

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



**Uso de las cáscaras leguminosas andinas (tarwi y haba) para la
remoción de arsénico en aguas para consumo humano**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Monica Bertha Quellca Escobedo
Gloria Haydeé Sanchez Quispe

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, junio 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: **“USO DE LAS CÁSCARAS LEGUMINOSAS ANDINAS (TARWI Y HABA) PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO”** de los autores **Monica Bertha Quellca Escobedo** y **Gloria Haydeé Sanchez Quispe** tiene un índice de similitud de 5 % 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 13 días del mes de junio del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 13 día(s) del mes de junio del año 2024 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing Nancy Curasi Rafael el (la) secretario(a): Msc Miguel Angel Salcedo Enriquez y los demás miembros: Msc Layda Abigail Pando Lopez
Ing Verónica Haydeé Pazi 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:
Uso de las cáscaras leguminosas andinas (lente y haba) para la remoción de arsénico en aguas para consumo humano

del(los) bachiller(es): a) Monica Bertha Quella Escobedo

b) Gloria Haydeé Sanchez Quipe

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): Monica Bertha Quella Escobedo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Bachiller (b): Gloria Haydeé Sanchez Quipe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</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]
 Secretario/a
[Firma]
 Miembro
 Bachiller (c)

AGRADECIMIENTOS

Monica Bertha Quellca Escobedo

A Dios por haberme acompañado y guiado en todo este proceso.
A mi familia, Santusa Bonifacia Escobedo Madariaga y Solin Roamir
Quellca Escobedo por brindarme su apoyo y motivación.

Gloria Haydeé Sanchez Quispe

A Dios por haberme acompañado y guiado en todo este proceso.
A mis padres Luis Hugo Sanchez Mamani y Florentina Quispe Zapana
por su apoyo incondicional y por la confianza.

DEDICATORIA

Monica Bertha Quellca Escobedo

A Dios, por permitirme realizar esta investigación que ayudará a estudiantes y
futuros profesionales.

A mi madre Bonifacia por darme ánimos.

A mi hermano Solin por alentarme en malos momentos.

A mis hermanitos: Mauricio, Cielo, Alejandro y Lucero por darme el
estímulo necesario.

Gloria Haydeé Sanchez Quispe

A Dios, por su inmenso amor y por haberme permitido llegar hasta donde
estoy.

A mis queridos padres: Luis Hugo y Florentina por motivarme, apoyarme y ser
parte de esta meta soñada.

A mis hermanos: Beatriz, Cristobal, Raquel, también a mi sobrino Luis
Fernando y a mi cuñada Clendy por darme consejos y ánimos durante mi
trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	viii
Resumen.....	9
Abstract.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1. Recolección de muestra.....	14
2.2. Preparación de adsorbente “Tarwi y Haba”.....	14
2.3. Pre – tratamiento del Arsénico.....	14
2.4. Tratamiento para la remoción de arsénico.....	15
2.5. Procesamiento de Datos.....	16
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
3.1. Caracterización de las cáscaras “Tarwi y Haba” antes y después de la adsorción.....	19
3.2. Efecto de la concentración de las biomosas.....	25
3.3. Isotermas de Adsorción.....	28
4. CONCLUSIONES.....	31
5. REFERENCIAS.....	32
6. ANEXOS.....	40

Índice de tablas

Tabla 1 Diseño estadístico experimental.....	17
Tabla 2 Frecuencia de adsorción del espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Tarwi	20
Tabla 3 Frecuencia de adsorción del espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Haba.....	24
Tabla 4 Porcentajes de remoción de los adsorbentes (biomasas cáscara de Tarwi y Haba)....	27
Tabla 5 Parámetros de las isothermas de adsorción de Langmuir y Temkin	30

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso.....	16
Figura 2 Espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Tarwi antes (a) y después (b) de la remoción de Arsénico.	19
Figura 3 Espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Haba antes (a) y después (b) de la remoción de Arsénico.	22
Figura 4 Efecto de la dosis del adsorbente sobre la eficiencia de remoción de arsénico usando biomasas cáscaras de Tarwi y Haba.	26
Figura 5 Isotherma de adsorción – Langmuir de la biomasa cáscara de Tarwi.....	28
Figura 6 Isotherma de adsorción – Langmuir de la biomasa cáscara de Haba.....	28
Figura 7 Isotherma de adsorción – Temkin de la biomasa cáscara de Tarwi.....	29
Figura 8 Isotherma de adsorción – Temkin de la biomasa cáscara de Haba.....	29

Índice de anexos

Anexo 1 Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio	40
Anexo 2 Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo aprobado por el consejo de facultad correspondiente	41
Anexo 3 Informe de caracterización de biomosas cáscaras de Tarwi y Haba antes del tratamiento	42
Anexo 4 Informe de caracterización de biomosas cáscaras de Tarwi y Haba después del tratamiento	48
Anexo 5 Informe de resultados de análisis de agua	54
Anexo 6 Panel fotográfico	55

Uso de las cáscaras leguminosas andinas (tarwi y haba) para la remoción de arsénico en aguas para consumo humano

Resumen

La contaminación por arsénico en el agua de consumo humano es una preocupación significativa en el altiplano peruano, particularmente en áreas rurales con acceso limitado al agua potable. Este estudio investigó la eficiencia de las cáscaras de leguminosas andinas, Tarwi (*Lupinus mutabilis*) y Haba (*Vicia faba L.*), para la adsorción de arsénico en agua destinada al consumo humano. Las biomásas fueron lavadas, secadas, trituradas y tamizadas, y caracterizadas mediante FTIR-ATR para identificar los grupos funcionales. Se utilizaron 20 litros de agua subterránea de Juliaca con 0.132 mg/l de arsénico. El agua fue oxidada con H₂O₂ bajo luz solar durante 8 horas y se realizó un test de jarras a 120 rpm durante 90 minutos y 30 minutos de reposo. Se empleó un diseño factorial 2A x 5B (A: tipo de leguminosa, B: concentración de biomásas) en triplicado. Se probaron masas de 2, 4, 6, 8 y 10 gramos de bioadsorbente en 500 ml de agua, ajustando el pH a 5.2 para Tarwi y 5.5 para Haba. Los mejores resultados de remoción se lograron con 10 gramos de bioadsorbente, alcanzando una reducción del 67.8% con Tarwi y del 52.3% con Haba. Ambas leguminosas mostraron grupos funcionales con oxígeno (OH, C=O y C-O) que facilitan la adsorción de arsénico. La isoterma de Langmuir se ajustó bien a los datos experimentales, con coeficiente de determinación (R²) de 0.9531 para Tarwi, y 0.8944 para Haba, con capacidad de absorción de 0.00560 mg/g para Tarwi y 0.00448 mg/g para Haba. Estos resultados sugieren que las cáscaras de Tarwi y Haba son efectivas para la remoción de arsénico en agua de consumo humano, ofreciendo una solución sostenible y accesible para las comunidades rurales del altiplano peruano.

Palabras clave: agua subterránea, arsénico, bioadsorbente natural cáscara de leguminosas andinas.

Use of Andean legume shells (tarwi and bean) for the removal of arsenic in water for human consumption

Abstract

Arsenic contamination in drinking water is a significant concern in the Peruvian highlands, particularly in rural areas with limited access to drinking water. This study investigated the efficiency of the husks of Andean legumes, Tarwi (*Lupinus mutabilis*) and Faba (*Vicia faba* L.), for the adsorption of arsenic in water intended for human consumption. The biomasses were washed, dried, crushed and sieved, and characterized by FTIR-ATR to identify functional groups. 20 liters of groundwater from Juliaca with 0.132 mg/l of arsenic were used. The water was oxidized with H₂O₂ under sunlight for 8 hours and a jar test was performed at 120 rpm for 90 minutes and 30 minutes of rest. A 2A x 5B factorial design (A: legume type, B: biomass concentration) was used in triplicate. Masses of 2, 4, 6, 8 and 10 grams of bioadsorbent in 500 ml of water were tested, adjusting the pH to 5.2 for Tarwi and 5.5 for Haba. The best removal results were achieved with 10 grams of bioadsorbent, reaching a reduction of 67.8% with Tarwi and 52.3% with Haba. Both legumes showed functional groups with oxygen (OH, C=O and C-O) that facilitate arsenic adsorption. The Langmuir isotherm fit well to the experimental data, with coefficients of determination (R^2) of 0.9531 for Tarwi, and 0.8944 for Haba, with absorption capacity of 0.00560 mg/g for Tarwi and 0.00448 mg/g for Haba. These results suggest that Tarwi and Haba peels are effective for removing arsenic in drinking water, offering a sustainable and accessible solution for rural communities in the Peruvian highlands.

Keywords: groundwater, arsenic, natural bioadsorbent shell of andean legumes.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el arsénico (As) es un elemento tóxico que se encuentra de forma natural (Khaskheli et al., 2011). Y puede estar de forma antropogénica por “combustión de carbón, fundición de minerales de metales básicos, aplicación de pesticidas, el arseniato de cobre cromado para la conservación de la madera y las actividades mineras” (Kumar et al., 2016). El arsénico está presente en distintos lugares siendo los casos más sobresalientes en: Ghana, Grecia, Tailandia, Chile, Perú, Bolivia, Brasil, México y EE.UU, pero muchas de ellas presentan concentraciones de $50 \mu\text{g l}^{-1}$ que es un valor alto en toxicidad, y se torna en una amenaza para la salud humana (Alarcón et al., 2012, p. 28). Más de 2500 millones de personas dependen del consumo diario de aguas subterráneas (Shaji et al., 2021).

En muchas partes del Perú como Arequipa, Puno, Tacna y Tarma presentan valores superiores a 0.0566 mg As/l (Chumbes, 2018, p. 14). En otras zonas del Perú, como Amazonas no solo existe el riesgo del As, sino otros elementos con altas concentraciones de aluminio en aguas subterráneas que son usadas como agua potable (Agencia EFE, 2018). También en el norte del Perú en Mórrope – Lambayeque, en 14 localidades determinaron la presencia de As en pozos destinados para consumo humano con concentraciones de 0.07, 0.5 y hasta 1 mg/l (Andina, 2018). En el altiplano peruano en la ciudad de Juliaca, Huaracha y Quispe (2020) determinaron concentraciones de As de 0.046, 0.057, 0.066, $0,069 \text{ mg/l}$, en 10 pozos de aguas destinadas para el consumo humano en la zona denominada Salida a Lampa. En la misma ciudad Apaza (2020), determinó concentraciones de As con valores de 0.038 a 0.213 mg/l en la Urbanización Santa Adriana.

El límite máximo permisible de arsénico (As) en agua potable es consistentemente establecido en 0.01 mg/L ($10 \mu\text{g/L}$) por diversas entidades. En Perú, el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo N° 031-2010-SA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus "Guías para la Calidad del Agua Potable", y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en sus "Regulaciones Nacionales Primarias de Agua

Potable" fijan este mismo estándar. Este requerimiento uniforme refleja la preocupación global por la salud pública y la protección del consumidor frente a los efectos adversos del arsénico en el agua potable.

Gran parte de la población cuenta con pozos tubulares, debido a que el servicio de agua potable Seda Juliaca no llega a beneficiar a la mayoría de la población. Mamani (2019) afirma que el agua subterránea tiene altos niveles de As y los pobladores no tienen aún el conocimiento que están consumiendo agua con este metal, causándoles daños a la salud. Este metal puede causar: daños al sistema nervioso, diabetes mellitus, problemas cardiovasculares, cáncer de piel, hipertensión, entre otras enfermedades (Chakrabarti, 2018). También afecta al medio natural, como a la flora y fauna que podría provocar disminución de especies ya que afecta a la reproducción y al crecimiento (Kaur et al., 2024).

