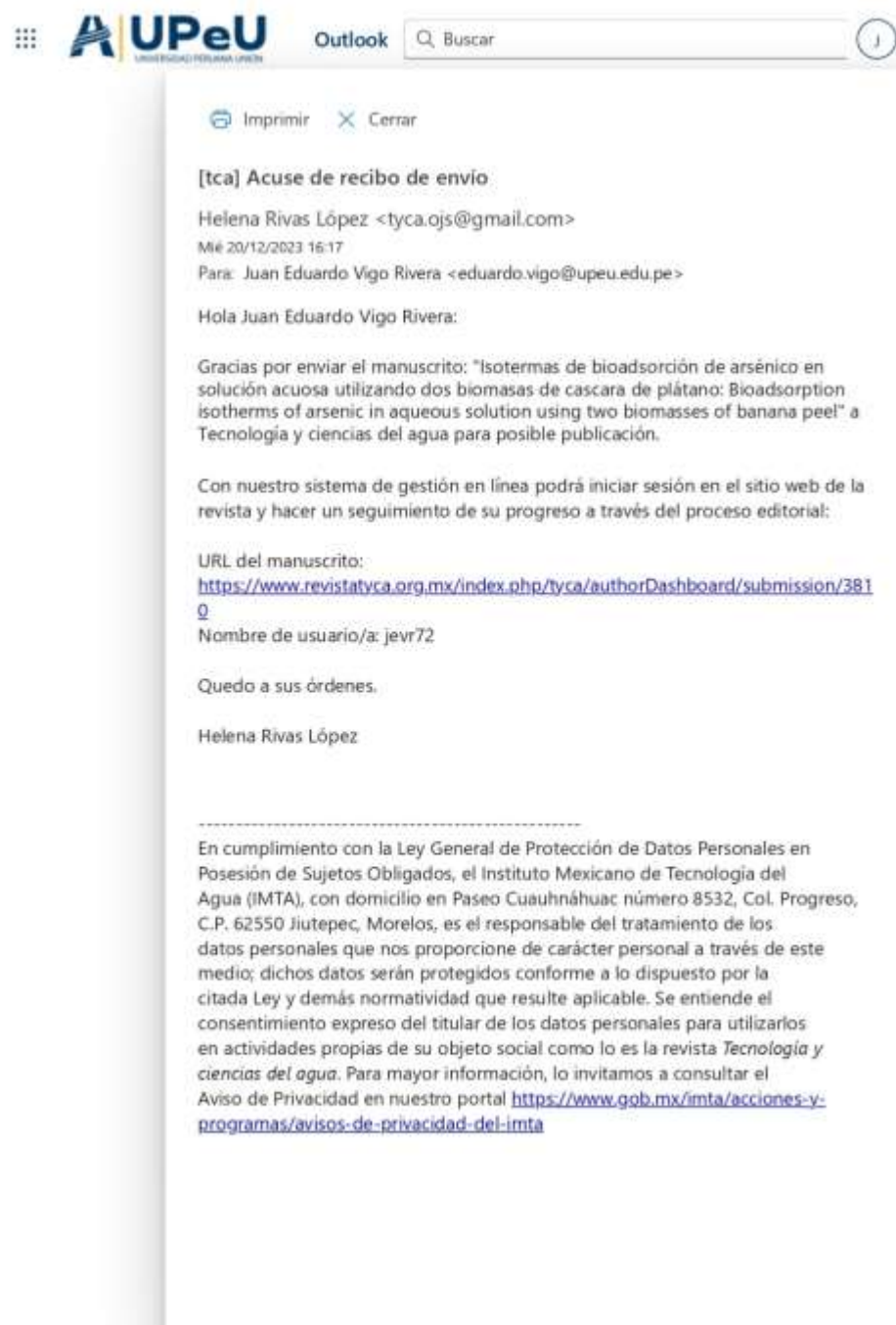
- MINSA, M. de S. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano: D.S. N ° 031-2010-SA* . <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- Miramira, B., Vilcapoma, L., y Jacay, J. (2016). Caracterización mineralógica y elemental de sedimentos sólidos de la laguna de Yantac, departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Marcapomacocha, por difracción y fluorescencia de rayos X. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(38), 91-96.
- Negroiu, M., Țurcanu, A. A., Matei, E., Râpă, M., Covaliu, C. I., Predescu, A. M., Pantilimon, C. M., Coman, G., y Predescu, C. (2021). Novel adsorbent based on banana peel waste for removal of heavy metal ions from synthetic solutions. *Materials*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/ma14143946>
- Nurain, A., Sarker, P., Rahaman, M. S., Rahman, M. M., y Uddin, M. K. (2021). Utilization of Banana (*Musa sapientum*) Peel for Removal of Pb²⁺ from Aqueous Solution. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*, 1(2), 117-128. <https://doi.org/10.47352/jmans.v1i2.89>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. *Organización Mundial de la Salud*, 4, 608. <https://bit.ly/co/7FYT>
- Ortiz Sanchez, E. Y., y Vega Calero, L. G. (2019). *Estudio de la Bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cáscara de naranja y plátano manzano*. Universidad de Guayaquil.
- Región de Salud Tacna. (2023). *Análisis de situación de Salud. Región Tacna 2023*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5285836/4748172-asis-tacna-2023-v01.pdf?v=1697487003>
- Rios Elizalde, P. E. (2014). Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo. En *Universidad Técnica de Machala*.
- Sanchez Chica, Y. L. (2018). *Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao*. Universidad Técnica de Machala.
- Srivastava, S. (2020). Arsenic in Drinking Water and Food. En *Arsenic in Drinking Water and Food*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8587-2>
- Stavrinou, A., Aggelopoulos, C. A., y Tsakiroglou, C. D. (2018). Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: Adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 6958-6970. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.10.063>

