

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



**Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con
residuos de naranja en condiciones altoandinas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Nancy Gladis Quispe Ccallo
Yequelin Yudith Pariguana Castillo

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivero

Juliaca, diciembre de 2023

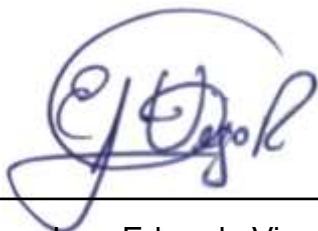
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Juan Eduardo Vigo Rivero, 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 ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON RESIDUOS DE NARANJA EN CONDICIONES ALTOANDINAS”** de los autores **Nancy Gladis Quispe Ccallo** y **Yeuelin Yudith Pariguana Castillo** 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 2 días del mes de febrero del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivero

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 21 día(s) del mes de diciembre del año 2023 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección de (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Quila, el (la) secretario(a): Msc. Franklyn Elard Zapana Yura y los demás miembros: Msc. Leayda Abigail Londono Zurpe - Ing. Nancy Lurasi Rafael y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Ruxra

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Tecnoformas de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas

del(los) bachiller(es): a) Nancy Estadio Quipe Gallo
 b) Yeguelin Judith Pariguana Galillo
 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): Nancy Estadio Quipe Gallo

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

Bachiller (b): Yeguelin Judith Pariguana Galillo

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

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

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

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretario/a
[Firma]
 Miembro

 Bachiller (c)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme y permitirme estudiar en la Universidad Peruana Unión y realizar nuestro artículo de investigación sobre Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas. Así mismo agradezco a mis padres Wilfredo Quispe Huaylla, Saturnina Ccallo Nuñoncca y mis hermanos por ser los promotores mayores durante el proceso de mi formación académica y brindarme el amor, comprensión y apoyo motivacional. Al mismo tiempo agradezco a nuestro Asesor Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivero por brindarnos la confianza, tiempo de inversión, aportes y el apoyo emocional.

Nancy Gladis Quispe Ccallo

Primeramente, agradezco a Dios por darme la fortaleza para seguir adelante y por permitirme estudiar en la Universidad Peruana Unión y realizar nuestro artículo de investigación sobre Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas

Así mismo agradezco a mi padre Eusebio Pariguana Huaman, mi madre Teodocia Castillo Condorimay y mis hermanos por ser los motores mayores durante el proceso de mi formación académica. Al mismo tiempo agradezco a mi asesor Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivero y a los dictaminadores por brindarnos la confianza, tiempo de inversión, aportes y el apoyo emocional. Por último, agradezco a la universidad por permitirme obtener el grado de título de Ingeniero Ambiental.

Yequelin Yudith Pariaguana Castillo

INDICE GENERAL

RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1. Muestreo del agua subterránea	9
2.2. Obtención del adsorbente	9
2.3. Diseño estadístico experimental	10
2.4. Ensayo de adsorción.....	11
2.5. Características de las muestras de biomasa.....	11
2.6. Isotermas de adsorción	12
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	13
3.1. Parámetros determinados de la muestra in situ	13
3.2. Caracterización y composición del adsorbente	13
3.3. Efecto de la concentración de As (III) en la adsorción	14
3.4. Isotermas de adsorción de la cáscara de naranja.....	15
3.5. Isotermas de adsorción del bagazo de naranja	16
3.6. Adsorción de la pepa de naranja	17
4. CONCLUSIÓN	18
REFERENCIAS	19

ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON RESIDUOS DE NARANJA EN CONDICIONES ALTOANDINAS

RESUMEN

El presente estudio evalúa las isotermas de adsorción de arsénico (III) con la biomasa de los residuos de naranja (pepa, bagazo y cáscara) en condiciones altoandinas. Iniciando con la obtención de la biomasa de los residuos de la naranja, y la determinación de As de una muestra de agua subterránea de la zona sur de la ciudad de Juliaca-Perú. Para los ensayos adsorción se empleó el equipo de test de jarras (200 rpm en 2 horas), con un diseño estadístico experimental de 3A x 4B; factor A (residuos de naranja, a1= cáscara, a2= Pepa y a3= bagazo) y factor B (masa de residuos b1=2, b2=3, b3=4 y b4=5), a un pH 5, en vasos precipitados de 500 mL. Para determinar la concentración de As (III) se realizó con el método de dietilditiocarbamato de plata. Además, se realizó la caracterización de las biomásas mediante el análisis de composición química de espectrometría de fluorescencia de rayos X. Los resultados de caracterización de los bioadsorbentes presentan mayor cantidad de calcio y óxido de calcio. Las mejores biomásas de adsorción de dan a los 5g para la pepa (98.10%), bagazo (97.89%) y para la cáscara se presenta a los 4g (97.59%). Los datos obtenidos determinaron las isotermas de Langmuir, Freundlich y Temkin. Los datos experimentales mostraron mayor ajuste en la isoterma de Langmuir para las tres biomásas, en el proceso de adsorción de As(III).

Palabras clave: adsorción, arsénico, residuo de naranja, isotermas, aguas subterráneas.

ARSENIC ADSORPTION ISOTHERMS FROM GROUNDWATER WITH ORANGE WASTE IN HIGH ANDEAN CONDITIONS

ABSTRACT

The current study assesses the adsorption isotherms of arsenic (III) using orange waste biomass (seed, bagasse, and peel) under high Andean conditions. The process involved obtaining orange waste biomass and determining As levels in a groundwater sample from the southern area of Juliaca, Perú. Adsorption tests were conducted using jar test equipment (200 rpm for 2 hours) with a 3A x 4B experimental statistical design. Factor A represented orange waste components (a1= peel, a2= seed, a3= bagasse), and factor B represented waste mass (b1=2, b2=3, b3=4, b4=5), at pH 5, in 500 mL precipitate glasses. As(III) concentration was determined using the silver diethyldithiocarbamate method. Biomass characterization involved analyzing chemical composition via X-ray fluorescence spectrometry. Results showed a higher amount of calcium and calcium oxide in the bioadsorbents. The most effective adsorption biomasses were 5g for seeds (98.10%) and bagasse (97.89%), and 4g for peel (97.59%). Langmuir, Freundlich, and Temkin isotherms were determined based on the data obtained. The experimental data exhibited a better fit with the Langmuir isotherm for all three biomasses in the As(III) adsorption process.

Keywords: adsorption, arsenic, orange residue, isotherms, groundwater.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), la contaminación del agua subterránea con arsénico (As) en el suministro de agua para consumo humano es un problema para la salud. Aproximadamente, 296 millones de personas obtienen agua de pozos y, de cada 100 pacientes ingresados en hospitales con problemas agudos, 7 pacientes provienen de países de ingresos altos, quince pacientes de países de ingresos medianos y los países de bajos ingresos contraen infecciones relacionadas con la atención sanitaria durante su estancia hospitalaria. Además, el agua del subsuelo puede contener productos químicos como arsénico y fluoruros en cantidades elevadas debido a lixiviados de tuberías de conducción.