Existen métodos de tratamiento con diferentes biomásas provenientes de la naturaleza como algas, cáscaras de fruta, hongos, taninos, desechos agrícolas, bacterias, etc (Peralta, 2021, p. 28). Siendo utilizados en la remoción de metales pesados como el Hg, As, Pb y entre otros (Tejada et al., 2015, p. 30). Asimismo, los residuos agrícolas cuentan con hemicelulosa, tanino, lignina, lípidos, azúcares y variedades de grupos funcionales ayudando al adsorbente tener una mayor capacidad de adsorción (Montes, 2014, p. 33). La adsorción es un proceso por el cual un contaminante es eliminado del agua por la presencia de una sustancia sólida (Ordoñez, 2020).

El Tarwi es una leguminosa herbácea originario de las zonas alto andinas del Perú como también de Bolivia, Ecuador y Colombia (Tapia, 2015, p. 11). Se realizó una investigación para remover plomo de 2.5mg/L a 0.246mg/L con cáscara de tarwi (Terrones, 2021). También se realizó otra investigación para remover Plomo (II) obteniendo 96.021% de remoción (Albarracín, 2014). Así también se removió cadmio (II), plomo (II) y níquel (II) utilizando bioadsorbente acuoso de Tarwi (Choque, 2017). El Haba siendo también una leguminosa, que se consume en diferentes partes del mundo, como en Europa, África, América Latina, China e India, por lo que cantidades

masivas de cáscaras se eliminan como desechos (Bayomie et al., 2020). También en la Región de Puno, el Haba (*vicia faba L.*) es una de las leguminosas de grano más cultivadas y consumidas por la población (INIA, 2013). Se realizó una investigación con diferentes materiales absorbentes que son de bajo costo, donde la cáscara de Haba fue el eficaz para eliminar Cd teniendo una capacidad máxima de sorción de 147.71 mg/g en soluciones acuosas (Benaïssa, 2006). También utilizaron polvo de habas para la eliminación de iones de metales pesados como Pb(II), Cd(II) y Zn(II) teniendo el porcentaje de 92.86 y 36.86% de remoción (Etorki et al., 2014).

Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier – Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR) se usa para identificar la composición química de materiales adsorbentes como polímeros (López y Chércoles, 2022, p. 9). Existe una zona conocida como región de los grupos funcionales, a partir de 1500 a 4000 cm^{-1} donde se identifican posibles picos provenientes de los grupos funcionales (Mondragón, 2020). Una isoterma de adsorción describe el comportamiento del contaminante adsorbido a una temperatura constante (Murillo et al., 2015). Las isotermas de adsorción tienen dos formas de realizarse, dado que los gráficos tienen el uso de ecuaciones de forma lineal y no lineal, las dos formas son correctas de usar por lo que se prefiere la forma lineal debido a que es más fácil el manejo de los datos recolectados (Loya, 2022, p. 65).

La presente investigación evaluó la capacidad de las biomasas de cáscaras leguminosas andinas (Tarwi y Haba) para remover arsénico en agua para consumo humano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Recolección de muestra

Las muestras de agua subterránea se tomó del pozo tubular de una vivienda de la urbanización Santa Adriana con coordenadas UTM (zona 19 sur) Este: 0376028, Norte: 8287968 y Altitud: 3837 msnm, para los análisis fisicoquímico se recolectó de acuerdo al “Protocolo de procedimientos para la toma de muestra, preservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano” R.D. N° 160-2015-DIGESA-SA aprobado por el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, así mismo las muestras se analizaron en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión - FJ y se usó 20 litros de agua subterránea para los ensayos.

2.2. Preparación de adsorbente “Tarwi y Haba”

Se adquirió localmente 6 kilos de Tarwi (*Lupinus mutabilis*) seco y 10 kilos de Haba (*Vicia faba L.*) fresca. Primeramente, se separó los residuos no deseados de las leguminosas, el Tarwi se remojo por 24 horas con agua destilada, Tarwi y Haba se procedió a lavar y se retiraron las cáscaras. Se dejó secar las cáscaras a temperatura ambiente por 6 días, se trituró las cáscaras con un molinillo manual, se tamizó en tamiz W.S. TYLER N°60 obteniendo una granulometría de 250 μm (0.25mm), luego se secó en una estufa BINDER-ED 53 a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 40 min. Se almaceno en frascos para los ensayos y se envió al laboratorio acreditado LABICER-UNI para la caracterización de las biomásas antes y después de la remoción de arsénico por el método FTIR-ATR con el equipo FTIR. PERKIN ELMER, FROMTIER.

2.3. Pre – tratamiento del Arsénico

Primeramente, es necesario oxidar el arsénico; de arsénico trivalente (III) a arsénico pentavalente (V) antes del tratamiento, ya que el As III es más difícil de remover que el As V

(Aryal et al., 2010). Existen sustancias oxidantes como el óxido de hierro, dióxido de manganeso, dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno (Cuong et al., 2022). En este estudio se escogerá el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) también conocido como agua oxigenada. Para dicho proceso se aplicarán los siguientes pasos: A la muestra de agua obtenida de 20L se añadirá 5 ml de H_2O_2 y se expondrá a los rayos del sol por 8 horas (Turpo et al., 2022), esto se realizará en un material incoloro u otro recipiente transparente para una completa irradiación solar.

2.4. Tratamiento para la remoción de arsénico

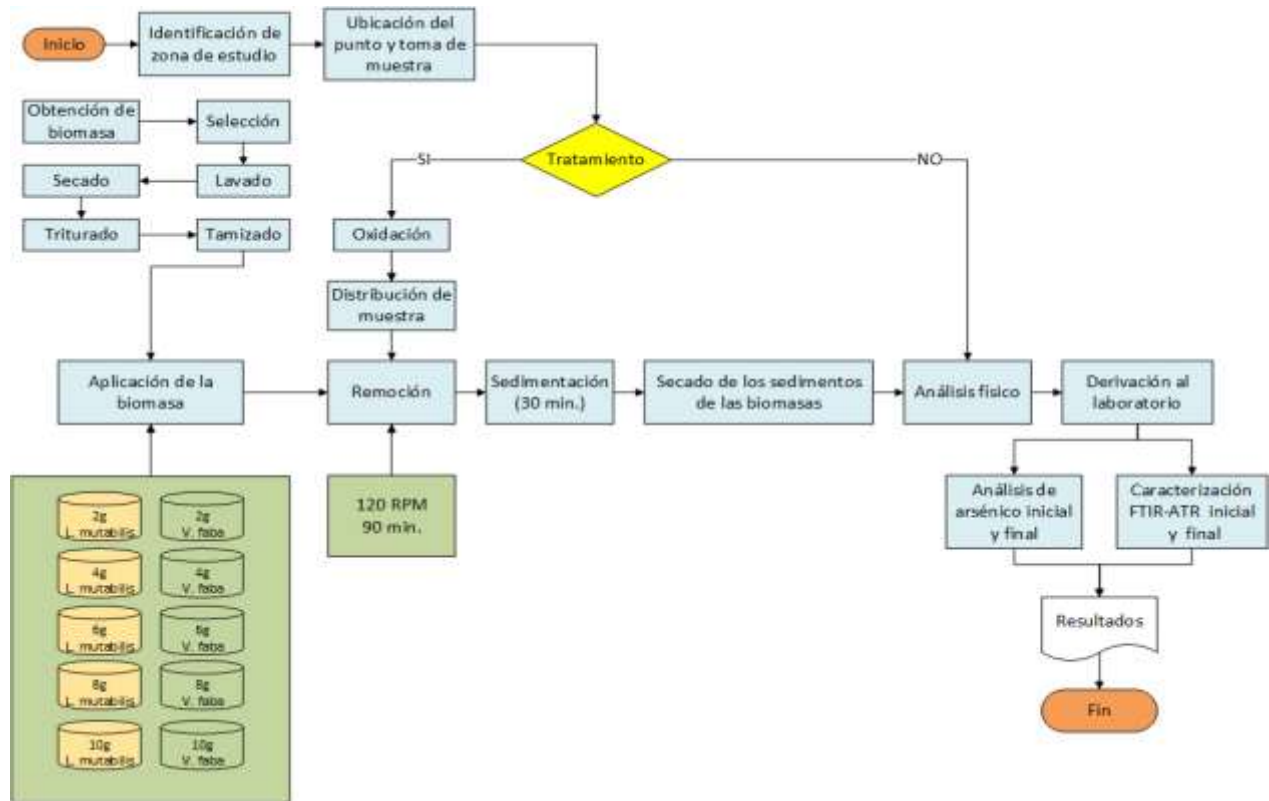
Después de la pre oxidación en vasos precipitados se colocó 500 ml de agua, se ajustó el pH con una solución de ácido clorhídrico al 0.1N (pureza 37%) para el Tarwi 5.2 y para el Haba 5.5 usando un agitador magnético VELP, seguidamente se colocaron los vasos al equipo de prueba de jarras VELT, se agregó el adsorbente en cantidades de: 2, 4, 6, 8 y 10g, se programó el equipo con una agitación de 120 rpm durante 90 min, con tiempo de sedimentación de 30 min.

Luego del tratamiento se pasó a filtrar y se tomaron muestras para su respectivo análisis. Los análisis se realizaron por triplicado. El sedimento que quedó en el papel filtro de cada vaso se pasó a retirar y se colocó a la estufa a 120°C por 16 horas para realizar la caracterización final con el método FTIR-ATR.

A continuación, la figura 1 muestra el diagrama de proceso.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso.



Procesamiento de Datos

La capacidad de remoción se determinó con la siguiente formula (Leyva et al., 2001).

$$R\% = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100 \tag{1}$$

Dónde: R es el porcentaje de remoción (%), C_0 es la concentración inicial (mg/l As) y C_f es la concentración final (mg/l As).

Los datos obtenidos se recolectaron en Excel, utilizando el diseño factorial 2A x 5B=10 por triplicado haciendo un total de 30 unidades experimentales, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1*Diseño estadístico experimental*

Factor A		Factor B			
Leguminosas	Concentración de biomasa (g/L)				
Andinas	b1: 4	b2: 8	b3: 12	b4: 16	b5: 20
a1: Tarwi	a1, b1, R1	a1, b1, R1	a1, b3, R1	a1, b4, R1	a1, b5, R1
	a1, b1, R2	a1, b2, R2	a1, b3, R2	a1, b4, R2	a1, b5, R2
	a1, b2, R3	a1, b2, R3	a1, b3, R3	a1, b4, R3	a1, b5, R3
a2: Haba	a2, b1, R1	a2, b2, R1	a2, b3, R1	a2, b4, R1	a2, b5, R1
	a2, b1, R2	a2, b2, R2	a2, b3, R2	a2, b4, R2	a2, b5, R2
	a2, b1, R3	a2, b2, R3	a2, b3, R3	a2, b4, R3	a2, b5, R3

Las isotermas de adsorción se determinaron con las siguientes ecuaciones:

Ecuación linealizada de Langmuir (Adrian y Vizcarra, 2022, p. 47).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad (2)$$

Donde q_e es la masa de soluto adsorbido por el adsorbente (mg adsorbato/g de adsorbente), C_e concentración en el equilibrio del adsorbato (mg/l), q_{max} es la cantidad máxima de adsorbato adsorbida por el adsorbente (mg adsorbato/g de adsorbente), K_L es la constante de adsorción de Langmuir (L/mg).

Ecuación de la Recta $Y=a+mx$; donde a es el intercepto y m es la pendiente de la recta.

Para determinar el factor de separación:

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \quad (3)$$

Dónde: K_L es la constante de Langmuir (mg g^{-1}) y C_0 es concentración inicial de adsorbato (mg g^{-1}), El valor de R_L es desfavorable cuando $R_L > 1$, lineal cuando $R_L = 1$, favorable cuando $0 < R_L < 1$ y es irreversible cuando $R_L = 0$ (Ayawei et al., 2017).

