



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Adsorción de arsénico del agua del distrito de Mochumi mediante  
carbón activado modificado de cascarilla de arroz

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Deza Diaz, Kathia Lisbeht ([orcid.org/0000-0001-7823-6476](https://orcid.org/0000-0001-7823-6476))

Mejia Espinoza, Sandrelly Vanessa ([orcid.org/0000-0002-2432-7695](https://orcid.org/0000-0002-2432-7695))

**ASESOR:**

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto ([orcid.org/0000-0003-2052-6707](https://orcid.org/0000-0003-2052-6707))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**CHICLAYO — PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

A dios por ser la luz en nuestro camino brindarnos la sabiduría, fuerza y fortaleza para lograr nuestro objetivo anhelado. Así mismo, a nuestros padres por ser nuestra fuente de motivación y superación, por su apoyo incondicional, sabios consejos, y valores que nos inculcaron siempre. Y a nosotras mismas por nuestra perseverancia constante y la superación de cada adversidad en nuestra vida universitaria, las cuales han servido como impulso para concretar nuestro objetivo.

*Kathia Lisbeht y Sandrelly Vanessa*

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Dios, por habernos guiado y brindado la fortaleza para concretar nuestro anhelado sueño.

Nuestro profundo agradecimiento a la **UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**, por los conocimientos obtenidos durante nuestra formación profesional.

Nuestra gratitud a nuestro asesor por su orientación y apoyo constante durante el desarrollo de nuestra tesis.

Nuestro agradecimiento se extiende a nuestra familia por su apoyo incondicional, este logro no habría sido posible sin su apoyo.

*Kathia Lisbeht y Sandrelly Vanessa*

# DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



## Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Adsorción de arsénico del agua del distrito de Mochumi mediante carbón activado modificado de cascarilla de arroz", cuyos autores son DEZA DIAZ KATHIA LISBEHT, MEJIA ESPINOZA SANDRELLY VANESSA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 16 de Noviembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CÉSAR AUGUSTO MONTEZA ARBULÚ DNI: 16681280 ORCID: 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 17- 11-2023 12:31:41

Código documento Trilce: TRI - 0654883



# DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LAS AUTORAS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

## Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, DEZA DIAZ KATHIA LISBEHT, MEJIA ESPINOZA SANDRELLY VANESSA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Adsorción de arsénico del agua del distrito de Mochumi mediante carbón activado modificado de cascarilla de arroz", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
KATHIA LISBEHT DEZA DIAZ DNI: 76502294 ORCID: 0000-0001-7823-6476	Firmado electrónicamente por: KDEZAD el 28-11-2023 18:03:03
SANDRELLY VANESSA MEJIA ESPINOZA DNI: 70833791 ORCID: 0000-0002-2432-7695	Firmado electrónicamente por: MEJIAESPIZ el 28-11-2023 17:56:41

Código documento Trilce: TRI - 0669365



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LAS AUTORAS .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	10
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	10
3.2. Variable y operacionalización .....	11
3.3. Población, muestra y muestreo .....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	13
3.5. Procedimientos .....	14
3.6. Método de análisis de datos.....	20
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS .....	21
V. DISCUSIÓN .....	26
VI. CONCLUSIONES .....	29
VII. RECOMENDACIONES .....	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS .....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. <i>Estado del agua en el distrito de Mochumi en cuatro puntos de monitoreo</i> .....	21
Tabla 02. <i>Porcentaje de absorción de arsénico</i> .....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 01.</i> Diagrama de procesos.....	14
<i>Figura 02.</i> Obtención de cascarilla de arroz .....	15
<i>Figura 03.</i> Molienda de carbón activado.....	15
<i>Figura 04.</i> Proceso de carbonización a 540 °C .....	16
<i>Figura 05.</i> Pesado del carbón activado .....	17
<i>Figura 06.</i> Recolección de muestras de agua .....	18
<i>Figura 07.</i> Medición del nivel de concentración de arsénico en las muestras de agua .....	18
<i>Figura 08.</i> Medición del pH del agua contaminada por arsénico .....	19
<i>Figura 09.</i> Prueba de jarras .....	19
<i>Figura 10.</i> Comparación de las concentraciones del arsénico con los LMP .....	22
<i>Figura 11.</i> Proceso de elaboración del carbón activado de cascarilla de arroz modificado con $\text{FeCl}_3$ .....	23
<i>Figura 12.</i> Eficiencia de la adsorción de As por el carbón activado modificado con $\text{FeCl}_3$ .....	25



## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la adsorción de arsénico en agua mediante carbón activado modificado de cascarilla de arroz. Es de tipo descriptivo – experimental, la población fue el agua de los cuatro pozos subterráneos que abastecen al distrito de Mochumí, de los cuales se tomaron como muestra 20 litros de agua para el procedimiento experimental. El carbón activado (CA) se obtuvo a una temperatura de 540 °C en un tiempo de 60 minutos, se utilizó 11.5 ml de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) en 1 gr de CA y se agitó durante 120 minutos, obteniendo así el CA modificado, de este se utilizó cinco concentraciones por litro de agua (0.5 gr, 0.75 gr, 1.0 gr, 1.25 gr y 1.50 gr) y se agitó durante 30 minutos a 200 RPM. Se obtuvo una eficiencia de 32.6%, 24.4%, 24.7%, 24.4% y 20.4% en la adsorción de arsénico respectivamente. Con esto se concluye que el CA modificado con  $\text{FeCl}_3$  tiene una eficiencia de remoción de arsénico de un 25.2% aproximadamente, además, se evidenció que, a mayor concentración de CA modificado, menor eficiencia de remoción.

**Palabras clave:** Adsorción, arsénico, carbón activado, eficiencia.

## ABSTRACT

The objective of the study was to determine the efficiency of arsenic adsorption in water using rice husk modified activated carbon. The population was the water from the four subway wells that supply the Mochumí district, from which 20 liters of water were sampled for the experimental procedure. The activated carbon (AC) was obtained at a temperature of 540 °C in a time of 60 minutes, 11.5 ml of ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) was used in 1 g of AC and agitated for 120 minutes, thus obtaining the modified AC, of which five concentrations were used per liter of water (0.5 g, 0.75 g, 1.0 g, 1.25 g and 1.50 g) and it was agitated for 30 minutes at 200 RPM. An efficiency of 32.6%, 24.4%, 24.7%, 24.4% and 20.4% in arsenic adsorption was obtained, respectively. With this, it is concluded that the  $\text{FeCl}_3$ -modified AC has an arsenic removal efficiency of approximately 25.2%, in addition, it was evidenced that the higher the concentration of the modified AC, the lower the removal efficiency.

**Keywords:** Adsorption, arsenic, activated carbon, efficiency.

## I. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable y segura es un derecho humano fundamental, sin embargo, en diversas regiones del mundo persisten desafíos significativos debido a la contaminación por compuestos tóxicos, como el Arsénico (As). Este elemento, presente en fuentes hídricas naturales, representa un riesgo grave para la salud pública, ya que su ingestión a largo plazo está asociada con enfermedades crónicas, incluyendo cáncer y problemas neurológicos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) han establecido Límites Máximos Permisibles (LMP) para el As en el agua potable. Según las directrices de la OMS, el LMP para As es de 10 microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ), mientras que la EPA establece un LMP de 10 partes por mil millones (ppm), equivalente a 10  $\mu\text{g/L}$ . Estos estándares son esenciales para evaluar la calidad del agua y la efectividad de los métodos de remoción de As.

Según la OMS (2022), el As es una sustancia química tóxica, generalmente inorgánica, presente en altas concentraciones en las aguas subterráneas que muchas veces son destinadas al consumo humano, la cocina y el riego de cultivos, por lo que supone una amenaza para la salud pública. La mayor amenaza para la salud pública es el As en el agua potable debido al consumo crónico de agua con bajos niveles de arsénico inorgánico.

La exposición al As se asocia a una serie de efectos crónicos que incluyen enfermedades de la piel como melanosis, queratosis y cáncer de piel; cánceres de vejiga, riñón y pulmón; enfermedades vasculares de piernas y pies; y, en algunos casos, diabetes, hipertensión, trastornos reproductivos y trastornos del desarrollo mental en niños. La arsenicosis (intoxicación por As) suele desarrollarse en un plazo de 5 a 20 años. Como algunos de los efectos de la exposición al As son irreversibles, la principal medida de salud pública es prevenir la exposición humana (OMS, 2006).