El arsénico es el tercer elemento del grupo V de la tabla periódica, con número atómico 32 y masa atómica relativa de 74.92 (Rahdar et al., 2019). El As es un metaloide natural que se encuentra en la corteza terrestre y tiene propiedades que se sitúan entre los metales y no metales (Diez-Pérez-Núñez et al., 2021). Rahdar et al. (2019), mencionan que se han reportado numerosos casos de envenenamiento por consumo de agua potable contaminada con As (III) en países como Bangladesh, Argentina, Taiwán, Estados Unidos, Malasia e Irán, donde los niveles de arsénico en el agua superan los límites estándar, especialmente en zonas como Sistan y Baluchistán, Khorasan, Azerbaiyán Oriental y Tuyserkan. El As (III) en concentraciones elevadas es letal para la humanidad, siendo causante de trastornos vasculares, pigmentación dérmica (Enfermedad del pie negro) y cánceres de piel, riñón, vejiga y pulmón (Haque et al., 2007).

Actualmente, las aguas subterráneas para consumo humano están expuestas a altas concentraciones de As(III) (El-Moselhy et al., 2017). De esta manera, Mamani (2019) realizó una investigación sobre la contaminación de aguas subterráneas por As(III) en 20 puntos de muestreo en las poblaciones urbanas marginales del Distrito de Juliaca, Perú, donde se obtuvo una concentración promedio de 73.5 µg/L de As(III). Asimismo, Huillca y Apaza (2019) llevaron a cabo la evaluación de la concentración de As(III) en 10 pozos de aguas subterráneas para consumo humano en la asociación Nueva Jerusalén. De estas, 8 muestras tienen una concentración de As(III) menor a 0.005 mg/L, mientras que las muestras 8 y 10 presentan concentraciones de 0.108 y 0.106 mg/L, superando el Límite Máximo Permisible (LMP) de 0.010 mg/L o 10 µg/L establecido por la Organización Mundial de la Salud.

Hoy en día, diversos investigadores utilizan adsorbentes simples, rentables y respetuosos con el medio ambiente, como los residuos agrícolas, que han demostrado una eficiencia adecuada en la adsorción de los metales contaminantes del agua. Como afirman Vitela-Rodriguez and Rangel-Mendez (2013), llevaron a cabo una investigación sobre la eliminación de arsénico mediante carbones activados modificados con nanopartículas de óxido de hierro. En su estudio, obtuvieron una concentración inicial menor a 1 ppm con pH de 6,7 y 8, y al realizar la adsorción, esta disminuyó considerablemente.

Torres Vargas et al. (2020) llevaron a cabo una investigación sobre la bioadsorción de As (III) en el agua del río Locumba-Tacna. En su estudio, emplearon cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como agente adsorbente, logrando una notable eficacia del 98% en la eliminación de As (III). En una investigación posterior Gutiérrez de la Cruz et al.(2022) evaluaron la capacidad de la vaina de *Phaseolus Vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* para la bioadsorción de As (III) en el río Moche. Inicialmente, el río contenía 0.779 mg/L de As (III), y mediante la utilización de cáscara de naranja como agente de bioadsorción, lograron una remoción del 88.96% de As (III).

Feng et al.(2011) indican que la cáscara de naranja está formada por pigmentos de clorofila, pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina, que contienen muchos grupos funcionales de hidroxilo y elementos de peso molecular bajo, y tiene un alto contenido de carbono (42.70%). Esto permite la adsorción de metales pesados (Torres Laura, et al., 2020). Por ende, la presente investigación se realizó con los residuos de naranja, incluyendo la cáscara y el bagazo. Asimismo, se caracterizó la composición química mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X, donde se obtuvo una mayor concentración de calcio y óxido de calcio.

El presente trabajo de investigación se lleva a cabo en la ciudad de Juliaca, donde la fuente de agua para consumo humano son aguas subterráneas que presentan altos niveles de As(III). Dado que se detectó arsénico en concentraciones elevadas, el punto de muestreo se ubica en el sector urbano marginal salida Arequipa s/n de la ciudad de Juliaca, con un resultado inicial de 0.451 mg/L, el cual supera el LMP de 0.010 mg/L establecido por la Organización Mundial de la Salud.

Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar las isothermas de adsorción de arsénico en agua subterránea mediante residuos de naranja (cáscara, pepa y bagazo) en la Ciudad de Juliaca, Perú, ubicada a una altitud de 3825 m.s.n.m en condiciones altoandinas. En esta región, predominan temperaturas ambientales que oscilan entre 0.5 y 18.8°C (SENAMHI, 2023)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestreo del agua subterránea

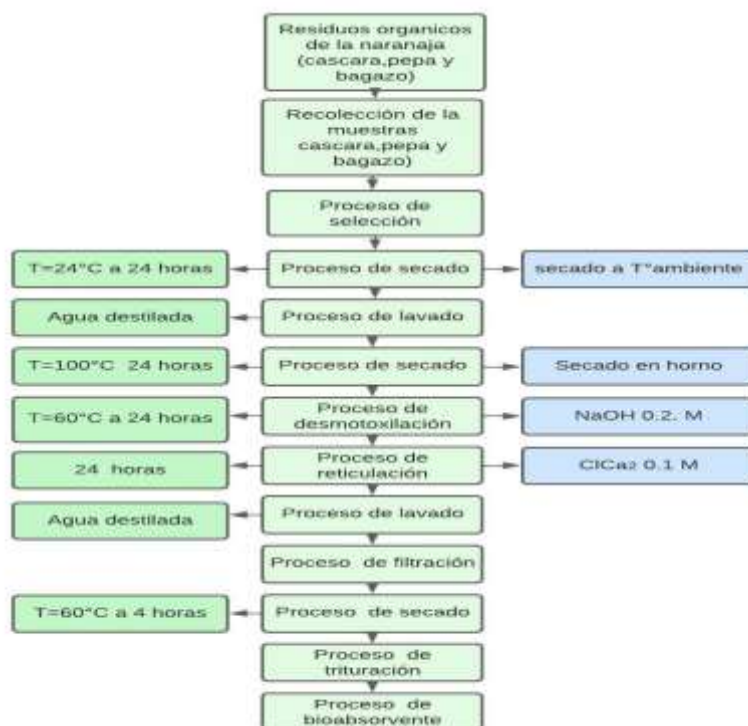
Las muestras de agua subterránea se tomaron en el sector Chullunquiani de la zona sur de la ciudad de Juliaca, con coordenadas (Latitud -15.519732°, Longitud -70.177627°), siguiendo el protocolo establecido por la Dirección General de la Salud Ambiental - DIGESA (2015). Los parámetros determinados in situ para la muestra de agua subterránea fueron el pH, la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), de acuerdo con la metodología APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Cabe mencionar que se utilizaron 40 L de muestras de agua subterránea para realizar el ensayo de Test de jarras y posteriormente llevar a cabo el análisis de arsenito As(III) en el laboratorio de Saneamiento (Universidad Peruana Unión - Filial Juliaca).