Ecuación linealizada de Temkin (Adrian y Vizcarra, 2022).

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T) + \frac{RT}{b} \ln(C_E) \quad (4)$$

Donde R es la constante de los gases ideales ($8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{k}^{-1}$), T es la temperatura absoluta (K), b es la variación de la energía de adsorción (J.mol^{-1}), K_T es la constante de equilibrio de Temkin (L.g^{-1}), q_e es la cantidad de soluto retenido en el adsorbente en el equilibrio (mg.g^{-1}) y C_e es la concentración del soluto en la solución en el equilibrio (mg.L^{-1}).

Ecuación de la recta $Y= a+mx$, donde a es el intercepto y m es la pendiente.

Ecuación para calcular la capacidad de adsorción en el equilibrio (Andrade, 2007, p. 21).

$$q_e = \frac{V}{M} (C_0 - C_e) \quad (5)$$

Dónde: q_e es masa de soluto adsorbido por el adsorbente (mg adsorbato/ g de adsorbente), C_0 es la concentración inicial del adsorbato (mg/L), C_e es la concentración del adsorbato en el equilibrio (mg/L), V es el volumen de la fase acuosa (L) y M es la masa del adsorbente (g).

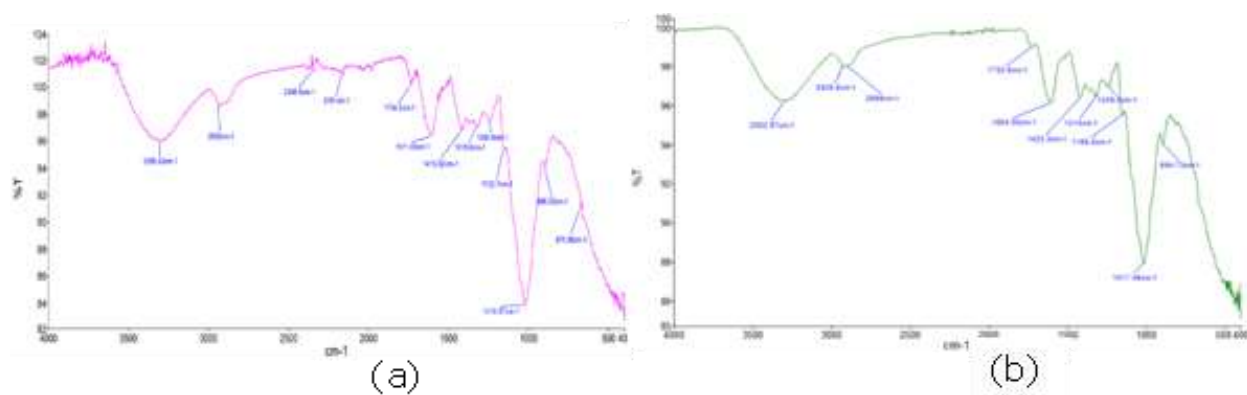
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de las cáscaras “Tarwi y Haba” antes y después de la adsorción

Se caracterizó por el método de Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier- Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) de los bioadsorbentes cáscara de Tarwi (*Lupinus mutabilis*) y cáscara de Haba (*Vicia faba* L). Con el fin de determinar los grupos funcionales responsables de la eliminación de As, antes y después del tratamiento (Verma et al., 2019). Donde el eje X es denominado como número de onda (cm^{-1}) y el eje Y es el porcentaje de transmitancia (%T), los espectros muestran una serie de picos o también llamadas bandas de adsorción, los cuales presentan diferentes intensidades (Mondragón, 2020, p. 50).

Figura 2

Espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Tarwi antes (a) y después (b) de la remoción de Arsénico.



Se observa en la figura 2; el antes y el después del proceso de adsorción de arsénico mostrando los resultados. Según (Skoog et al., 2015, p. 753), el número de onda entre 3600 a 3000 cm^{-1} pertenece al grupo alifáticos y aromáticos; enlace O-H, entre este grupo se encuentran los espectros de 3295.63 cm^{-1} (antes) y 3302.87 cm^{-1} (después). Entre la zona 2922 a 2853 que se asocia al grupo C-H de los ácidos grasos se encuentran los picos de frecuencia de 2933.00 cm^{-1} (antes) y 2928.80, 2899.00 cm^{-1} (después) (Bryson, 2023, p. 88).

El rango de 2500 a 2100 cm^{-1} está relacionado con C=C conjugado y C-C, dentro de este rango se encuentran los espectros 2346.60 y 2161.00 cm^{-1} (antes) (Husien et al., 2023, p. 4). Las bandas 1734.20 (antes) y 1732.60 (después), están cercanas a 1744 relacionadas con el estiramiento del enlace C=O éster carbonilo de los lípidos presentes en los triglicéridos y fosfolípidos (Bryson, 2023). Los picos de 1611.09 cm^{-1} (antes) y 1604.00 cm^{-1} (después); pertenecen al grupo carbonilo peptídico C=O que se encuentran entre 1700 a 1600 cm^{-1} (Sabelino, 2020, p. 72). La zona 1458 a 1375 cm^{-1} según (Bryson, 2023), está relacionada con la flexión del enlace C-H de los grupos alifáticos que podría provenir de ciertos aminoácidos, se presentan los picos 1419.82 (antes) y 1423.30 (después).

De 1347 a 1280 cm^{-1} se encuentran las amidas tipo III, dentro de este grupo están los picos de frecuencia: 1318.60 (antes) y 1314.00 (después) (Lijalem, 2018, p. 23). Las vibraciones de 1240.60 – 1152.70 cm^{-1} (antes) y 1248.80–1155.40 cm^{-1} (después) pertenecen al estiramiento C-H de los carbohidratos que se encuentran en la región 1300 a 1100 cm^{-1} (Aykas y Menevseoglu, 2020, p. 9). De 1200 a 950 cm^{-1} son vibraciones de la unión C-O-C de los disacáridos y polisacáridos, encontrándose los picos de frecuencia de 1018.87 cm^{-1} (antes) y 1017.46 cm^{-1} (después) (Bryson, 2023). Los espectros 896.02 (antes) y 894.73 (después), se encuentra en el rango de 896 que corresponde al grupo funcional C-H de la celulosa, según (Moosavinejad et al., 2019). En el rango 670 se encuentra el dióxido de carbono con el espectro 670.95 cm^{-1} (Frances, 2022).

Tabla 2

Frecuencia de adsorción del espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Tarwi

Frecuencia de adsorción del espectro (cm^{-1})	Frecuencia de adsorción del espectro (cm^{-1})	Grupo funcional	Rango (cm^{-1})
Antes del tratamiento	Después del tratamiento		

3295.63	3302.87	Hidroxilo (O-H)	3600 - 3000
2933.00	2928.80	Ácidos grasos (C-H)	2922 - 2853
-	2899.00		
2346.60	-	Alquenos conjugado con grupo carbonilo (C=C)	2500 – 2100
2161.00	-		2500 – 2100
1734.20	1732.60	Ester carbonilo de los lípidos presentes de los triglicéridos y fosfolípidos (C=O)	1744
1611.09	1604.00	Carbonilo peptídico (C=O)	1700 – 1600
1419.82	1423.30	Grupos alifáticos - aminoácidos (C-H)	1458 – 1375
1318.60	1314.00	Amida III (CONH ₂)	1347 – 1280
1240.60	1248.80	Carbohidratos (C-H)	1300 – 1100
1152.70	1155.40	Carbohidratos (C-H)	1300 – 1100
1018.87	1017.46	Disacáridos y polisacáridos (C-O-C)	1200 – 950
896.02	894.73	Celulosa (C-H)	896
670.95	-	CO ₂	670

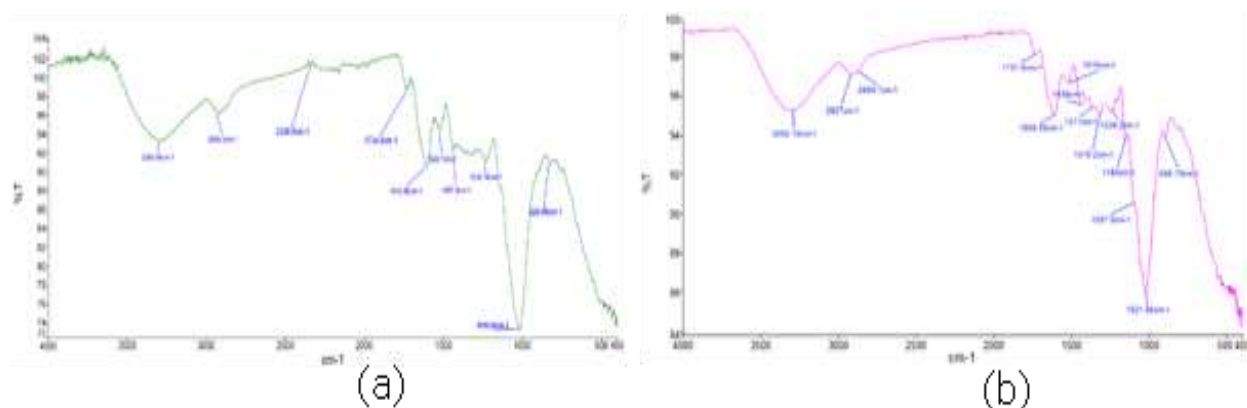
La tabla 2 muestra que después de la remoción del arsénico, se da con mayor intensidad el grupo O-H con 3302.63cm⁻¹ además aparece un pico débil de 2899.00cm⁻¹ que corresponde a C-H, por el contrario, el pico 670.95 cm⁻¹ desaparece que corresponde a CO₂. Además, se puede observar que las dos bandas del grupo alquenos (C=C) después del tratamiento desaparecen. Y las bandas 1732.60 y 1604.00cm⁻¹ después del tratamiento que pertenecen al grupo carbonilo (C=O) aumentan ligeramente.

La cáscara de Tarwi contiene taninos que son los responsables de la remoción del arsénico, ya que presentan grupos hidroxilos (O-H) y da lugar a la formación de quelatos con el contaminante arsénico (Martínez, 2017, p. 55). El grupo carbonilo (C=O) también contribuyó a la remoción, esto debido a que los grupos funcionales que tienen oxígeno en su composición como hidroxilo y carbonilo dan propiedades ácidas que permiten la remoción del arsénico (Vitela, 2011, p. 30). Comparando los espectros antes y después del tratamiento y ya teniendo a los grupos funcionales, se podría decir que O-H y C=O contribuyeron con la remoción de las moléculas del arsénico y en menor medida C-H y C=C.

Con la presencia de As en la biomasa se demuestra que después del tratamiento se dio una variación de las frecuencias que puede atribuirse a la unión de los iones de As a los diferentes grupos funcionales presentes en la biomasa, así se corrobora los cambios de la intensidad de los picos (Ruiz et al., 2022, p. 7).

Figura 3

Espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Haba antes (a) y después (b) de la remoción de Arsénico.



La figura 3 muestra los espectros de FTIR obtenidos de la biomasa cáscara de Haba, antes (a) y después (b) del tratamiento, donde las bandas encontradas en un determinado número de onda pertenecen a grupos funcionales. Se detalla que la banda ancha de 3295.46 (antes) y 3292.16 (después) se atribuye a la vibración del estiramiento O-H perteneciendo al grupo hidroxilo, estando dentro del rango ($3000 - 3600 \text{ cm}^{-1}$) (Bibi et al., 2017, p. 17). El número de onda 2929.30 (antes) y 2869.70 (después) corresponde a grupos aromáticos CH - CH₂ en el rango $2850-2950 \text{ cm}^{-1}$ (Pichón, 2019, p. 49), también 2927.00 (después) es un C-H siendo una vibración asimétrica (Lavado et al., 2020, p. 9). Asimismo en el rango ($2100 - 2500 \text{ cm}^{-1}$) se encuentra el pico 2346.60 siendo C≡C conjugado y C=C (Husien et al., 2023).