WOH. (2017). Guidelines for drinking-water quality. En *Proceedings of the Royal Society of Medicine* (Vol. 55). https://doi.org/10.5005/jp/books/11431_8

Zhao, B., y Hall, C. A. (2008). Composition and antioxidant activity of raisin extracts obtained from various solvents. *Food Chemistry*, 108(2), 511-518. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.003>

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio



Anexo 2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo aprobado por el consejo de facultad correspondiente

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

RESOLUCIÓN N° 0412-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 24 de mayo de 2022

VISTO:

El expediente de **José Antonio Capacoila Calcina**, identificado(a) con Código Universitario N° 201422184, 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 perfil de proyecto de tesis en formato articulo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **José Antonio Capacoila Calcina**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Isotermas de bioadsorción de arsénico en solución acuosa utilizando dos biomásas de cáscara de plátano" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 24 de mayo de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato articulo titulado "**Isotermas de bioadsorción de arsénico en solución acuosa utilizando dos biomásas de cáscara de plátano**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo el cual fue dictaminado por: **MSc. Rose Adeline Callata Chura** y **Ing. Veronika Aydee Pari Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Sr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo

Anexo 3. Informe de análisis de prueba piloto de remoción de arsénico



UNIVERSIDAD PERUANA UNION
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

ANALISIS DE AGUA

Solicitante: José Antonio Capacoila Calcina
 Análisis de: Agua Subterránea
 Fecha de extracción: 16/10/2023 Fecha de recepción: 16/10/2023
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante
 Lugar de muestreo: Juliaca – Puno.
 Muestra conservada: Sí

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALITICO	MUESTRA
			Muestra Inicial
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.152

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALITICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			Biodiorbente con Cascara de Plátano Belaco [g]											
			4	4	4	6	6	6	8	8	8	10	10	10
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.065	0.067	0.062	0.053	0.058	0.056	0.041	0.044	0.044	0.036	0.033	0.031

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALITICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			Biodiorbente con Cascara de Plátano de Seda [g]											
			4	4	4	6	6	6	8	8	8	10	10	10
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.073	0.076	0.076	0.065	0.063	0.058	0.057	0.054	0.052	0.045	0.044	0.041

ADVERTENCIA:

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

FECHA: 30/10/2023

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

Jefe de Laboratorio
 ING. AMBIENTAL - UPeU FJ

Ing. Glen Bryan Madrigal Pérez
 Jefe de laboratorio
 Laboratorio de Saneamiento Ambiental