A nivel mundial diferentes países enfrentan situaciones graves de contaminación por As, Radloff et al. (2017, citados por Blanco et al., 2018) mencionan que en la cartografía mundial del hidroarsenismo (HACRE) existen al menos 20 países en el mundo con grados de contaminación severa, los más afectados son Argentina, Bangladesh, Camboya, Chile, China, Estados Unidos, India, México, Pakistán y Viet Nam; según la OMS (2022) el medio de contaminación en estos países es el agua de consumo y los cultivos.

Existen entre 94 y 220 millones de seres humanos en el planeta vulnerables a contaminarse con As (Podgorski y Berg, 2020), mientras que en Latinoamérica la población vulnerable es de 14 millones, con mayores incidencias en Argentina, Chile y México (Kumar et al., 2019, citados en Gutiérrez et al., 2021); los efectos que produce en la salud son altamente dañinos, dependiendo de la concentración y frecuencia, según Medina et al. (2018) los efectos van desde intoxicaciones inmediatamente después de la ingestión, hasta producir cáncer a largo plazo. La OMS (2022) afirma que el contenido límite de As en el agua para consumo debe ser de 0.01 mg/L

En Perú no existe información que especifique las concentraciones de As por regiones, según la Defensoría del Pueblo (DP, 2021) el gobierno central en los últimos años ha declarado en emergencia por contaminación de metales pesados en diferentes regiones, siendo las más recientes Puno, La Libertad, Lambayeque y Arequipa en el 2021, Moquegua en el 2020 y Loreto en el 2019. Castro (2015, citado por Fano, 2021) establece que las regiones con concentraciones mayores a 0,05 mg/L de As, son Puno, Lima y Moquegua, con una población expuesta de 200 mil a 3 millones.

La principal fuente de contaminación por As en Perú es la actividad minera, con mayor impacto en el Sur del país, la población se contamina directamente por las actividades de extracción minera e indirectamente mediante el consumo de agua con contenido de As; el movimiento global "Amnistía Internacional" (2021) reportó que el 58% de trabajadores mineros de 11 comunidades indígenas presentaron contaminación por As; además menciona que el estado peruano reconoce que

aproximadamente el 20% de peruanos son vulnerables a este tipo de contaminación.

La región de Lambayeque actualmente viene enfrentando problemas de contaminación con As en el agua de consumo humano, la Defensoría del Pueblo (2021) menciona que el Ministerio de Salud (MINSA) ha establecido que las fuentes de abastecimiento de agua en la región contienen sustancias químicas dañinas para la salud; según Radio Programas del Perú (RPP, 2023) se encontró más de 900 niños con As en la sangre, los mismos que pertenecieron a los distritos de Pacora, Jayanca, Íllimo, Mórrope y Mesones Muro; en el 2020 se declaró en emergencia al distrito de Pacora por la contaminación con As en más de 400 niños (INDECI, 2021).

Así mismo, Campodónico (2019) analizó 23 pozos en el distrito de Mórrope, donde encontró concentraciones de As de hasta 0.06161 mg/L. La Mesa de Concertación para la Lucha contra la Pobreza (MCLCP, 2019) encontró que las concentraciones de As en pozos de dos comunidades de Mórrope fueron de 0.04 mg/L y 0.060 mg/L, mientras que los resultados del análisis de 5 pozos que abastecen de agua en el distrito de Pacora estuvieron en un rango de 0.014 mg/L a 0.160 mg/L, cantidades que sobrepasan el 0.010 mg/L establecido por la OMS.

A nivel local, en el distrito de Mochumí también se ha confirmado la presencia de As en el agua, según el diario La República (2021) informó que el Consejo Regional de Lambayeque (CRL) recomendó declarar en emergencia la comunidad a I en el sector II. Por tal motivo, se pretende conocer ¿Cuál es la eficiencia del carbón activado modificado a base de cascarilla de arroz en la adsorción del arsénico en el agua del distrito de Mochumí?