La banda 1734.80 (antes) y 1731.50 (después) está en el rango ($1730 - 1740 \text{ cm}^{-1}$) teniendo como grupo funcional C=O siendo éster de ácidos grasos (Pichón, 2019). De 1640 a

1610 cm^{-1} se encuentra el pico 1610.88 (antes) siendo un C=C, alquenos conjugado (QuioRed, 2002). Y el espectro 1606.58 (después) dentro del rango (1680-1600 cm^{-1}) C=C alquenos (Mondragón, 2020). Los espectros 1522.70 (antes) y 1516.00 (después) está en el rango (1500 a 1570 cm^{-1}) siendo un compuesto nitro NO_2 (Cabarcas, 2022). Los números de ondas 1437.30 (antes) y 1438.00 (después) ubicado en del rango (1400 - 1460 cm^{-1}) siendo -C=O carbonato inorgánico que se encuentra en la región de Huella dactilar (Pichón, 2019, p. 49). En 1390 a 1300 cm^{-1} se encuentra el espectro 1371.00 (después) dando un NO_2 alifático y también en el rango (1355-1315 cm^{-1}) se encuentra el pico 1315.20 (después) NO_2 aromático perteneciendo a grupos nitro (QuioRed, 2002).

El pico 1233.18 (antes) es un CO presente en alcoholes y ácidos carboxílicos que corresponde al grupo funcional de la lignina (Espinoza, 2021, p. 73). El espectro 1239.20 (después) es C-O ácidos carboxílicos estando dentro del rango 1320 – 1200 cm^{-1} (Savin, 2023). El pico 1154.00 (después) siendo un C-O-C polisacáridos en ADN y ARN estando dentro de 1120 – 1160 cm^{-1} (Pichón, 2019, p. 49). Los espectros 1019.06 (antes), 1097.60 y 1021.88 (después) siendo un grupo funcional C-O estando dentro de 1300 – 1000 cm^{-1} (Mondragón, 2017, p. 42). Y por último en el rango (800 a 900 cm^{-1}) está el pico 828.66 (antes), 896.79 (después) siendo C=C, C=N, C-H (Sh et al., 2024).

Tabla 3*Frecuencia de adsorción del espectro infrarrojo de la biomasa cáscara de Haba*

Frecuencia de adsorción del espectro (cm ⁻¹)		Grupo funcional	Rango (cm ⁻¹)
Antes del tratamiento	Después del tratamiento		
3295.46	3292.16	Hidroxilo (O-H)	3000-3600
2929.30	2927.00	C-H	2927.00
-	2869.70	Grupos aromáticos (CH, CH ₂)	2850 – 2950
2346.60	-	C≡C C=C	2100 - 2500
1734.80	1731.50	Ester de los ácidos grasos (C=O)	1730 – 1740
1610.88	-	Alquenos (conjugado) (C=C _i)	1640 – 1610
-	1606.58	Alquenos (C=C)	1680 – 1600
1522.70	1516.00	Compuesto nitro (NO ₂)	1500 – 1570
1437.30	1438.00	Carbonato inorgánico (-C=O)	1400 – 1460
-	1371.00	Alifático	1390 – 1300
-	1315.20	(grupo nitro) NO ₂	1355 – 1315
1233.18	-	Lignina (C O)	1233.88
-	1239.20	Ácidos carboxílicos (CO)	1320 – 1200
-	1154.00	C - O - C de polisacáridos en ADN y ARN	1120 – 1160
-	1097.60	Alcohol secundario (C-O)	
1019.06	1021.88	Alcohol primario (C-O)	1300 – 1000
828.66	896.79	C=C, C=N, C-H	800-900

La tabla 3 presenta los espectros de la biomasa cáscara de Haba, donde se observan los cambios de los picos espectrales que se da a través del intercambio iónico, después del tratamiento se observa el pico 3292.16 cm⁻¹ que presenta al grupo hidroxilo dado en menor intensidad que el antes del tratamiento y además aparece el espectro de 2869.70 cm⁻¹ que pertenece a los grupos aromáticos CH, CH₂, y dado por el contrario el pico 2346.60 cm⁻¹ siendo C≡C C=C que desaparece. así mismo también aparecen picos como 1371.00 cm⁻¹ denominado alifático C-H y el pico 1315.20 cm⁻¹ a grupo nitro NO₂, también el espectro 1154.00 cm⁻¹ C-O-C siendo polisacáridos y por último el espectro 1097.60 cm⁻¹ siendo un C-O por lo cual nos indica

la presencia de ácidos carboxílicos, estos nuevos picos en conjunto con los grupos hidroxilos son importantes para los procesos de adsorción (Soto, 2019).

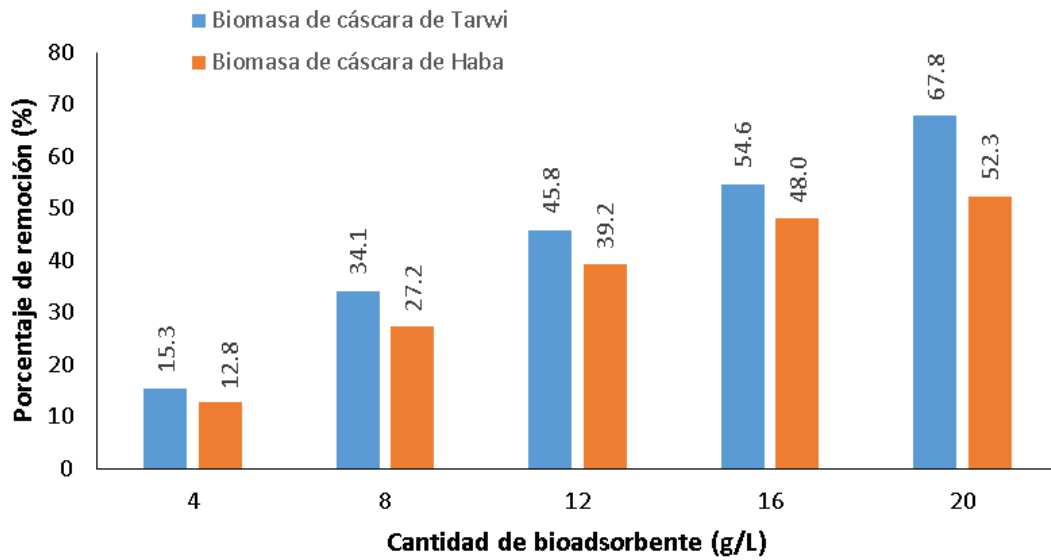
La cáscara de Haba tiene en gran proporción de taninos condensados que son distribuidos ampliamente en los vegetales como en las semillas de leguminosas, cacao, té, cerveza, etc. Y son únicos dentro de los polifenoles (Morales, 2014). Estos taninos son solubles en agua teniendo compuestos fenólicos, que contienen un gran número de grupos hidroxilo O-H (Goyoaga, 2005). Así mismo, las vibraciones de O dan a conocer que los grupos funcionales siendo ricos en oxígeno siendo los principales responsables de la eliminación del arsénico (Shakoor et al., 2019). La presencia de estos elementos como O-H, C=O, C-O que son ácidos carboxílicos y fenoles, son los que actúa en la adsorción (Lara et al., 2016). La comparación de los espectros el antes y después del tratamiento de As, dado que cambio un poco en las bandas, en esta investigación también se cuenta con estos grupos funcionales ya mencionados, que contribuyen con la remoción de arsénico.

3.2. Efecto de la concentración de las biomásas

El agua presentó una concentración inicial de 0.132 mg/l As. Los resultados muestran en la figura 4 que a medida que se aumentó la dosificación, la eficiencia de remoción aumenta.

Figura 4

Efecto de la dosis del adsorbente sobre la eficiencia de remoción de arsénico usando biomasa cáscaras de Tarwi y Haba.



Se obtuvo una alta remoción con la cáscara de Tarwi con 20g/L dando un 67.8 % y para el Haba también con 20g/L con 52.3 %, como se muestra en la siguiente tabla 4. Los resultados muestran que no cumple con la normativa D.S. N°031-2010-SA de 0.01mg/l.

Tabla 4

Porcentajes de remoción de los adsorbentes (biomasas cáscara de Tarwi y Haba)

Tratamientos	Cantidad (g/L)	Valor inicial (mg/L)	Valor final 1	Valor final 2	Valor final 3	Promedio	Decreto Supremo N° 031-2010-SA/Perú	Remoción	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L
Biomasa de cáscara de Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	4g	0.132	0.112	0.110	0.112	0.111		0.020	15.3
	8g	0.132	0.086	0.087	0.087	0.087		0.045	34.1
	12g	0.132	0.071	0.071	0.072	0.071		0.060	45.8
	16g	0.132	0.064	0.059	0.056	0.060	0.010	0.072	54.6
	20g	0.132	0.041	0.044	0.042	0.042		0.089	67.8
Biomasa de cáscara de Haba (<i>Vicia faba L.</i>)	4g	0.132	0.114	0.116	0.114	0.115		0.017	12.8
	8g	0.132	0.097	0.094	0.096	0.096		0.036	27.2
	12g	0.132	0.077	0.081	0.082	0.080		0.052	39.2
	16g	0.132	0.069	0.067	0.069	0.068		0.063	48.0
	20g	0.132	0.064	0.061	0.063	0.063		0.069	52.3

Los valores del resultado muestran que; Tarwi es el más eficiente, de acuerdo a los valores observados en la tabla 4. Esto debido a que en estudios revisados hay tendencia de que a mayor cantidad de adsorbente, mayor es la remoción ya que aumentan los sitios activos del adsorbente (Astudillo et al., 2019).

Sin embargo en la tabla 4, también se observa que la capacidad de remoción se reduce al aumentar la dosis de Haba, esto podría deberse a que con mayores cantidades de adsorbente hay posibilidad de colisión entre las partículas lo que puede ocasionar la reducción del área de adsorción (Carbonel, 2018). Otra razón podría ser por el peso del adsorbente ya que la cáscara de Haba es gruesa, a diferencia de la cáscara de Tarwi que es delgada. A mayor peso dificulta la agitación por lo que reduce la capacidad de adsorción (Vena et al., 2019).

3.3. Isotermas de Adsorción

La información obtenida se linealiza con los modelos de isotermas de Langmuir y Temkin, así obteniendo las ecuaciones de la recta y su coeficiente de correlación que se muestran en las siguientes figuras.

Figura 5

Isoterma de adsorción – Langmuir de la biomasa cáscara de Tarwi.