Anexo 4. Informe de análisis de punto de carga cero del potencial de hidrogeno



UNIVERSIDAD PERUANA UNION
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

ANALISIS DE PUNTO DE CARGA CERO DEL PH

Solicitante: José Antonio Capacolla Calcina
 Análisis de: Análisis de Potencial de Hidrogeno
 Fecha de extracción: 25/10/2023 Fecha de recepción: 25/10/2023
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante
 Lugar de muestreo: Juliaca – Puno.
 Muestra conservada: Sí

PARAMETRO	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
		Cascara de Plátano Belfago											
		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
pH	Método electrométrico	Wadcoz leche	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
		pH inicial	7.01	7.01	7.01	7	4.02	3.99	4.99	5.01	6.04	6.04	7
		pH final	1.98	1.99	2.95	2.70	5.56	5.57	5.68	5.70	5.88	5.74	5.74

PARAMETRO	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
		Cascara de Plátano Belfago											
		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
pH	Método electrométrico	Wadcoz leche	7	8	8	9	8	18	20	11	11	13	13
		pH inicial	7	8.05	7.99	9.03	8.99	10	10.03	11	10.96	12.01	12.01
		pH final	5.78	6.5	5.54	5.54	5.56	5.02	6.04	6.6	6.5	6.83	6.81

PARAMETRO	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
		Cascara de Plátano de Seda											
		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
pH	Método electrométrico	Wadcoz leche	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
		pH inicial	7.01	7.02	7.01	7.04	4.01	3.98	5.03	4.98	6.03	6.02	7.04
		pH final	1.78	1.89	2.85	2.62	4.8	4.93	5.1	6.2	5.36	5.4	5.36

PARAMETRO	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
		Cascara de Plátano de Seda											
		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
pH	Método electrométrico	Wadcoz leche	7	8	8	9	8	10	10	11	11	12	12
		pH inicial	7.01	8.02	8.01	9	8.98	9.98	10	10.99	10.99	12	12
		pH final	5.31	5.34	5.34	3.4	5.34	5.7	5.40	6.5	6.4	5.5	6.44

ADVERTENCIA:

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

FECHA: 02/11/2023

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



Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPVU FJ

Ing. Glen Bryan Madrigal Pérez
Jefe de laboratorio
Laboratorio de Saneamiento Ambiental

Anexo 5. Informe de análisis de agua



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

ANALISIS DE AGUA

Solicitante: José Antonio Capacoila Calcina
 Análisis de: Agua Subterránea
 Fecha de extracción: 05/11/2023 Fecha de recepción: 06/11/2023
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante
 Lugar de muestreo: Juliaca – Puno.
 Muestra conservada: SI

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRA
			Muestra Inicial
Arsénico	ml/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.149

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			Adsorbente con Cascara de Plátano Bellico (g)											
			12	12	12	16	16	16	20	20	20	24	24	24
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.057	0.053	0.058	0.048	0.049	0.046	0.036	0.034	0.034	0.017	0.017	0.021

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			Adsorbente con Cascara de Plátano Bellico (g)						Adsorbente con Cascara de Plátano de Seda (g)					
			28	28	28	32	32	32	32	32	32	36	36	36
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.006	0.004	0.006	0.004	0.004	0.004	0.008	0.007	0.021	0.001	0.007	0.008

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			Adsorbente con Cascara de Plátano de Seda (g)											
			20	20	20	24	24	24	28	28	28	32	32	32
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.041	0.041	0.047	0.027	0.027	0.029	0.019	0.019	0.019	0.012	0.011	0.012

ADVERTENCIA:

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

FECHA: 20/11/2023

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


Jefe de Laboratorio
 ING. GLEN BRYAN MADRIGRAL PÉREZ
 Jefe de laboratorio
 Laboratorio de Saneamiento Ambiental

Anexo 6. Análisis de composición química por espectrometría de fluorescencia de rayos X

Anexo 6.1. análisis de composición química cascara de plátano Bellaco



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME DE ENSAYO N° 1552 – 23 – LABICER