Los efectos de la contaminación por As en la salud pública y en el ambiente han motivado a la comunidad investigativa buscar distintos métodos que ayuden a mitigar, reducir o eliminar la concentración de As en el agua. Por lo tanto, el desarrollo de la presente investigación aportará datos útiles para mejorar la calidad del agua en el distrito de Mochumi, además el método propuesto para la adsorción de As es amigable con el medio ambiente y de bajo costo en comparación con los métodos químicos. Por lo tanto, la investigación desde el punto de vista teórico

contribuirá con nuevos conocimientos científicos; asimismo; desde el aspecto social, se generará información que estará a disponibilidad de autoridades y población en general, para que tomen decisiones en favor de mejorar la calidad del agua y consecuentemente la salud de los ciudadanos quienes son los principales afectados con la contaminación por As.

El objetivo general es determinar la eficiencia de la adsorción de arsénico en agua mediante carbón activado modificado de cascarilla de arroz y los objetivos específicos: caracterizar el estado del agua contaminada por arsénico en el distrito de Mochumí; elaborar carbón activado modificado a base de cascarilla de arroz, y determinar la dosis más eficiente en la adsorción de arsénico del agua contaminada del distrito de Mochumí. Esto nos llevó a plantear como hipótesis: general: El carbón activado de cascarilla de arroz modificado con  $\text{FeCl}_3$  tiene una capacidad de remoción de arsénico en el agua mayor al 25%.

## II. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional, Javed et al. (2022) evaluó la efectividad de la ceniza de coco de arroz modificado con óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en la adsorción de As del agua potable. Obtuvieron que la ceniza de cascarilla de arroz a través de la carbonización a  $600\text{ }^\circ\text{C}$  en condiciones desoxigenadas; convirtieron el adsorbente fabricado en un cartucho purificador con un caudal de  $100\text{ ml/min}$  la cual fue colocada en una muestra de agua subterránea con una contaminación de As de  $40\text{ ppm}$ . Obtuvieron como resultados que la ceniza de coco del arroz modificado con  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  remueve  $25.06\text{ mg/L}$ . del arsénico metálico presente en el agua. Concluyen que la ceniza de coco del arroz modificada tiene una eficiencia del  $98\%$  en la remoción del As.

Asimismo, Liu et al. (2021) sintetizaron un compuesto adsorbente de biocarbón/óxido bimetálico Fe-Al ecológico de cáscara de arroz para la eliminación de As en agua. Los autores estudiaron los factores de diferente pH, tiempo de reacción, concentración inicial de iones de interferencia para explorar más a fondo el efecto de adsorción por adsorbente en solución de As de baja concentración. Obtuvieron como resultados que la tasa de eliminación de As llegó al  $75\%$  la primera vez, mientras que la quinta vez superó el  $30\%$  de eliminación de As. Concluyeron que el biocarbón/óxido bimetálico de Fe-Al preparado con cáscaras de arroz se puede utilizar como una alternativa eficiente para la eliminación de As en bajas concentraciones por su síntesis simple, su respeto por el medio ambiente y su recuperación magnética.

Pillai et al. (2020) analizaron la remoción de As usando  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  enmendado con nanopartículas de cascarilla de arroz en solución acuosa. Para ello realizaron experimentos de adsorción por lotes, obtuvieron como resultados que con  $2.5\text{ g/L}$  de adsorbente se eliminó el  $95\%$  de As. Concluyeron que el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  enmendado con nanopartículas de cáscara de arroz es viable en la adsorción de As.

A nivel nacional, Peralta (2021) estudió la remoción de As aplicando cáscara de arroz modificado químicamente para descontaminar aguas superficiales de la Comunidad de Upina, Carabaya-Puno, 2021. Para ello, recolectó tres muestras de la rivera del sector Vicuñaamayo, luego aplicó la cáscara de arroz modificada

químicamente con ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de potasio (KHO) por 30 minutos. Obtuvo como resultado que la cáscara de arroz modificada con HCl removi6.558 mg/L de As, mientras que la cáscara modificada con KHO removi6.558 mg/L de As. Concluyó que la cáscara de arroz modificada químicamente con HCl y KOH lograron una remoción As en agua de 99.98% y 97.36% respectivamente.

Asimismo, Cortez (2022) evaluaron la dosis óptima de carbón activado de Citrus Sinensis para la remoción de As en Pacora, utilizó el método de Arsenic Test colorimetría utilizando cinco dosis distintas de carbón activado (2, 8, 10, 24 y 30 gr) en muestras de agua con concentraciones de 0.20 ppm; las relaciones de remoción de As en el agua según dosis/concentración fueron las siguientes: 2 gr/0.20 ppm, 8 gr/0.10 ppm, 10 gr/0.05 ppm, 24 gr/0,025 ppm y 30 gr/0.010 ppm obteniendo un porcentaje de remoción de 95% en el tratamiento de 30 gr de carbón activado. Concluyen que mientras mayor la concentración de carbón activado, será mayor el porcentaje de remoción.