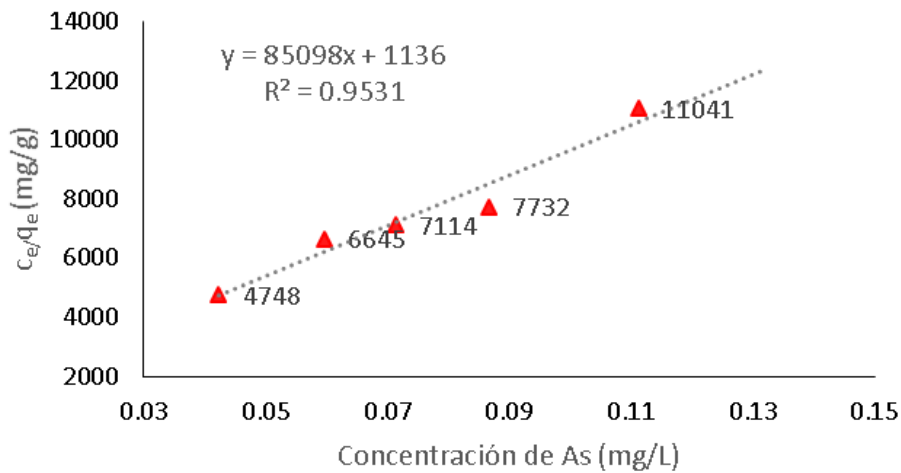
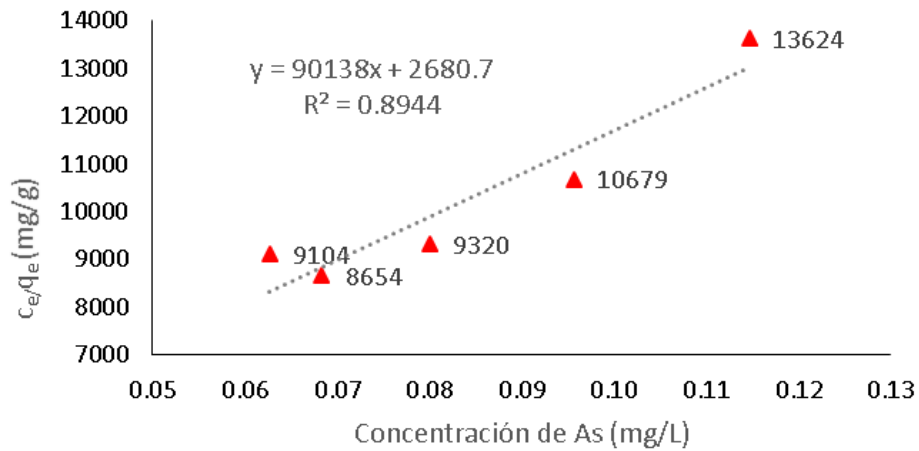


Figura 6

Isoterma de adsorción – Langmuir de la biomasa cáscara de Haba.



En esta investigación se puede afirmar que la aproximación a la isoterma de Langmuir es buena, con un valor de correlación de $R^2=0.9531$ para Tarwi y $R^2=0.8944$ para Haba. Además, con la cáscara de Tarwi se dio el valor de la constante (K_L), obteniéndose el factor de separación $R_L=0.092$ cumpliendo con $0 < R_L < 1$ lo cual es favorable para el proceso de adsorción, como también para la cáscara de Haba con $R_L=0.184$.

Figura 7

Isoterma de adsorción – Temkin de la biomasa cáscara de Tarwi.

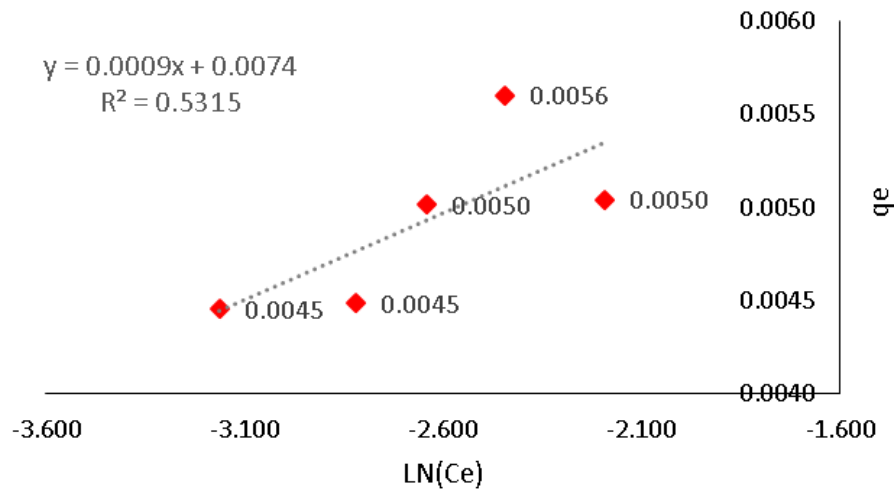
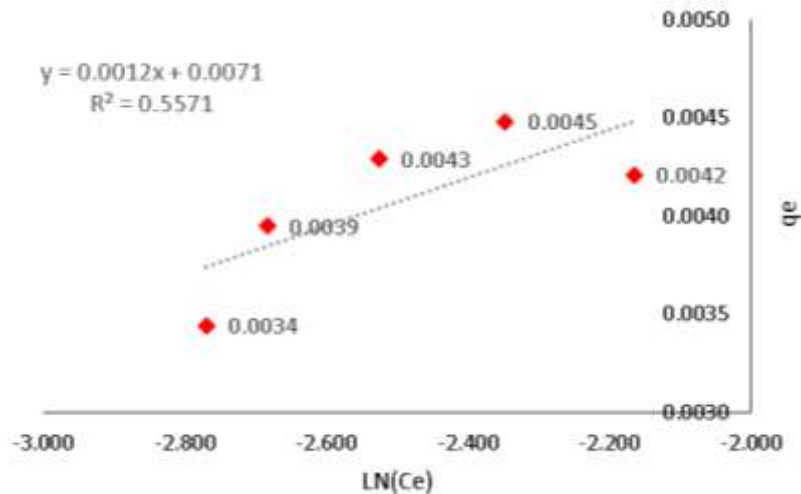


Figura 8

Isoterma de adsorción – Temkin de la biomasa cáscara de Haba.



La figura 7 y 8 se observan que no se obtuvo una buena aproximación en la isoterma de adsorción de Temkin siendo no favorable, con un valor de correlación de $R^2=0.5315$ para Tarwi y $R^2=0.5571$ para Haba.

Tabla 5

Parámetros de las isothermas de adsorción de Langmuir y Temkin

Adsorbente	Isotherma de Langmuir			Isotherma de Temkin		
	q_{max} (mg.g-1)	K_L (L/mg-1)	R^2	Rt/bT	Kt (L.g-1)	R^2
Cáscara de Tarwi	1.18E-05	74.91	0.9531	0.0009	3722.77	0.5315
Cáscara de Haba	1.11E-05	33.62	0.8944	0.0012	371.17	0.5571

La tabla 5 muestra la isoterma que se ajusta mejor al proceso de adsorción para el arsénico; con el modelo de Langmuir se da un coeficiente de correlación de $R^2=0.9531$ para la cáscara de Tarwi y el $R^2=0.8944$ para la cáscara de Haba, siendo favorable por tener el coeficiente de correlación más próximo a 1.

4. CONCLUSIONES

Las cáscaras de leguminosas andinas, Tarwi (*Lupinus mutabilis*) y Haba (*Vicia faba L.*), demostraron ser eficaces en la adsorción de arsénico en agua para consumo humano, con eficiencias de remoción del 67 y 52 % respectivamente. Asimismo, la caracterización mediante FTIR-ATR reveló la presencia de grupos funcionales clave: O-H y C=O en Tarwi, y O-H, C=O, y C-O en Haba, los cuales facilitan la adsorción del arsénico. Así también, la eficiencia de remoción aumentó con la cantidad de biomasa utilizada además los datos experimentales se ajustaron adecuadamente al modelo de isoterma de Langmuir, indicando que este modelo describe bien el comportamiento de adsorción para estas biomásas y muestra una capacidad de absorción de 0.00560 mg/g para Tarwi y 0.00448 mg/g para Haba. Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que las cáscaras de Tarwi y Haba son una solución sostenible y accesible para la remoción de arsénico en comunidades rurales del altiplano peruano, ofreciendo una alternativa viable para mejorar la calidad del agua potable y proteger la salud pública.

5. REFERENCIAS

- Adrian, T. y Vizcarra, J. (2022). *Determinación de las condiciones óptimas de adsorción del contaminante arsénico utilizando de adsorbente zeolita pretratada con óxido de hierro en solución sintética para su aplicación en aguas del río Quilca*.
<https://bit.ly/3VdPOGJ>
- Agencia EFE. (2018). *Arsénico, manganeso y aluminio contaminan las aguas subterráneas en Amazonas*. Gestión. <https://bit.ly/49f0Gd1>
- Alarcón, T., Llorens, E. y Poch, M. (2012). Remoción de Arsénico del Agua para Consumo Humano en Latinoamérica. In *Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación*.
- Albarracín, F. (2014). *Capacidad de adsorción para remover el ion metálico pb (II) por el tanino de la cáscara de tarwi (Lupinus mutabilis sweet), de las aguas del rio Ramis Puno, Perú* (Issue 11). <https://bit.ly/41aMa43>
- Andina. (2018). *Agua de pozos en Mórrope contiene arsénico 9 veces más de lo permitido*. Editora Perú. <https://bit.ly/4fMZqjJ>
- Andrade, G. (2007). *Activación y caracterización de materiales nanoestructurados (CNx y CST): remoción de Cadmio*. 73.
- Apaza, T. (2020). *Evaluación de arsénico, dureza, coliformes termotolerantes y E. coli en aguas subterráneas, de las urbanizaciones de Santa Adriana y Niño San Salvador, del distrito de Juliaca, Puno 2019*. Univesidad Peruana Unión.
- Aryal, M., Ziagova, M. y Liakopoulou-Kyriakides, M. (2010). Study on arsenic biosorption using Fe(III)-treated biomass of *Staphylococcus xylosus*. *Chemical Engineering Journal*, 162(1), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.05.026>
- Astudillo, S., Vera, L., Astudillo, J. y Castro, C. (2019). Evaluación del poder biosorbente de la hoja de maíz en la remoción de metales pesados. *Afinidad*, 77(591).
<https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377165>
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N. y Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption

- Isotherms. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
- Aykas, D. y Menevseoglu, A. (2020). A rapid method to detect green pea and peanut adulteration in pistachio by using portable FT-MIR and FT-NIR spectroscopy combined with chemometrics. *Food Control*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107670>
- Bayomie, O. S., Kandeel, H., Shoeib, T., Yang, H., Youssef, N. y El-Sayed, M. M. H. (2020). Novel approach for effective removal of methylene blue dye from water using fava bean peel waste. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64727-5>
- Benaïssa, H. (2006). Screening of new sorbent materials for cadmium removal from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 132(2–3), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.085>
- Bibi, S., Farooqi, A., Yasmeen, A., Kamran, M. A. y Niazi, N. K. (2017). Arsenic and fluoride removal by potato peel and rice husk (PPRH) ash in aqueous environments. *International Journal of Phytoremediation*, 19(11), 1–19. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1319329>
- Bryson, A. (2023). *Alcaloides totales en 49 ecotipos de tarwi (Lupinus Mutabilis) (amargos y desamargados) explorados por métodos cuantitativos (GC-FID) y cualitativos (FT-IR)*. <https://bit.ly/3VfkUhc>
- Cabarcas, M. (2022). *¿Cómo identificar grupos funcionales en el espectro infrarrojo?* <https://youtu.be/NSK5UXXGCZc?si=5NKslQ9XPNW20jDk>
- Carbonel, 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. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/13418/14200>
- Chakrabarti, D. (2018). Arsenic : Occurrence in Groundwater. In *Encyclopedia of Environmental Health 2nd Edition* (2nd ed., Issue October 2017). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10634-7>
- Choque, M. (2017). Remoción De Iones De Cadmio(Iii), Plomo (Ii) Y Níquel De Lodos

Sedimentados En La Bahía Interior De Puno-Lago Titicaca Utilizando Bioabsorbente Acuoso De La Semilla De Tarwi (*Lupinus mutabilis*). *Repositorio Institucional UNA-PUNO*, 1–149. <https://bit.ly/3VfYoEL>

Chumbes, J. (2018). Reducción de Arsénico en Aguas Subterráneas mediante el uso de Alambre de Hierro en diferentes concentraciones, Taparachi, Juliaca, 2018. In *Universidad César Vallejo*.

Cuong, D. V., Wu, P. C., Liou, S. Y. H. y Hou, C. H. (2022). An integrated active biochar filter and capacitive deionization system for high-performance removal of arsenic from groundwater. *Journal of Hazardous Materials*, 423(PA), 127084. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127084>

Espinoza, F. (2021). Universidad Nacional Del Centro Del Peru. In *Universidad Nacional Del Centro Del Perú* (Issue li).