2.2. Obtención del adsorbente

Se Se utilizaron los residuos de naranja de la variedad Valencia "Citrus sinensis (L.) Osbeck" (cáscara, pepa y bagazo), obtenidos del Mercado Santa Bárbara (Juliaca, Perú), mediante el proceso de obtención de biomasa descrito por Aguilar Salas y Flores Rodríguez (2018).

Figura 1

Proceso de obtención de las biomásas de los residuos de naranja (cáscara, pepa y bagazo). Adaptado de Aguilar Salas and Flores Rodriguez (2018)



2.3. Diseño estadístico experimental

El diseño estadístico experimental fue un arreglo factorial de 3A x 4B, donde el factor A representaba el tipo de residuos (a1=cáscara, a2=pepa y a3=bagazo), y el factor B representaba la masa de residuos en gramos (b1=2, b2=3, b3=4 y b4=5). Cada experimento se llevó a cabo por triplicado, haciendo un total de 36 unidades experimentales (**Tabla 1**).

Tabla 1

Diseño experimental con diferentes masas de cáscara, pepa y bagazo de naranja.

Biomasa g		Cáscara		Pepa		Bagazo			
2	m2CR1	m2CR2	m2CR3	m2PR1	m2PR2	m2PR3	m2BR1	m2BR2	m2BR3
3	m3CR1	m3CR2	m3CR3	m3PR1	m3PR2	m3PR3	m3BR1	m3BR2	m3BR3
4	m4CR1	m4CR2	m4CR3	m4PR1	m4PR2	m4PR3	m4BR1	m4BR2	m4BR3
5	m5CR1	m5CR2	m5CR3	m5PR1	m5PR2	m5PR3	m5BR1	m5BR2	m5BR3

Donde, “m” es masa, “C” es cáscara de naranja, “P” es pepa de naranja, “B” es el bagazo de naranja, y “R” son las repeticiones.

2.4. Ensayo de adsorción

Para el desarrollo del ensayo de adsorción de As(III), se utilizó la biomasa de los residuos de naranja (cáscara, pepa y bagazo) en cantidades de 2, 3, 4 y 5 g de adsorbentes, colocados en vasos precipitados de 500 mL. Se ajustó el pH a 5 con ácido clorhídrico (HCl) antes de someter las muestras al test de jarra a 200 RPM durante 2 horas. Posteriormente, se filtraron en frascos esterilizados para determinar la concentración final de As(III) mediante el método de dietilditiocarbamato de plata. Cada muestra de adsorción se replicó tres veces para evaluar la efectividad de la adsorción. Todos los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Saneamiento de la Universidad Peruana Unión - Filial Juliaca.

Figura 2

Ajuste del Potencial de Hidrógeno y ensayo del Test de Jarras



2.5. Características de las muestras de biomasa

La fluorescencia de rayos X es una técnica multielemental no destructiva y ampliamente utilizada en el estudio de la composición de las materias primas. Por lo tanto, se evaluaron las fuentes alfa de los adsorbentes (Cordero y Pinedo, 2021).

Los adsorbentes se caracterizaron mediante el análisis de la Composición Química Elemental y la composición química de óxidos por Espectrometría de Fluorescencia de rayos X de energía dispersa. El equipo empleado para el desarrollo de los análisis fue el Shimadzu-edx-800 HS y se llevó a cabo en el laboratorio de investigación y certificaciones (LABICER) de la Universidad Nacional de Ingeniería - Perú.

Figura 3

Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X de energía dispersa (SHIMADZU, EDEX-800HS).



Nota 1: Se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI, 2023)

2.6. Isotermas de adsorción

Las isotermas están relacionadas con la capacidad de adsorción del adsorbente y la concentración de equilibrio, permitiendo el equilibrio del sistema de As (III) (Pellegrini y De Celis, 2023). Las isotermas de adsorción se obtuvieron a partir de la cantidad de biomasa de los residuos de naranja (2, 3, 4 y 5 g), con una concentración inicial de As (III) de 0.451 mg/L y la concentración final después de la adsorción.

Los datos de la isotermas de adsorción se ajustaron a la isotermas de Langmuir (Ecuación 1), Freundlich (Ecuación 2) y Temkin (Ecuación 3) de la siguiente manera, de forma lineal (Beltrán-Suito, 2015).

$$\frac{1}{X/M} = \frac{1}{K_L b} * \frac{1}{C_e} + \frac{1}{b} \quad (1)$$

En la ecuación 1, “X” representa la cantidad de contaminante adsorbido ($C_0 - C_e$) (mg); “M” es la cantidad de residuos de naranja (g); “b” es la constante de capacidad de adsorción (mg/g); K_L es la Constante de energía de adsorción (L/mg); y “ C_e ” es la concentración de equilibrio (mg/L) (Dobrosz-Gómez et al., 2018).

$$\text{Log} \left(\frac{X}{M} \right) = \text{Log} K_F + \frac{1}{n} \text{log} C_e \quad (2)$$

En la ecuación 2 “X” representa la cantidad de contaminante que absorbe ($C_0 - C_e$) (mg); “M” es la cantidad de residuos de naranja (g); “b” es la constante de capacidad de adsorción (mg/g); “ K_F ” es la constante de energía de adsorción (L/mg); y “ C_e ” es la concentración de equilibrio (mg/L) (Díaz Llantop y Palacios Beltrán, 2023).

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T) + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (3)$$

En la ecuación 3 “ q_e ” representa la capacidad de adsorción de equilibrio (mg/g); “ R ” es la constante universal de gases (KJ/mol.J); “ T ”, Temperatura absoluta (K); “ K_T ” constante de equilibrio de Temkin (L/g); “ C_e ”, concentración de soluto en el equilibrio (mg/L); y “ b ”, variación de energía de adsorción (J/mol) (Hincapié et al., 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Parámetros determinados de la muestra in situ

Se realizaron los análisis de los parámetros de la muestra de agua subterránea in situ; como resultados, se obtuvo un pH de 6.83, una temperatura de 13.4 °C, una conductividad eléctrica de 773 μ S/cm y una turbidez de 7.32 UNT.

3.2. Caracterización y composición del adsorbente

Feng et al. (2011) mencionan que la cáscara de naranja tiene un alto contenido de celulosa, pectina (ácido galacturónico), hemicelulosa y lignina. Por ello, en la **Tabla 2** se realiza la caracterización de la composición química elemental y composición química de óxidos de las biomásas del bagazo, pepa y cáscara de naranja.