Fiestas y Millones (2019) estudiaron la influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de residuos de coco en la adsorción de As en aguas subterráneas en Mórrope, Lambayeque; utilizaron 18 tratamientos y evaluaron tres concentraciones de carbón activado de 2, 4 y 6 gr/L en tres tiempos (60, 120 y 180 minutos); obtuvieron como resultados que el mayor porcentaje de adsorción fue de 72%, equivalente a 6 gr/L en 180 minutos, alcanzando disminuir el contenido de As de 0.11 mg/L a 0.0297 mg/L. Concluyen que el tiempo influye significativamente en la adsorción de As, a mayor tiempo mayor % de adsorción.

Es importante mencionar que los compuestos químicos como los metales pesados son muy dañinos para la salud de los seres humanos, es así que el As está considerado como uno de los más tóxicos y está dentro de los elementos con mayor disponibilidad en el planeta; la ingestión de este químico genera efectos inmediatos, lo más común son las intoxicaciones, en bajas concentraciones los efectos son poco notorios, pero a largo plazo produce problemas graves como el cáncer. (Asif y Chen, 2017).



Según Imran et al. (2017) el As se ha clasificado como un contaminante del agua de primera prioridad que representa un tremendo riesgo para la salud pública y el ecosistema debido a su carcinogenicidad aguda y fitotoxicidad. El As lo podemos encontrar de manera natural en el ambiente, adherido al suelo agua y aire, en el agua lo encontramos en su forma inorgánica como arsenato ( $As+5$ ), siendo esta la forma disponible más peligrosa (Medina et al., 2018). Actualmente se viene evidenciando contaminación con As por el consumo de agua, de preferencia si es agua subterránea, esta situación ha motivado desarrollar estrategias para la eliminación o reducción del As en el agua.

Según Tejada et al. (2015) actualmente la eliminación de metales pesados en el agua se realiza mediante métodos de precipitación, óxido – reducción, filtración, procesos electroquímicos, intercambio iónico, técnicas de membrana y recuperación por evaporación, adsorción con carbón activado y bioadsorción. Nath et al. (2019) establecen que los métodos convencionales utilizados que han generado mejores resultados en la eliminación de metales pesados del agua incluyen la adsorción en carbones activados, la precipitación, el uso de resinas de intercambio iónico y la filtración por membrana.

Los métodos más comúnmente utilizados por su eficiencia y bajo costo es la adsorción o bioadsorción con materiales orgánicos, Zeinab (2021) los categoriza a estos métodos como los más económicos por los insumos que utilizan y uno de los más eficientes por los resultados que generan. Los materiales basados en carbono poroso de biomasa se encuentran entre los adsorbentes más utilizados en este campo. La cáscara de arroz es uno de los materiales más comúnmente utilizado como adsorbente orgánico para remoción de contaminantes en el agua. En tal sentido, la adsorción es un proceso encargado de la captación o atracción activa o pasiva de los iones en los metaloides, tiene como principal característica el enlace y la acumulación de contaminantes por diferentes formas y procesos (Tejada et al., 2015).

El material empleado para el proceso de adsorción es el carbón activado, este puede ser obtenido de diferentes materiales, lo que más se ha venido utilizando en los últimos años es a partir de materiales orgánicos, como la cascarilla de arroz,

cáscara de naranja, restos madera, restos de café, entre otros. Vidal et al. (2018) establecen que los carbones activados son sustancias características por contener en su estructura microporos con la capacidad de retención de sustancias, son estables químicamente y contienen diversos grupos funcionales que acumulan oxígeno en su estructura. Por su parte, Minaya et al. (2020) establecen que el carbón activado es un subproducto sólido rico en carbono que resulta del proceso de carbonización a altas temperaturas y posterior trituración de la biomasa.