Etorki, A. M., El-Rais, M., Mahabbis, M. T. y Moussa, N. M. (2014). Removal of Some Heavy Metals from Wastewater by Using of Fava Beans. *American Journal of Analytical Chemistry*, 05(04), 225–234. <https://doi.org/10.4236/ajac.2014.54028>

Frances, L. (2022). *Obtención e interpretación de espectros IR de alta calidad*. Labcompare. <https://bit.ly/3BdlLqx>

Goyoaga, C. (2005). Estudio de Factores no Nutritivos en “Vicia faba l.”: influencia de la Germinación Sobre su Valor Nutritivo. In *Universidad Complutense de Madrid*.

Huaracha, J. y Quispe, L. (2020). *Determinación de la concentración de arsénico en aguas subterráneas en las salidas: Puno, Lampa y Arequipa de la ciudad de Juliaca-2019*.

Husien, S., El-taweel, R. M., Alrefaey, K. A., Labena, A., Fahim, I. S., A Said, L. y Radwan, A. G. (2023). Experimental investigation of methyl-orange removal using eco-friendly cost-effective materials raw fava bean peels and their formulated physical, and chemically activated carbon. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 7(July), 100373. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2023.100373>

- INIA. (2013). Haba INIA 423 Blanca Gigante Yunguyo, variedad de grano grande, de buena calidad para la agroindustria, exportación y consumo nacional. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*, 29–30.
<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/680#.X17Z0y1cID4.mendeley>
- Kaur, R., Garkal, A., Sarode, L., Bangar, P., Mehta, T., Singh, D. P. y Rawal, R. (2024). Understanding arsenic toxicity: Implications for environmental exposure and human health. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 5(August 2023), 100090.
<https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100090>
- Khaskheli, M. I., Memon, S. Q., Siyal, A. N. y Khuhawar, M. Y. (2011). Use of orange peel waste for Arsenic remediation of drinking water. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 423–433. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9081-7>
- Kumar, M., Ramanathan, A., Rahman, M. M. y Naidu, R. (2016). Concentrations of inorganic arsenic in groundwater, agricultural soils and subsurface sediments from the middle Gangetic plain of Bihar, India. *Science of the Total Environment*, 573, 1103–1114.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.109>
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., Arrieta, A. y Granados Conde, C. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao / Adsorption of lead and cadmium in continuous of fixed bed on cocoa waste / Adsorção de chumbo e cádmio no sistema de leito fixo contínua relativa aos resíduos de cacau. *Revista ION*, 29(2), 113.
- Lavado, C., Sun-Kou, M. R., Castro, T. K. y Bonilla, H. D. (2020). Biosorción de plomo (II) en solución acuosa con biomasa de los cladodios de la tuna (opuntia ficus indica). *Revista Colombiana de Química*, 49(3), 36–46. <https://doi.org/10.15446/rcq.v49n3.85823>
- Leyva, R., Sánchez, M., Hernández, M. y Guerrero, R. (2001). *Remoción de Metales Pesados de solución acuosa por medio de clinoptilolitas naturales*.
<https://www.redalyc.org/pdf/370/37017302.pdf>
- Lijalem, T. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy Combined with Partial Least

- Squared Regression and Standard Addition-Net Analyte Signal Method for Quantification of Chitin in Insect-based Fish Feeds. In *Gender and Development*.
<https://acortar.link/wiGab6>
- López, M. y Chércoles, R. (2022). Estudio material por FTIR-ATR y examen morfológico para el uso de tubos de encofrado como soporte de almacenaje de tapices. *Ge-Conservacion*, 21(1), 7–15. <https://doi.org/10.37558/GEC.V21I1.1043>
- Loya, J. (2022). Remocion de arsenico usando zeolita como adsorbente. In *Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (Vol. 1)*.
- Mamani, W. (2019). *Determinación de la concentración de arsénico (As) total en las aguas subterráneas de pozos tubulares en el distrito de Juliaca y medidas de mitigación*.
- Martínez, M. (2017). *Desarrollo De Materiales Híbridos Para La Eliminación De Arsénico De Medios Acuicos*. 27–28. <https://acortar.link/7ClAaO>
- MINSA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA . Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú. *Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud*, 39.
<http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- Mondragón, P. (2017). Espectroscopia de infrarrojo para todos. In *Neural Regeneration Research*. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf
- Mondragón, P. (2020). *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas* (Centro de).
- Montes, E. (2014). *Estudio de Adsorción de Ácido rojo 114 y básico azul 3 sobre tallo de Girasol*.
- Moosavinejad, S. M., Madhoushi, M., Vakili, M. y Rasouli, D. (2019). Evaluation of degradation in chemical compounds of wood in historical buildings using Ft-Ir And Ft-Raman vibrational spectroscopy. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 21(3), 381–392.
<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000310>

- Morales, M. (2014). *Obtención de un polvo instantáneo por atomización a partir del extracto de la cáscara de la Haba (Vicia faba) tostada*. 58(12), 7250–7257. <https://acortar.link/pfw7U5>
- Murillo, C., Gómez, O., Ortiz, O. y Muñoz, S. (2015). Aplicación de Modelos para la Generación de las Isotermas de Adsorción de Metano en una Muestra de Shale y su Impacto en el Cálculo de Reservas. *El Reventón Energético*, 13, 131–140.
- Ordoñez, J. (2020). *Isoterma de Freundlich*.
<https://es.slideshare.net/JairoEnriqueOrdoezVe1/isoterma-de-freundlich>
- Peralta, E. (2021). *Remoción de Arsénico (As) aplicando cáscara de arroz modificado químicamente, de las aguas superficiales de la comunidad de Upina, Carabaya-Puno* [Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/188>
- Pichón, S. (2019). *Uso de la espectroscopía y microscopía en el estudio de las reacciones de Vici faba I. ante factores adversos* (Vol. 39).
- QuioRed. (2002). *Recursos Educativos de Química Orgánica*.
https://www.ugr.es/~quioired/lab/tablas_espec/ir.htm
- Ruiz, É., Frías, J., Blanco, G., Tejada, C. y Villabona, A. (2022). *Estudio dinámico de adsorción de Ni (II) sobre residuos de Musa aad simmonds. II*, 1–6.
- Sabelino, Z. (2020). *Modelos de calibración del contenido de proteína y fenólicos totales usando espectroscopia del infrarrojo medio en tarwi (Lupinus Mutabilis)*.
<https://acortar.link/p3lOx2>
- Savin, A. (2023). *Espectroscopia de infrarrojo*. Química Orgánica.
<https://www.quimicaorganica.org/blog-usuarios-quimica-organica/924-espectroscopi>
- Sh, H., El-taweel, R. M., Alrefaey, K. A., Labena, A., Fahim, I. S., Said, L. A. y Radwan, A. G. (2024). Enhanced removal of crystal violet using rawfava bean peels, its chemically activated carbon compared with commercial activated carbon. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9(November 2023), 100534.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100534>

- Shaji, E., Santosh, M., Sarath, K. V., Prakash, P., Deepchand, V. y Divya, B. V. (2021). Arsenic contamination of groundwater: A global synopsis with focus on the Indian Peninsula. *Geoscience Frontiers*, 12(3). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.015>
- Shakoor, M. B., Niazi, N. K., Bibi, I., Shahid, M., Saqib, Z. A., Nawaz, M. F., Shaheen, S. M., Wang, H., Tsang, D. C. W., Bundschuh, J., Ok, Y. S. y Rinklebe, J. (2019). Exploring the arsenic removal potential of various biosorbents from water. *Environment International*, 123(September 2018), 567–579. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.049>
- Skoog, D., West, D., Holler, J. y Crouch, S. (2015). *Fundamentos de Química Analítica*. https://www.surcosistemas.com.ar/virtual/ebooks/QUIMICA_ANALITICA_Novena_edicion.pdf
- Soto, C. (2019). Filtros de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) para la adsorción de plomo (II) en aguas de relave minero-2019. *Repositorio Institucional - UCV*, li. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49692>
- Tapia, M. (2015). El Tarwi, Lupino Andino Tarwi, Tauri o Chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). In *Fondo Italo Peruano*.
- Tejada, C., Villabona, Á. y Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Terrones, D. (2021). Efecto del pH y peso de la cáscara de *Lupinus mutabilis* (chocho) en la remoción de plomo presente en aguas del río Parcoy, Pataz - 2018. *Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental*, 1–61. <https://acortar.link/pN4rv5>
- Turpo, R., Ccama, J. y Quispe, I. (2022). *Filtración de arsénico de aguas subterráneas con zeolitas naturales de la región Puno - Perú*. 1–23.
- Vena, G., Huayta, L., Delgado, P., Delgado, Y., and Zumarán, R. (2019). Biosorción del metal pesado Cd (ii) para el tratamiento de efluentes mineros por medio del alginato de sodio. *Revista Boliviana de Química*, 36(4), 148–156. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.1>

Verma, L., Siddique, M. A., Singh, J. y Bharagava, R. N. (2019). As(III) and As(V) removal by using iron impregnated biosorbents derived from waste biomass of Citrus limmeta (peel and pulp) from the aqueous solution and ground water. *Journal of Environmental Management*, 250(August), 109452. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109452>

Vitela, A. V. (2011). *Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanoparticulas de hidro(óxidos) de hierro*. 80.

<http://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/11627/97/1/VitelaRodriguez.pdf>

6. ANEXOS

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

[tca] Acuse de recibo de envío

Helena Rivas López <tyca.ojs@gmail.com>

Lun 03/06/2024 18:49

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Hola Juan Eduardo Vigo Rivera:

Gracias por enviar el manuscrito "Uso de las cáscaras leguminosas andinas (tarwi y haba) para la remoción de arsénico en aguas para consumo humano: Use of the peels andean legumes (tarwi and broad bean) for the removal of arsenic in waters for human consumption" a Tecnología y ciencias del agua para posible publicación.

Con nuestro sistema de gestión en línea podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

<https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/authorDashboard/submission/3896>

Nombre de usuario/a: jevr72

Quedo a sus órdenes:

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>

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



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

RESOLUCIÓN N° 0331-2024/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 04 de junio de 2024

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Monica Bertha Quellca Escobedo** identificado(a) con código universitario N° **201321351** y **Gloria Haydeé Sanchez Quispe** identificado(a) con código universitario N° **201321346**, 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 sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Uso de las cáscaras leguminosas andinas (tarwi y haba) para la remoción de arsénico en aguas para consumo humano", presentado por los(las) bachilleres **Monica Bertha Quellca Escobedo** y **Gloria Haydeé Sanchez Quispe**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 04 de junio de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Monica Bertha Quellca Escobedo** y **Gloria Haydeé Sanchez Quispe**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Uso de las cáscaras leguminosas andinas (tarwi y haba) para la remoción de arsénico en aguas para consumo humano", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 13 de junio de 2024, a las 11:00 horas, en el Auditorio Wellesley Muir
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing. Nancy Curasi Rafael
Secretario: Msc. Miguel Angel Salcedo Enriquez
Asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Vocal 1: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo
Vocal 2: Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo

Anexo 3. Informe de caracterización de biomasa cáscaras de Tarwi y Haba antes del tratamiento