Tabla 2

Composición química elemental de las biomásas de bagazo, pepa y cáscara de naranja

Composición química elemental	Composición química de óxidos	Bagazo de naranja	Cáscara de naranja	Pepa de naranja
Azufre (% S)	Química elemental	0.92	1.09	4.22
	Química de Óxido	1.91	2.26	7.57
Cobre (% Cu)	Química elemental	0.56	0.56	0.36
	Química de Óxido	0.47	0.26	0.26
	Química elemental	0.53	0.53	0.26
Estroncio (% Sr)	Química de Óxido	0.46	0.2	0.2
Calcio (% Ca)	Química elemental	95.52	94.31	66.57
	Química de Óxido	92.84	91.87	57.7
Fósforo (% P)	Química elemental	0.42	0.54	12
	Química de Óxido	0.77	0.98	19.52
Hierro (% Fe)	Química elemental	1.48	1.02	1.81
	Química de Óxido	1.38	0.94	1.48
Potasio (% K)	Química elemental	0.39	0.93	3.87
	Química de Óxido	0.36	0.86	3.1
Silicio (% Si)	Química elemental	0.008	1.28	1.07
	Química de Óxido	1.48	2.38	1.79
Zinc (% Zn)	Química elemental	0.38	0.33	0.46
	Química de Óxido	0.32	0.27	0.34
Magnesio (% Mg)	Química elemental	*	*	9.38
	Química de Óxido	*	*	8.05

La **Tabla 2** muestra la composición elemental química de las biomásas derivadas de naranja, con una mayor presencia de calcio (95.52%) y zinc (1.28%) para el bagazo. En el caso de la pepa, se observa Ca (66.57%), Zn (0.46%) y Mg (9.38%), mientras que la cáscara está compuesta por Ca (94.31%) y Si (1.28%). Según Feng et al. (2011), la biomasa de la cáscara de naranja es ligera y tiene una superficie moderada para la adsorción de iones de metales. Podemos afirmar que la adsorción de arsénico se realiza mediante los componentes químicos elementales.

La **Tabla 2** muestra composición química de óxidos de las biomásas de bagazo de naranja, pepa de naranja y cáscara de naranja. Los análisis indican que el bagazo tiene 92.84% de CaO, la cáscara un 91.87% de CaO, pepa de naranja 57.70% de CaO. En cantidades bajas de óxidos se tienen P2O5, MgO, SO3, K2O, SiO2, Fe2O3, ZnO, CuO, SrO. La biomasa de los residuos de la naranja es un material orgánico compuesto de óxido de calcio, óxido de potasio, óxido de aluminio, ácido fosfórico y sílice, de adsorbiendo de esta manera los metales pesados (Cordero y Pinedo, 2021).

González-Chávez et al. (2023), en su proyecto de investigación sobre la elucidación del mecanismo de remoción de arsénico en disolución acuosa con residuos metalúrgicos, confirman que el responsable de la adsorción de arsénico es el hierro. Cuando se tienen concentraciones bajas de fosfato y calcio, el hierro puede remover exitosamente el arsénico. En esta investigación, se encontró hierro en el bagazo (1.48%), la cáscara (1.02%) y la pepa (1.81%), lo que sugiere que el hierro contribuyó a la remoción del arsénico.

Asimismo, Acuña-Piedra et al. (2016) llevaron a cabo una investigación teórica para la selección de adsorbentes potenciales y de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano en Costa Rica. Concluyeron que los materiales adsorbentes ricos en óxidos, principalmente de hierro, titanio, aluminio, manganeso y titanio, pueden utilizarse eficazmente como adsorbentes de arsénico.

3.3. Efecto de la concentración de As (III) en la adsorción

La Tabla 3 presentan los resultados de la adsorción de arsénico, donde se detalla el porcentaje de adsorción de As (III) ante la mayor concentración de calcio y óxido de calcio en las biomásas de la cáscara de naranja, pepa de naranja y bagazo de naranja. Estos hallazgos respaldan la existencia de una mayor capacidad de adsorción de As (III).

Tabla 3

Resultado de la adsorción de arsénico de la biomasa de cáscara, pepa y bagazo de naranja.

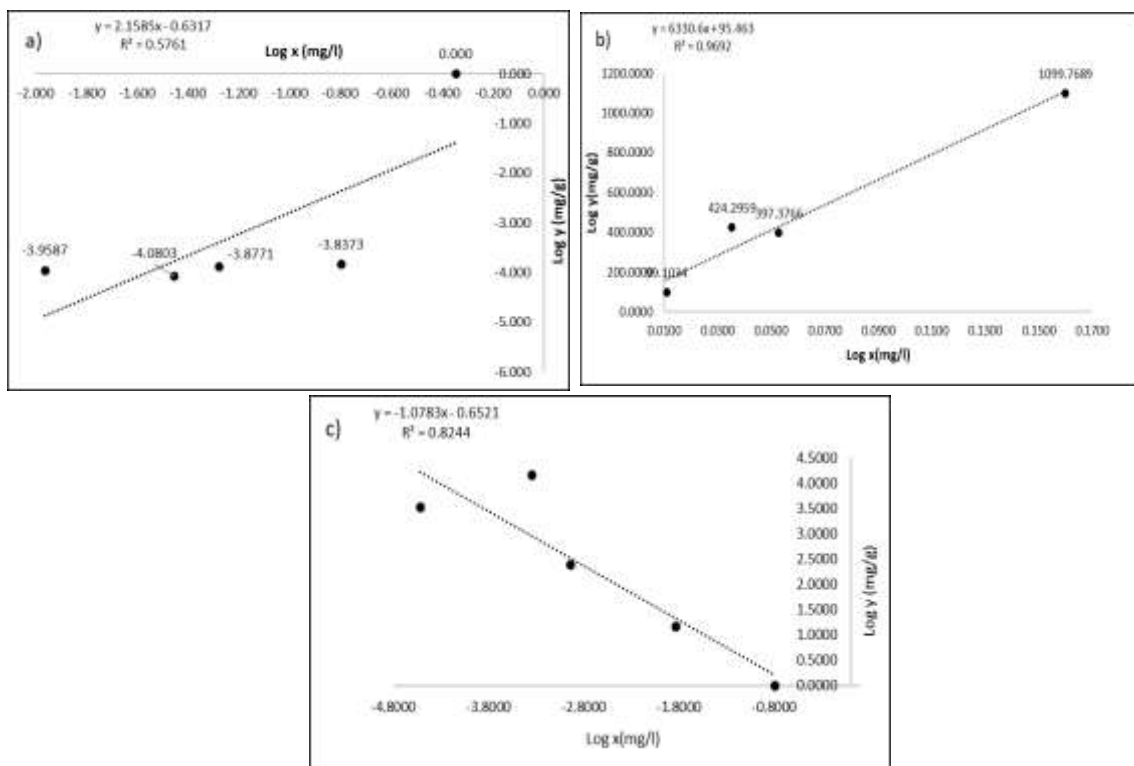
Peso(g)	Concentración inicial de As(III)	Adsorción de As (III) con Cáscara		Adsorción de As (III) con Bagazo		Adsorción de As (III) con Pepa	
		(mg/L)	(%)	(mg/L)	(%)	(mg/L)	(%)
2	0.451	0.160	65.52	0.121	73.15	0.230	48.99
3	0.451	0.053	88.30	0.048	89.41	0.073	97.55
4	0.451	0.011	97.59	0.011	97.43	0.011	97.55
5	0.451	0.035	92.18	0.009	97.89	0.009	98.10