1. **DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : JOSÉ ANTONIO CAPACOILA CALCINA
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 70131474
 - 1.3. DIRECCIÓN : –
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 11 / 12 / 2023
 - 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 13 / 12 / 2023
 - 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 20 / 12 / 2023
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X
4. **DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : CENIZA
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA TESIS : CENIZA DE CÁSCARA DE PLÁTANO BELLACO EN POLVO "ISOTERMAS DE BIOADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE POZO UTILIZANDO DOS BIOMASAS DE CÁSCARA DE PLÁTANO"
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : ENVASE PLÁSTICO
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.5°C; Humedad relativa: 62%
7. **RESULTADOS**
 - 7.1. **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ¹⁾
Materia orgánica	86.919	%	MTC E118
Potasio, K	10.384	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ²⁾
Silicio, Si	0.820	%	
Calcio, Ca	0.798	%	
Estaño, Sn	0.383	%	
Fósforo, P	0.332	%	
Hierro, Fe	0.223	%	
Azufre, S	0.063	%	
Manganeso, Mn	0.026	%	
Rubidio, Rb	0.019	%	
Zinc, Zn	0.014	%	
Estroncio, Sr	0.010	%	
Cobre, Cu	0.008	%	

¹⁾ Método de ensayo de referencia o técnica aceptada por el cliente.

²⁾ Balanceo de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Método semicuantitativo en atmósfera de vacío. Equipo: Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X de energía dispersiva SHIMADZU, EDX-800HS.



7.2. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADA EN ÓXIDOS

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Materia orgánica	86.919	%	MTC E118
Óxido de potasio, K ₂ O	9.396	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(2,3)
Óxido de silicio, SiO ₂	1.523	%	
Óxido de calcio, CaO	0.773	%	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.646	%	
Óxido de estaño, SnO ₂	0.329	%	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.218	%	
Óxido de azufre, SO ₃	0.133	%	
Óxido de manganeso, MnO	0.023	%	
Óxido de rubidio, Rb ₂ O	0.014	%	
Óxido de zinc, ZnO	0.012	%	
Óxido de estroncio, SrO	0.008	%	
Óxido de cobre, CuO	0.006	%	

⁽¹⁾ Método de ensayo o de referencia o técnica aceptada por el cliente.

⁽²⁾ Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío. Equipo: Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X de energía dispersiva. SHIMADZU, EDX-800HS.

⁽³⁾ Resultados expresados en óxidos según pedido del cliente.

8. VALIDEZ DEL INFORME DE ENSAYO

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas, descrita(s) en el ítem 4 del presente documento.


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista
LABICER –UNI




W.Sc. Ily Marilú Maza Mejía
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

NOTAS:

- LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
- LABICER-UNI no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, incluidos en los ítems 1 y del 4.1 al 4.2 del presente documento.
- Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de ceniza de cáscara de plátano bellaco en polvo



FIGURA N°2. Mufla DAIHAN SCIENTIFIC



FIGURA N°3. Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva (SHIMADZU, EDX-800HS).



Anexo 6.2. análisis de composición química cascara de plátano de Seda



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME DE ENSAYO N° 1551 – 23 – LABICER

1. **DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : JOSÉ ANTONIO CAPACOILA CALCINA
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 70131474
 - 1.3. DIRECCIÓN : --
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 11 / 12 / 2023
 - 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 13 / 12 / 2023
 - 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 20 / 12 / 2023
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X
4. **DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : CENIZA
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA TESIS : CENIZA DE CÁSCARA DE PLÁTANO DE SEDA EN POLVO "ISOTERMAS DE BIOADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE POZO UTILIZANDO DOS BIOMASAS DE CÁSCARA DE PLÁTANO"
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : ENVASE PLÁSTICO
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.5°C; Humedad relativa: 62%
7. **RESULTADOS**
 - 7.1. **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Materia orgánica	86.940	%	MTC E118
Potasio, K	9.332	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Cloro, Cl	1.129	%	
Silicio, Si	0.845	%	
Calcio, Ca	0.766	%	
Magnesio, Mg	0.322	%	
Fósforo, P	0.245	%	
Estaño, Sn	0.239	%	
Hierro, Fe	0.069	%	
Azufre, S	0.053	%	
Manganeso, Mn	0.018	%	
Rubidio, Rb	0.018	%	
Estroncio, Sr	0.009	%	
Zinc, Zn	0.008	%	
Bromo, Br	0.005	%	

⁽¹⁾ Método de ensayo de referencia o técnica aceptada por el cliente.