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



INFORME DE ENSAYO N° 0815 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1 NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : MONICA BERTHA QUELLCA ESCOBEDO
GLORIA HAYDEE SANCHEZ QUISPE
 - 1.2 D.N.I / R.U.C. : 76285771 / 77538840
 - 1.3 DIRECCIÓN : --
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 10 / 07 / 2023
 - 2.2 FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 12 / 07 / 2023
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 17 / 07 / 2023
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : PRODUCTOS NATURALES TRATADOS
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE BIOMASA CALCINADA DE TARWI (0.25mm)
 - DISTRITO/ PROVINCIA/ REGIÓN : JULIACA/ SAN RAMÓN/ PUNO
 - FECHA / HORA DEL MUESTREO : 03-07-23 / 10:30hrs
 - TESIS : "USO DE LAS CÁSCARAS LEGUMINOSAS ANDINAS (TARWI Y HABA) PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO" MUESTRA EN POLVO
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) :
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.2 °C; Humedad relativa: 65%
- 7. EQUIPO UTILIZADO**
Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.
- 8. PROCEDIMIENTO**
 - 8.1. TRATAMIENTO DE MUESTRA**
Se recibió 01 muestra de Biomasa calcinada de Tarwi. Se tomó la muestra y se cuarteó fraccionando una pequeña cantidad de muestra y se colocó en la zona de lectura del equipo para proceder con el análisis.
 - 8.2. CONDICIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS**

TABLA N°1. Condiciones de Operación	
Equipo	FTIR. PERKIN ELMER, FRONTIER
Cantidad de barridos	3
Resolución	4
Detector	MIR TGS
Fuente	MIR
Divisor de haz	OptKBr
Velocidad de barrido	0.2
Número de onda de IR-Laser	15798.00
Rango de barrido predeterminado (cm ⁻¹)	4000-400
Tipo de accesorio	Universal-ATR
Combinación cristal UATR	Diamante/KRS-5



9. RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA FTIR-ATR

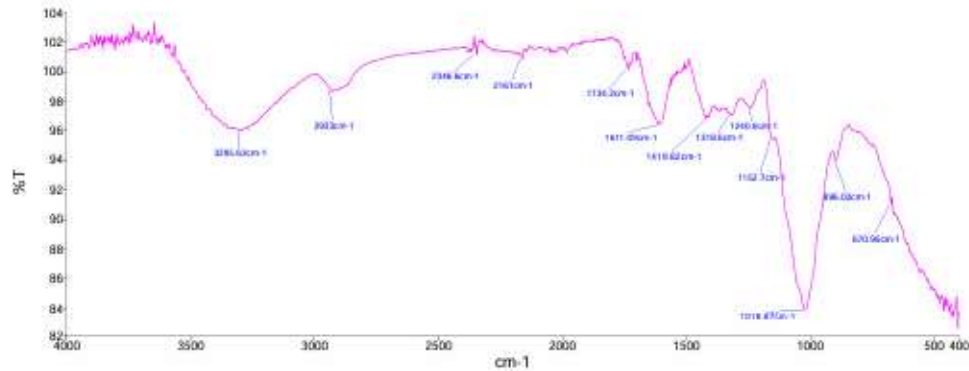


Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

Tabla N°1. Tabla de frecuencias de absorción del espectro infrarrojo de la muestra

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3295.63
2	2933.00
3	2346.60
4	2161.00
5	1734.20
6	1611.09
7	1419.82
8	1318.60
9	1240.60
10	1152.70
11	1018.87
12	896.02
13	670.95

10. 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. Natalia Quispe G.
Analista
LABICER -UNI




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

NOTAS:

1. LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
2. LABICER-UNI no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, incluidos en los ítems 1 y del 4.1 al 4.3 del presente documento.
3. 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.
4. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de BIOMASA CALCINADA TARWI.

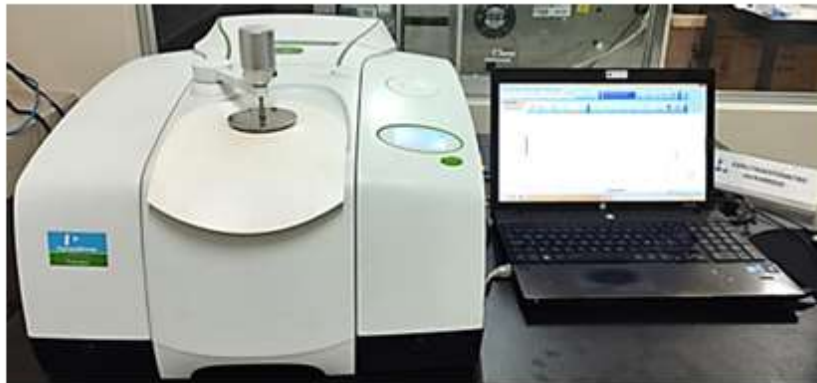


FIGURA N°2. Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.





INFORME DE ENSAYO N° 0816 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1 NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : MONICA BERTHA QUELLCA ESCOBEDO
GLORIA HAYDEE SANCHEZ QUISPE
 - 1.2 D.N.I / R.U.C. : 76285771 / 77538840
 - 1.3 DIRECCIÓN : --
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 10 / 07 / 2023
 - 2.2 FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 12 / 07 / 2023
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 17 / 07 / 2023
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1 TIPO DE MUESTRA : PRODUCTOS NATURALES TRATADOS
 - 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE BIOMASA CALCINADA DE HABA (0.25mm)
 - DISTRITO/ PROVINCIA/ REGIÓN : JULIACA/ SAN RAMÓN/ PUNO
 - FECHA Y HORA DEL MUESTREO : 03-07-23 / 11:00hrs
 - TESIS : "USO DE LAS CÁSCARAS LEGUMINOSAS ANDINAS (TARWI Y HABA) PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO" MUESTRA EN POLVO
 - 4.3 OBSERVACIONES (SI APLICA) :
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.2 °C; Humedad relativa: 65%
- 7. EQUIPO UTILIZADO**
Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.
- 8. PROCEDIMIENTO**
 - 8.1. TRATAMIENTO DE MUESTRA**
Se recibió 01 muestra de Biomasa calcinada de Haba. Se tomó la muestra y se cuarteó fraccionando una pequeña cantidad de muestra y se colocó en la zona de lectura del equipo para proceder con el análisis.
 - 8.2. CONDICIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS**

TABLA N°1. Condiciones de Operación	
Equipo	FTIR. PERKIN ELMER, FRONTIER
Cantidad de barridos	3
Resolución	4
Detector	MIR TGS
Fuente	MIR
Divisor de haz	OptKBr
Velocidad de barrido	0.2
Número de onda de IR-Laser	15798.00
Rango de barrido predeterminado (cm ⁻¹)	4000-400
Tipo de accesorio	Universal-ATR
Combinación cristal UATR	Diamante/KRS-5



9. RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA FTIR-ATR

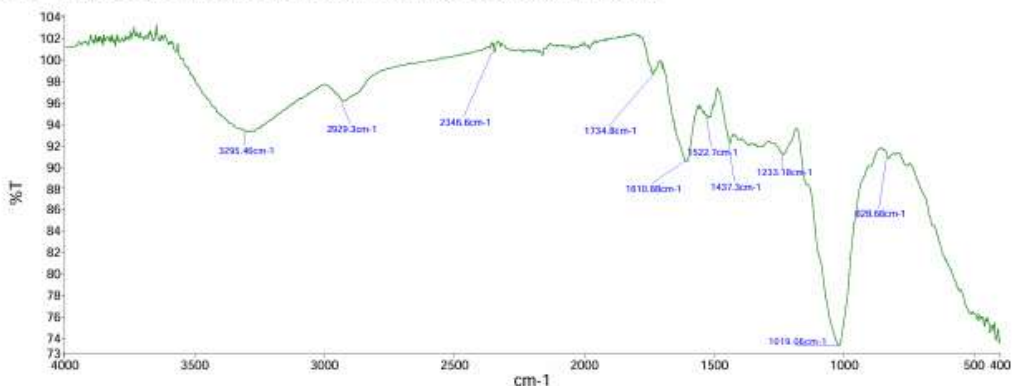


Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

Tabla N°1. Tabla de frecuencias de absorción del espectro infrarrojo de la muestra

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3295.46
2	2929.30
3	2346.60
4	1734.80
5	1610.88
6	1522.70
7	1437.30
8	1233.18
9	1019.06
10	828.66

10. 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. Natalia Quispe G.
Analista
LABICER –UNI




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

NOTAS:

1. LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
2. LABICER-UNI no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, incluidos en los ítems 1 y del 4.1 al 4.3 del presente documento.
3. 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.
4. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de BIOMASA CALCINADA HABA.



FIGURA N°2. Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.



Anexo 4. Informe de caracterización de biomásas cáscaras de Tarwi y Haba después del tratamiento



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



INFORME DE ENSAYO N° 1560 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1 NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : MONICA BERTHA QUELLCA ESCOBEDO
GLORIA HAYDEÉ SANCHEZ QUISPE
 - 1.2 D.N.I / R.U.C. : 76285771 / 77538840
 - 1.3 DIRECCIÓN : --
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 13 / 12 / 2023
 - 2.2 FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 19 / 12 / 2023
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 19 / 12 / 2023
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : VEGETALES Y PRODUCTOS NATURALES
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CÁSCARA DE TARWI
TESIS : "USO DE LAS CÁSCARAS LEGUMINOSAS
ANDINAS (TARWI Y HABA) PARA LA REMOCIÓN DE
ARSÉNICO EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO"
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : MUESTRA EN POLVO
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 23.1 °C; Humedad relativa: 64%
- 7. EQUIPO UTILIZADO**
Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR).
PERKIN ELMER, FRONTIER.
- 8. PROCEDIMIENTO**
 - 8.1. TRATAMIENTO DE MUESTRA**
Se recibió 01 muestra de Polvo de cáscara de Tarwi. Se tomó la muestra y se cuarteó fraccionando una pequeña cantidad de muestra y se colocó en la zona de lectura del equipo para proceder con el análisis.
 - 8.2. CONDICIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS**

TABLA N°1. Condiciones de Operación

Equipo	FTIR. PERKIN ELMER, FRONTIER
Cantidad de barridos	4
Resolución	4
Detector	MIR TGS
Fuente	MIR
Divisor de haz	OptKBr
Velocidad de barrido	0.2
Número de onda de IR-Laser	15798.00
Rango de barrido predeterminado (cm ⁻¹)	4000-400
Tipo de accesorio	Universal-ATR
Combinación cristal UATR	Diamante/KRS-5



9. RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA FTIR-ATR

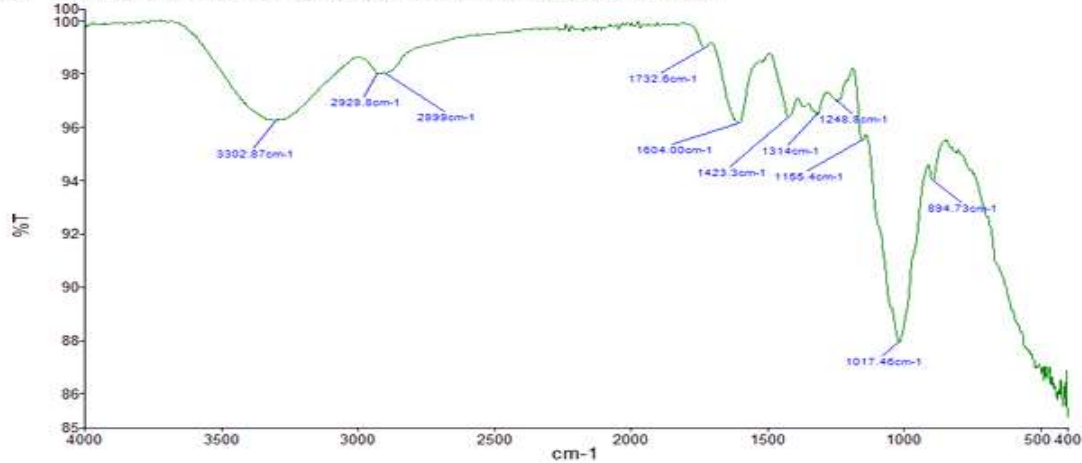


Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

Tabla N°1. Tabla de frecuencias de absorción del espectro infrarrojo de la muestra

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3302.87
2	2928.80
3	2899.00
4	1732.60
5	1604.00
6	1423.30
7	1314.00
8	1248.80
9	1155.40
10	1017.46
11	894.73

10. 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. Nataña Quispe G.
Analista
LABICER -UNI




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

NOTAS:

1. LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
2. 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.
3. 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.
4. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de POLVO DE CÁSCARA DE TARWI.