Los resultados presentados en la **Tabla 3** destacan la eficiencia de adsorción de As(III), partiendo de un valor inicial de 0.451 mg/L de As (III), que supera los LMP establecidos por la OMS. En consonancia, Mamani (2019), llevó a cabo una investigación sobre la contaminación de arsénico en aguas subterráneas del Distrito de Juliaca, encontrando una media de 73.5 µg/L, que supera el LMP de 10 µg/L establecido por la Organización Mundial de la Salud.

3.4. Isotermas de adsorción de la cáscara de naranja

Figura 4

Isoterma linealizada de Freundlich(a), Langmuir(b) y Temkin(c) de la cáscara de naranja.



Se llevó a cabo la adsorción de As(III) utilizando biomasa de la cáscara de naranja en diferentes cantidades: 2, 3, 4 y 5 g. Se observó una variación en los niveles de remoción, logrando una reducción promedio de 0.15996 mg/L con 2 g, 0.05273 mg/L con 3 g, 0.01090 mg/L con 4 g y 0.03527 mg/L con 5 g. Estos resultados indican que el tratamiento con 4 y 5 g ha logrado las mejores remociones de As en aguas para consumo humano, ya que se sitúa por debajo de los 0.01 mg/L. Además, se presentan las isotermas de Freundlich(a), Langmuir(b) y Temkin(c) (**Figura 4**).

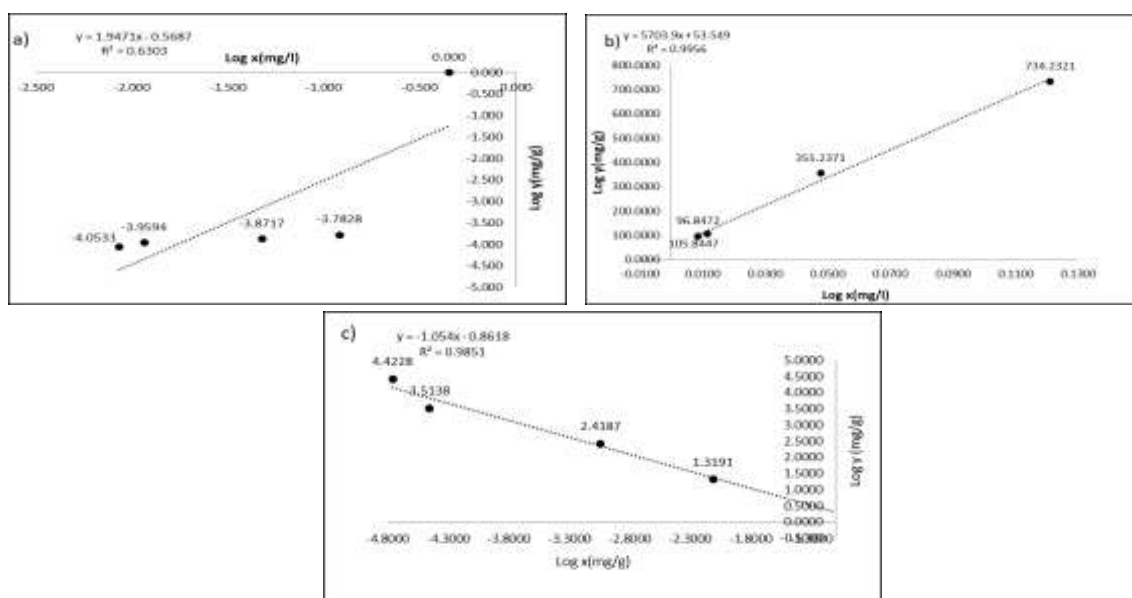
Así se evidencia que una mayor concentración y tiempo de contacto conducen a una mejor eficacia en la remoción. Este hallazgo es consistente con la investigación de Torres Vargas et al. (2020), que empleó la biomasa de la cáscara de naranja para adsorber arsénico del río Locumba en la ciudad de Tacna, obteniendo resultados positivos en la adsorción de As(III).

3.5. Isotermas de adsorción del bagazo de naranja

La aplicación del tratamiento experimental se realizó por un periodo de 72 horas, con una temperatura constante de 37°C y a una humedad relativa constante de 84% proporcionada por el agua destilada. En el transcurso del tratamiento se efectuaron mediciones correspondientes al pH y Hg.

Figura 5

Isotermas linealizada de Freundlich(a), Langmuir(b) y Temkin(c) para el bagazo de naranja.



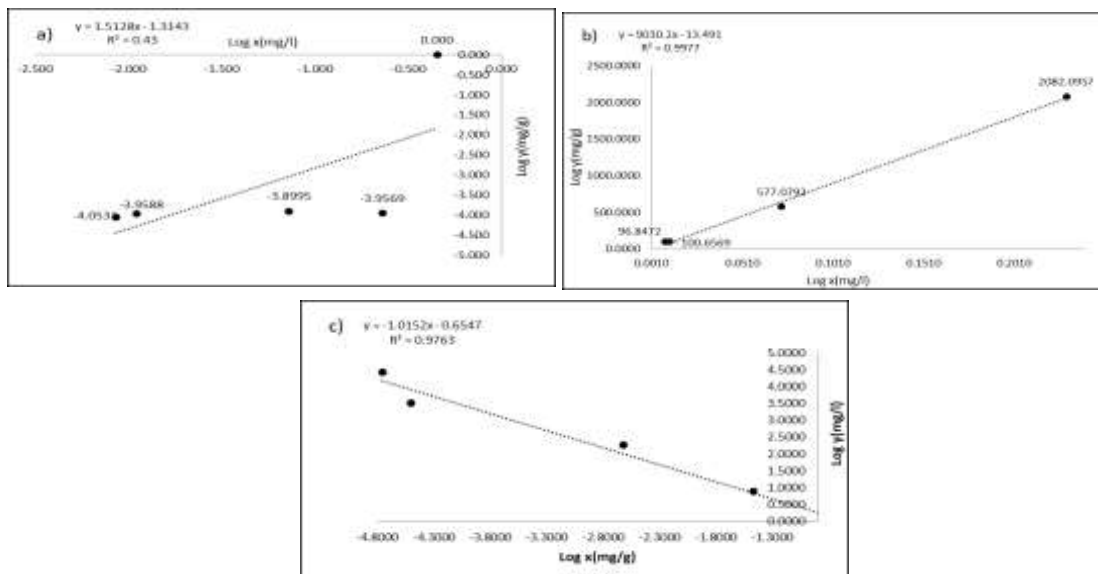
Los resultados más destacados en la adsorción de arsénico se obtuvieron con el bagazo de naranja, variando las concentraciones. Se observó que, a mayor concentración, se lograba una mejor adsorción de As. Los resultados promedio de tres repeticiones fueron los siguientes: con 2 g se logró adsorber 0.121067 mg/L, con 3 g 0.047733 mg/L, con 4 g 0.011622 mg/L y, finalmente, con 5 g se obtuvieron los mejores resultados de 0.008567 mg/L (**Figura 5**).