⁽²⁾ Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío. Equipo: Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X de energía dispersiva SHIMADZU, EDX-800HS.





INFORME DE ENSAYO Nº 1551 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : JOSÉ ANTONIO CAPACOILA CALCINA
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 70131474
 - 1.3. DIRECCIÓN : –
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 11 / 12 / 2023
 - 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 13 / 12 / 2023
 - 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 20 / 12 / 2023
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : CENIZA
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA TESIS : CENIZA DE CÁSCARA DE PLÁTANO DE SEDA EN POLVO "ISOTERMAS DE BIOADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE POZO UTILIZANDO DOS BIOMASAS DE CÁSCARA DE PLÁTANO"
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : ENVASE PLÁSTICO
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.5°C; Humedad relativa: 62%
- 7. RESULTADOS**
 - 7.1. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Materia orgánica	86.940	%	MTC E118
Potasio, K	9.332	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Cloro, Cl	1.129	%	
Silicio, Si	0.845	%	
Calcio, Ca	0.766	%	
Magnesio, Mg	0.322	%	
Fósforo, P	0.245	%	
Estaño, Sn	0.239	%	
Hierro, Fe	0.069	%	
Azufre, S	0.053	%	
Manganeso, Mn	0.018	%	
Rubidio, Rb	0.018	%	
Estroncio, Sr	0.009	%	
Zinc, Zn	0.008	%	
Bromo, Br	0.005	%	

⁽¹⁾ Método de ensayo de referencia o técnica aceptada por el cliente.

⁽²⁾ Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío. Equipo: Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X de energía dispersiva SHIMADZU, EDX-800HS.



7.2. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADA EN ÓXIDOS

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Materia orgánica	86.940	%	MTC E118
Óxido de potasio, K ₂ O	8.421	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(2,3)
Óxido de silicio, SiO ₂	1.574	%	
Cloro, Cl	0.936	%	
Óxido de calcio, CaO	0.744	%	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.478	%	
Óxido de magnesio, MgO	0.473	%	
Óxido de estaño, SnO ₂	0.207	%	
Óxido de azufre, SO ₃	0.112	%	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.068	%	
Óxido de manganeso, MnO	0.016	%	
Óxido de rubidio, Rb ₂ O	0.013	%	
Óxido de estroncio, SrO	0.008	%	
Óxido de zinc, ZnO	0.007	%	
Bromo, Br	0.004	%	

⁽¹⁾ Método de ensayo o de referencia o técnica aceptada por el cliente.

⁽²⁾ Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío. Equipo: Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X de energía dispersiva, SHIMADZU, EDX-800HS.

⁽³⁾ Resultados expresados en óxidos según pedido del cliente.

8. VALIDEZ DEL INFORME DE ENSAYO

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas, descrita(s) en el ítem 4 del presente documento.


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista
LABICER –UNI




W.Sc. Ily Marilú Maza Mejía
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

NOTAS:

- LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
- LABICER-UNI no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, incluidos en los ítems 1 y del 4.1 al 4.2 del presente documento.
- Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de ceniza de cáscara de plátano de seda en polvo.



FIGURA N°2. Mufia DAIHAN SCIENTIFIC



FIGURA N°3. Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva (SHIMADZU, EDX-800HS).



Anexo 7. Panel fotográfico

Anexo 7.1. Limpieza y desecado de la cascara de plátano



Anexo 7.2. pulverización y pesado de la cascara de plátano



Anexo 7.3. Análisis del efecto del potencial de hidrogeno de la cascara de plátano Bellaco y Seda



Anexo 7.4. filtración de la muestra de arsénico con el bioadsorbente de cascara de plátano Bellaco y Seda