FIGURA N°2. Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.





INFORME DE ENSAYO N° 1559 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1 NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : MONICA BERTHA QUELLCA ESCOBEDO
GLORIA HAYDEE SANCHEZ QUISPE
 - 1.2 D.N.I / R.U.C. : 76285771 / 77538840
 - 1.3 DIRECCIÓN : --
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 13 / 12 / 2023
 - 2.2 FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 19 / 12 / 2023
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 19 / 12 / 2023
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. TIPO DE MUESTRA : VEGETALES Y PRODUCTOS NATURALES
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CÁSCARA DE HABA
TESIS : "USO DE LAS CÁSCARAS LEGUMINOSAS ANDINAS
(TARWI Y HABA) PARA LA REMOCIÓN DE
ARSÉNICO EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO"
MUESTRA EN POLVO
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) :
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 23.1 °C; Humedad relativa: 64%
- 7. EQUIPO UTILIZADO**
Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR).
PERKIN ELMER, FRONTIER.
- 8. PROCEDIMIENTO**
 - 8.1. TRATAMIENTO DE MUESTRA**
Se recibió 01 muestra de Polvo de cáscara de Haba. Se tomó la muestra y se cuarteó fraccionando una pequeña cantidad de muestra y se colocó en la zona de lectura del equipo para proceder con el análisis.
 - 8.2. CONDICIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS**

TABLA N°1. Condiciones de Operación	
Equipo	FTIR. PERKIN ELMER, FRONTIER
Cantidad de barridos	4
Resolución	4
Detector	MIR TGS
Fuente	MIR
Divisor de haz	OptKBr
Velocidad de barrido	0.2
Número de onda de IR-Laser	15798.00
Rango de barrido predeterminado (cm ⁻¹)	4000-400
Tipo de accesorio	Universal-ATR
Combinación cristal UATR	Diamante/KRS-5



9. RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA FTIR-ATR

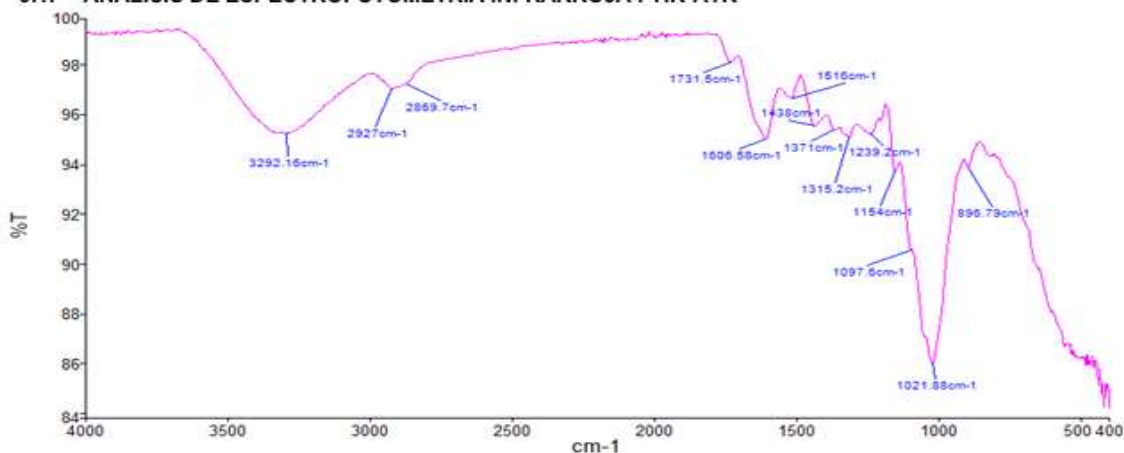


Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

Tabla N°1. Tabla de frecuencias de absorción del espectro infrarrojo de la muestra

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3292.16
2	2927.00
3	2869.70
4	1731.50
5	1606.58
6	1516.00
7	1438.00
8	1371.00
9	1315.20
10	1239.20
11	1154.00
12	1097.60
13	1021.88
14	896.79

10. 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. Natalia Quispe G.
Analista
LABICER -UNI




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

NOTAS:

1. LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
2. 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.
3. 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.
4. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.

ANEXO



FIGURA N°1. Muestra de POLVO DE CÁSCARA DE HABA.

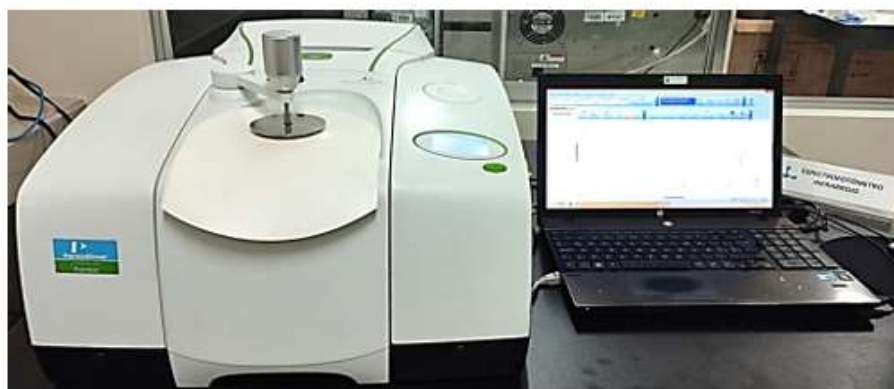


FIGURA N°2. Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier - Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.



Anexo 5. Informe de resultados 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 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra del Pacífico

ANÁLISIS DE AGUA

Solicitante: Monica Bertha Quellca Escobedo
 Análisis de: Agua Subterránea
 Fecha de extracción: 15/11/2023 Fecha de recepción: 15/11/2023
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante
 Lugar de muestreo: Juliaca – Puno.
 Muestra conservada: Sí

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	MUESTRA
			Muestra Inicial
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.131

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO							
			Biomasa: Cáscara de Tarwi Crudo [g]							
			2	2	3	4	4	4	5	6
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.112	0.110	0.112	0.086	0.087	0.087	0.071	0.071


PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO						
			Biomasa: Cáscara de Tarwi Crudo [g]						
			6	8	8	8	10	10	10
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.072	0.064	0.059	0.056	0.041	0.044	0.042

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. AMBIENTAL - UPEU P.U.
 Ing. Glen Madrigal Pérez



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

ANÁLISIS DE AGUA

Solicitante: Gloria Haydeé Sanchez Quispe
Análisis de: Agua Subterránea
Fecha de extracción: 22/11/2023 Fecha de recepción: 22/11/2023
Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante
Lugar de muestreo: Juliaca – Puno.
Muestra conservada: Sí

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	MUESTRA
			Muestra Inicial
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.132

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO							
			Biomasa: Cáscara de Haba Cruda (g)							
			2	2	2	4	4	4	6	6
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.114	0.116	0.114	0.097	0.094	0.096	0.077	0.081

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO						
			Biomasa: Cáscara de Haba Cruda (g)						
			6	8	8	8	10	10	
Arsénico	mg/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.082	0.069	0.067	0.069	0.064	0.063	0.063

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: 27/11/2023

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

Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPeU F.I

Ing. Glen Madrigal Pérez

Anexo 6. Panel fotográfico



Anexo 6.1. Toma de muestra de agua subterránea y obtención de coordenadas con GPS del punto de muestreo.



Anexo 6.2. Oxidación de muestra de agua con H_2O_2 .



Anexo 6.3. Lavado con agua destilada. Derecha cáscara de Haba – izquierda cáscara de Tarwi



Anexo 6.4. Secado a temperatura ambiente. Derecha cáscara de Haba – izquierda cáscara de Tarwi.



Anexo 6.5. Triturado. Derecha cáscara de Haba – Izquierdo cáscara de Tarwi.



Anexo 6.6. Tamizado de biomásas. Derecha cáscara de Haba – izquierda cáscara de Tarwi.



Anexo 6.7. Desechado de biomazas Tarwi y Haba a una temperatura de 105 °C en un tiempo de 40 minutos.



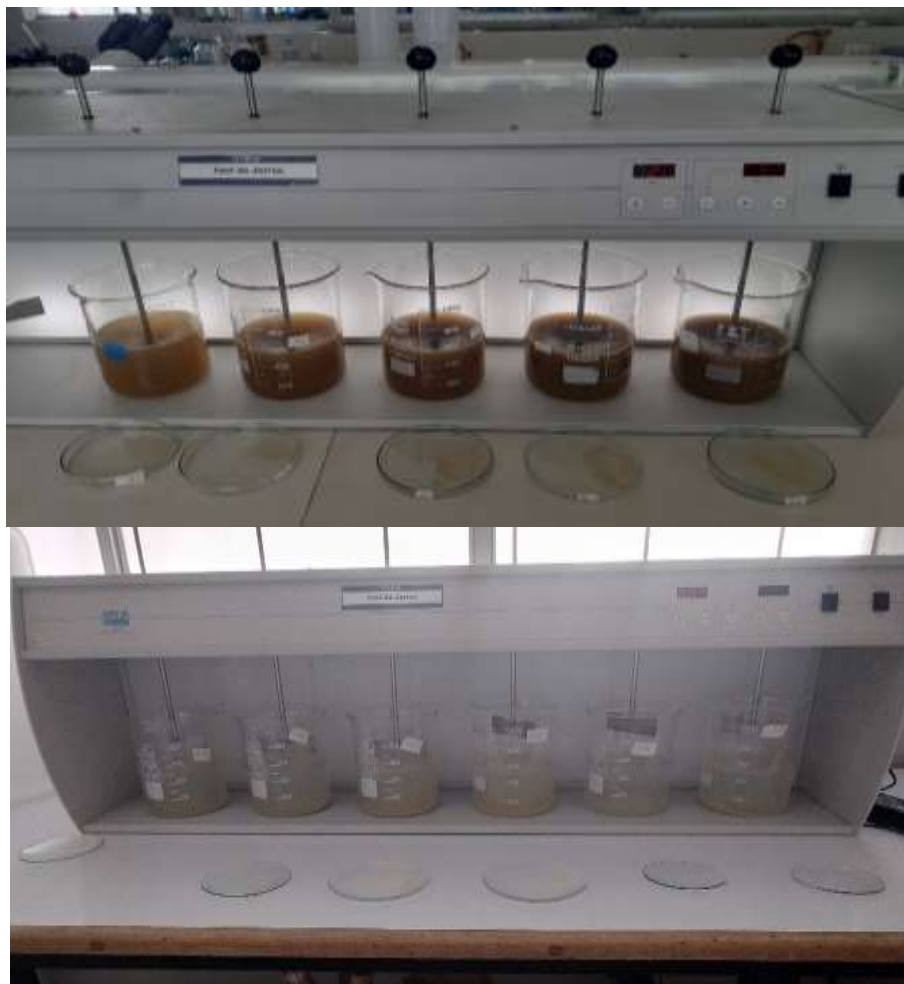
Anexo 6.8. Almacenamiento de biomasa de Cáscara de Tarwi – Cáscara de Haba.



Anexo 6.9. Regulando el pH a la muestra de agua a pH de 5.5 (Haba) y 5.2 (Tarwi).



Anexo 6.10. Aplicación de la biomasa para realizar la prueba de Jarras. Derecha Tarwi – Izquierdo Haba.



Anexo 6.11. Prueba de remoción de Arsénico. Abajo con biomasa de cáscara de Tarwi – arriba con biomasa de cáscara de Haba a 120 rpm durante 90 min.



Anexo 6.12. Sedimentación durante 30 min. Después de la remoción de Arsénico.



Anexo 6.13. Filtración después del tratamiento.



Anexo 6.14. Derivación al laboratorio para la determinación del Arsénico final.