Según, Mendoza y Molina (2015) las biomásas derivadas de la cáscara de naranja, tuna y algas rojas se utilizan para la remoción de metales pesados como zinc, cadmio y plomo, evidenciando cambios significativos en la adsorción del plomo y cadmio, siendo menos efectivas para el zinc. Estos resultados demuestran que las biomásas capturan los metales removidos.

3.6. Adsorción de la pepa de naranja

Figura 6

Isoterma linealizada de Freundlich(a), Langmuir(b) y Temkin(c) de la pepa de naranja.



De igual forma, Sun-Kou et al. (2014) investigó la adsorción de metales pesados, como plomo, cadmio y cromo, utilizando semillas de aguaje, un fruto amazónico. Estas semillas se procesaron hasta obtener carbón activado, con un pH controlado entre 4 y 5.

En la investigación, se empleó la biomasa de la pepa de naranja como adsorbente de arsénico, variando las cantidades de biomasa. Con 2 g, logramos una adsorción de 0.2996 mg/L, con 3 g reducimos la concentración en 0.07273 mg/L, con 4 g removimos 0.01107 mg/L y, finalmente, con 5 g adsorbimos 0.00857 mg/L. La eficacia de la adsorción de arsénico se atribuye a la composición de calcio presente en la biomasa.

Las isothermas de adsorción de As (III) Langmuir se presentan en las **Figuras 4, 5 y 6**. La linealización del equilibrio reveló constantes del modelo que respaldan de manera aceptable el comportamiento de las biomásas de cáscara, pepa y bagazo de naranja.

Asimismo, observamos las isothermas de adsorción de Freundlich en las **Figuras 4, 5 y 6**, confirmando que este modelo describe adecuadamente el proceso de adsorción de As (III) con las biomásas tratadas.

El modelo de adsorción de Temkin se exhibe en las Figuras 4, 5 y 6, mostrando isothermas lineales que describen de manera adecuada los resultados. La máxima adsorción de arsénico con la pepa de naranja alcanza los 0.009 mg/L. Además, los resultados se ajustan al modelo Langmuir con un valor de R^2 de 0.9977, al Freundlich con un valor de R^2 de 0.43, y al Temkin con un valor de R^2 de 0.9763.

Como se puede observar en las Figuras 4, 5 y 6 de las isothermas de adsorción de As (III) Langmuir, y en relación a la isoterma de Langmuir, el proceso de linealización del equilibrio permitió la determinación de las constantes del modelo. Esto se presenta de manera lineal, lo cual es aceptable para las biomásas de cáscara, pepa y bagazo de naranja.

Asimismo, se presentan las isotermas de adsorción de Freundlich en las Figuras 4, 5 y 6, destacando que los modelos asociados a esta isoterma describen de manera adecuada el proceso de adsorción de As (III) con las biomásas tratadas. Además, la isoterma de adsorción de Temkin se visualiza en las mismas figuras, confirmando que las isotermas se presentan de manera lineal, lo cual describe de manera apropiada el comportamiento lineal de estos modelos.

Las isotermas, como modelos matemáticos, nos permiten describir e ilustrar tanto el proceso como el grado de adsorción (Rivas, 2016). Pellegrini y De Celis (2023), señalan que existen diversos modelos de isotermas adaptados a diferentes tipos de estudios, siendo las isotermas de Freundlich y Langmuir las más aplicables para la adsorción de metales.

En particular, la ecuación de Langmuir(b) demostró una correlación destacada con el proceso de adsorción, con valores de R de 0.9692 para la cáscara, 0.09956 para el bagazo y 0.9977 para la pepa. Estos resultados indican que las isotermas de adsorción se ajustan de manera precisa a los modelos de Langmuir, lo cual es fundamental en el análisis de datos para determinar la máxima capacidad de bioadsorción (Tapia et al., 2003).

4. CONCLUSIÓN

En esta investigación, se emplearon biomásas de los residuos de naranja (cáscara, pepa y bagazo) para llevar a cabo la adsorción de As (III) mediante el test de jarras, registrando las concentraciones inicial y final de la muestra de agua subterránea.

Se realizaron evaluaciones de isotermas de adsorción, determinando resultados favorables en los modelos de Langmuir, Freundlich y Temkin de forma lineal, partiendo de una concentración inicial de As (III) de 0.451 mg/L. Los resultados finales con el uso de los adsorbentes mostraron la mayor reducción de As (III) con 5 gramos, alcanzando 0.008 mg/L con el bagazo, 0.035 mg/L con la cáscara de naranja y 0.009 mg/L con la pepa. Se concluye que los mejores resultados de adsorción se obtuvieron con 5g para la pepa (98.10%), el bagazo (97.89%) y para la cáscara a los 4g (97.59%). Los datos experimentales se ajustaron de manera significativa a la isoterma de Langmuir, indicando que el proceso de adsorción de As(III) ocurre en centros energéticamente heterogéneos, con una interacción físico-química entre las moléculas adsorbidas, el metal y el adsorbente.

Los resultados experimentales de la adsorción de As (III) con las biomásas de 5 gramos de bagazo y pepa de naranja fueron comparados con los LMP de 0.010 mg/L establecidos por la OMS. Obteniendo resultados que se encuentran dentro del parámetro permisible para el consumo humano, demostrando la eficacia de los adsorbentes derivados de los residuos de naranja en la remoción de arsénico.

REFERENCIAS

- Acuña-Piedra, A., Araya-Obando, A., & Romero-Esquivel, L. G. (2016). Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(6), 23. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i6.2899>
- Aguilar Salas, M., & Flores Rodriguez, C. (2018). *Evaluación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como material adsorbente natural de ion metálico Cu(II)*. 1–113. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7105>
- Beltrán-Suito, R. (2015). *Aplicación de un diseño experimental factorial en el estudio de la adsorción de fenol y nitrofenoles con nanofibras de carbono*. 92. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6456>
- Cordero, M. del P., & Pinedo, A. R. (2021). Remoción de plomo usando un prototipo de biofiltro, cascara de naranja en aguas del Rio Santa, Sector Chuquicara – Ancash, 2021. *Google Academico*, 1–71. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma_GM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz Llantop, D., & Palacios Beltrán, K. (2023). *Evaluación de las características de exposición al arsénico en el agua que consumen 4 centros poblados del distrito de Candarave – Tacna, Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/20160>
- Díez-Pérez-Núñez, D., Colmán, D., García, L., Nakagoe, S., Ramírez, K., Torres, O., Olivares, J. C., & Mereles, L. (2021). Optimización del método de digestión por microondas y espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruro para la cuantificación de arsénico en diferentes matrices. *South Florida Journal of Development*, 2(5), 7102–7110. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n5-057>
- DIGESA. (2015). Resolución Directorial N°160-2015-DIGESA. In *Resolución Directoral* (Vols. 160–2015, p. 23). http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd_160_2015_digesa.pdf
- Dobrosz-Gómez, I., Gómez, M. Á., & Santa, C. (2018). Optimization of the Cr(VI) adsorption process on bituminous activated carbon. *Informacion Tecnologica*, 29(6), 43–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600043>
- El-Moselhy, M. M., Ates, A., & Çelebi, A. (2017). Synthesis and characterization of hybrid iron oxide silicates for selective removal of arsenic oxyanions from contaminated water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 488, 335–347. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.003>
- Feng, N., Guo, X., Liang, S., Zhu, Y., & Liu, J. (2011). Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel. *Journal of Hazardous Materials*, 185(1), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.114>
- González-Chávez, J. L., Chiken Soriano, A., Martín Romero, F., & Cenicerros-Gómez, A. E. (2023). Elucidation of the arsenic removal mechanism in aqueous solution with metallurgical waste. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 39, 25–42. <https://doi.org/10.20937/RICA.54399>
- Gutiérrez de la Cruz, A., Ibañez Arteaga, Y., Alva-Díaz, L., & Effio-Quezada, W. (2022). “Efficiency of *Phaseolus vulgaris* Pod and *Citrus sinensis* Peel in Arsenic Biosorption from Moche River Water.” 2022-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.633>

- Haque, M. N., Morrison, G. M., Perrusquía, G., Gutierréz, M., Aguilera, A. F., Cano-Aguilera, I., & Gardea-Torresdey, J. L. (2007). Characteristics of arsenic adsorption to sorghum biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1–2), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.080>
- Hincapié, G., Cardona, S., & Ríos, L. A. (2018). *Estudio termodinámico de la adsorción de un colorante azóico por medio de un residuo lignocelulósico en medio acuoso*. 36. <https://www.redalyc.org/journal/852/85259531007/>
- Hood, S. K., & Zottola, E. A. (1997). Isolation and Identification of Adherent Gram-Negative Microorganisms from Four Meat-Processing Facilities. *Journal of Food Protection*, 60(9), 1135–1138. <https://doi.org/https://doi.org/10.4315/0362-028X-60.9.1135>
- Huillca, M., & Apaza, L. (2019). Evaluación de la concentración de arsénico en aguas subterráneas para consumo humano en la Asociación Nueva Jerusalén, Juliaca - Puno. *Universidad Peruana Unión*, 1–12. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2611/Martha_Trabajo_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Laura, T., Choquecota Mena, R., Mamani Coaquera, G., Ticona Quispe, P., Sanga Franco, M., & Gutierrez Flores, I. (2020). Bioadsorción de arsénico del agua del río Locumba utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, 19(26), 41–47. <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.26.931>
- Mamani, W. (2019). Contaminación de las aguas subterráneas por arsénico (As) el Distrito de Juliaca - Perú. In *Ñawparisun* (Vol. 1, p. 36). <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/bitstream/handle/UNAJ/59/31-36.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez-Sánchez, L., Vasallo, F. J., García-Garrote, F., Alcalá, L., Rodríguez-Créixems, M., & Bouza, E. (1998). Clinical isolation of a DF-3 microorganism and review of the literature. *Clinical Microbiology and Infection*, 4(6), 344–346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.1998.tb00070.x>
- Mendoza, L. V., & Molina, N. F. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 43–60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91139263004>
- Organizacion Mundial de la Salud. (2023). *Agua para consumo humano*. Organizacion Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pellegrini, J., & De Celis, J. (2023). Optimización de Isotermas de adopción mediante Simulated Annealing. *Revista Politécnica*, 19(38), 30–37. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n38a2>
- Rahdar, S., Taghavi, M., Khaksefidi, R., & Ahmadi, S. (2019). Adsorption of arsenic (V) from aqueous solution using modified saxaul ash: isotherm and thermodynamic study. *Applied Water Science*, 9(4), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0974-0>
- Rivas, V. (2016). *Isoterma de langmuir y freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácido nucleico sobre WO3 SABER*. 0–49. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739465008.pdf>
- SENAMHI - Perú. (2023). *Pronóstico del tiempo para Juliaca (Puno)*. SENAMHI - Perú.

<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=21&localidad=0020>

- Shahzadi, S., Khan, Z., Rehman, A., Nisar, M. A., Hussain, S. Z., & Asma, S. T. (2019). Isolation and characterization of bacillus amyloliquefaciens 6A: A novel kerosene oil degrading bacterium. *Environmental Technology & Innovation*, 14, 100359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100359>
- Sun-Kou, M. del R., Obregón-Valencia, D., Pinedo-Flores, Á., Paredes-Doig, L., & Aylas-Orejón, J. (2014). Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Rev Soc Quím Perú*, 80(4), 2014. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000400002
- Tapia, N., Muñoz, J., Torres, F., & Yarango, A. (2003). Biosorción de Pb(II) por cáscara de naranja, citrus cinesis, modificada. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 5(2), 48–53. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/4905/3974/0>
- UNI. (2023). *INFORME DE ENSAYO N° 1350 – 23 – LABICER 1. 10*, 585.
- Vitela-Rodriguez, A. V., & Rangel-Mendez, J. R. (2013). Arsenic removal by modified activated carbons with iron hydro(oxide) nanoparticles. *Journal of Environmental Management*, 114, 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.004>

ANEXOS

Anexo 1.

Evidencia de sumisión del artículo

De: Helena Rivas López <tyca.ojs@gmail.com>
Enviado: lunes, 18 de diciembre de 2023 23:23
Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>
Asunto: [tca] Acuse de recibo de envío

Hola Juan Eduardo Vigo Rivera:

Gracias por enviar el manuscrito "Isoterma de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas: Arsenic adsorption isotherm of groundwater with orange residues in high andean conditions" 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/3777>

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/avisos-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 DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

RESOLUCIÓN N° 0954-2023/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 12 de diciembre de 2023

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Nancy Gladis Quispe Ccallo** identificado(a) con código universitario N° **201710593** y **Yequefin Yudith Pariguana Castillo** identificada(a) con código universitario N° **201712499**, 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 "Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas", presentado por los(las) bachilleres **Nancy Gladis Quispe Ccallo** y **Yequefin Yudith Pariguana Castillo**, 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 12 de diciembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Nancy Gladis Quispe Ccallo** y **Yequefin Yudith Pariguana Castillo**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 21 de diciembre de 2023, 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. Enrique Mamani Cuela
Secretario: MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra
Asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Vocal 1: MSc. Louyda Abigail Condori Turpo
Vocal 2: Ing. Nancy Curasi Rafael

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

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

Anexo 3.

Panel fotográfico de la ejecución del proyecto de investigación.

Figura 1:

Obtención de adsorbente de las biomásas de naranja



Figura 2:

Peso de los residuos de naranja



Figura 3:

Ajuste de pH 5 de la muestra de agua



Figura 4:

Proceso de prueba de jarra con las biomásas de residuos de naranja



Anexo 4.

Informes de análisis de composición química por espectrometría de fluorescencia de rayos x de los residuos de naranja (Cascara, bagazo y pepa).



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



INFORME DE ENSAYO N° 1349 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : YEQUELIN YUDITH PARIGUANA CASTILLO/
NANCY GLADIS QUISPE CCALLO
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 74054864 / 75659902
 - 1.3. DIRECCIÓN : -
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 02 / 11 / 2023
 - 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 03 / 11 / 2023
 - 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 07 / 11 / 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 : VEGETALES
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PEPA DE NARANJA CON CLORURO DE SODIO
TESIS : "Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con residuos de naranja en condiciones altoandinas".
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : ENVASE PLÁSTICO
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.4°C; Humedad relativa: 61%
- 7. RESULTADOS**
 - 7.1. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Calcio, Ca	66.574	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Fósforo, P	12.000	%	
Magnesio, Mg	9.376	%	
Azufre, S	4.221	%	
Potasio, K	3.867	%	
Hierro, Fe	1.813	%	
Silicio, Si	1.066	%	
Zinc, Zn	0.461	%	
Cobre, Cu	0.360	%	
Estroncio, Sr	0.260	%	

⁽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-900HS.



7.2. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADA EN ÓXIDOS

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Óxido de calcio, CaO	57.701	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(2,3)
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	19.521	%	
Óxido de magnesio, MgO	8.049	%	
Óxido de azufre, SO ₂	7.566	%	
Óxido de potasio, K ₂ O	3.099	%	
Óxido de silicio, SiO ₂	1.785	%	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	1.479	%	
Óxido de zinc, ZnO	0.339	%	
Óxido de cobre, CuO	0.263	%	
Óxido de estroncio, SrO	0.198	%	

⁽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. David Rojas M.
Analista
LABICER – UNI




M.Sc. Ily Mariú 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 pepa de naranja con cloruro de sodio.



FIGURA N°2. Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva (SHIMADZU, EDX-800HS).





INFORME DE ENSAYO N° 1350 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : YEQUELIN YUDITH PARIGUANA CASTILLO/
NANCY GLADIS QUISPE CCALLO
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 74054864 / 75659902
 - 1.3. DIRECCIÓN : -
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 02 / 11 / 2023
 - 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 03 / 11 / 2023
 - 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 07 / 11 / 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 : VEGETAL
 - 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE BAGAZO DE NARANJA CON CLORURO
DE SODIO
TESIS : "Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con
residuos de naranja en condiciones altoandinas".
 - 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : ENVASE PLÁSTICO
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.4°C; Humedad relativa: 61%
- 7. RESULTADOS**
 - 7.1. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Calcio, Ca	95.515	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Hierro, Fe	1.483	%	
Azufre, S	0.917	%	
Silicio, Si	0.800	%	
Cobre, Cu	0.564	%	
Estroncio, Sr	0.528	%	
Fósforo, P	0.424	%	
Potasio, K	0.388	%	
Zinc, Zn	0.382	%	

⁽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⁾
Óxido de calcio, CaO	92.841	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(2,3)
Óxido de azufre, SO ₃	1.912	%	
Óxido de silicio, SiO ₂	1.483	%	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	1.379	%	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.770	%	
Óxido de cobre, CuO	0.471	%	
óxido de estroncio, SrO	0.461	%	
Óxido de potasio, K ₂ O	0.362	%	
Óxido de zinc, ZnO	0.321	%	

⁽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. David Rojas M.
Analista
LABICER – UNI




M.Sc. Ily Maritú 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 bagazo de naranja con cloruro de sodio.



FIGURA N°2. Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva (SHIMADZU, EDX-800HS).





INFORME DE ENSAYO N° 1351 – 23 – LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
- 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : YEQUELIN YUDITH PARIGUANA CASTILLO/
NANCY GLADIS QUISPE CCALLO
- 1.2. D.N.I / R.U.C. : 74054864 / 75659902
- 1.3. DIRECCIÓN : -
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
- 2.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 02 / 11 / 2023
- 2.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 03 / 11 / 2023
- 2.3. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME : 07 / 11 / 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 : VEGETAL
- 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CÁSCARA DE NARANJA CON CLORURO
DE SODIO
- TESIS : "Isotermas de adsorción de arsénico de agua subterránea con
residuos de naranja en condiciones altoandinas".
- 4.3. OBSERVACIONES (SI APLICA) : ENVASE PLÁSTICO
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS** : LABORATORIO LABICER-UNI
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.4°C; Humedad relativa: 61%
- 7. RESULTADOS**
- 7.1. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
Calcio, Ca	94.305	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Silicio, Si	1.284	%	
Azufre, S	1.088	%	
Hierro, Fe	1.024	%	
Potasio, K	0.925	%	
Fósforo, P	0.539	%	
Estroncio, Sr	0.507	%	
Zinc, Zn	0.328	%	

⁽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⁾
Óxido de calcio, CaO	91.867	%	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(2,3)
Óxido de silicio, SiO ₂	2.380	%	
Óxido de azufre, SO ₃	2.263	%	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.978	%	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.942	%	
Óxido de potasio, K ₂ O	0.860	%	
Óxido de estroncio, SrO	0.438	%	
Óxido de zinc, ZnO	0.273	%	

⁽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. David Rojas M.
Analista
LABICER – UNI




M.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 cáscara de naranja con cloruro de sodio.



FIGURA N°2. Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva (SHIMADZU, EDX-800HS).