La búsqueda de mejorar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de material orgánico ha llevado a los investigadores a utilizar diversas sustancias químicas, de aquí se originan los carbones activados modificados, Obregón et al. (2020) mencionan que este tipo de carbones se obtienen a partir de procesos fisicoquímicos, como la impregnación húmeda que ayuda a mejorar la capacidad de adsorción hasta en un 30%. Dentro de los modificadores más comunes tenemos, el ácido cítrico (Ortiz et al., 2023); óxido de hierro (Javed et al., 2022); cloruro de calcio (Collivign et al., 2022); óxido bimetálico (Lui et al., 2021); hidróxido de potasio y ácido fosfórico (Hussain et al., 2020); cloruro férrico (Reyes et al., 2020); entre otros.

Uno de los métodos más utilizados y eficientes para obtener carbón activado es a través de la carbonización, Aguilar et al. (2009) lo definen como un proceso donde se recicla la biomasa por destilación térmica, este proceso se realiza a través de elevadas temperaturas, por lo general entre 250 a 600 °C.

Asimismo; Suárez y Villegas (2019) establecen que la carbonización es un proceso que implica la descomposición térmica de materiales orgánicos, como la madera o residuos vegetales, en ausencia de oxígeno. Este proceso conduce a la formación de carbono sólido, dejando residuos como el carbón vegetal. La temperatura a la que se lleva a cabo la carbonización puede variar dependiendo del material orgánico y del proceso específico utilizado. En general, la carbonización suele ocurrir a temperaturas relativamente altas, normalmente superiores a los 400 grados Celsius.

El cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) es un compuesto inorgánico que se presenta comúnmente en forma de cristales o escamas de color marrón-rojizo. Es altamente soluble en

agua y es higroscópico, lo que significa que tiene una gran afinidad por la humedad del aire, formando soluciones ácidas cuando se disuelve en agua (Alcedo et al., 2020).

Asimismo; Según Alcedo et al. (2020) el  $\text{FeCl}_3$  es un agente oxidante y se utiliza en numerosas reacciones químicas. Al disolverse en agua, forma iones férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), y puede reaccionar con otras sustancias para formar complejos férricos. Una de las reacciones más notables es su capacidad para oxidar compuestos orgánicos, lo que lo convierte en un agente útil en la síntesis de productos químicos orgánicos complejos.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación es aplicada porque partió de un problema concreto y se utilizó métodos y técnicas que permitieron obtener datos relevantes y generar conocimiento aplicable, es cuantitativa porque se basó en medir, cuantificar y analizar concentraciones y relaciones entre los datos, y utilizó métodos estadísticos para validar hallazgos, y es experimental debido a que se manipularon las variables de estudio para determinar el efecto del carbón activado modificado a partir de la cascarilla de arroz en la adsorción de As en el agua.

El diseño elegido para este estudio se caracterizó por ser de naturaleza experimental y de sub-diseño experimental puro. En esencia, el diseño experimental se fundamenta en la práctica de exponer a un individuo o un objeto a condiciones, estímulos o tratamientos específicos y predefinidos. El objetivo de esta exposición controlada es observar y analizar minuciosamente los efectos o reacciones que emergen como resultado de esta manipulación cuidadosamente planeada. En otras palabras, a través de un diseño experimental, se busca entender cómo los cambios deliberados en las variables de interés influyen en el comportamiento o las respuestas de los sujetos de estudio, lo que brinda una base sólida para el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos. Este enfoque riguroso y controlado es esencial para investigaciones en las que se pretende establecer relaciones causa-efecto entre las variables analizadas.

La investigación es de sub-diseño experimental puro, debido a que se formuló la hipótesis de investigación y se diseñó experimentos para probar dicha hipótesis. Los experimentos fueron cuidadosamente planificados y controlados para garantizar que los resultados sean confiables y válidos. Este tipo de estudios tienen varias ventajas, como la capacidad de establecer relaciones causales entre variables y la posibilidad de controlar y eliminar posibles variables confusoras.

El número de pruebas realizadas en el experimento fueron cinco, donde se utilizaron concentraciones de carbón activado modificado de 0.5 gr, 0.75 gr, 1.0 gr, 1.25 gr y 1.50 gr, los cuales fueron sometidos a agitación por un periodo de 30 minutos.

### 3.2. Variable y operacionalización

Se identificaron dos variables en esta investigación:

**Variable independiente:** Carbón activado de cascarilla de arroz, modificado con Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).

**Definición conceptual:** Es un material derivado de la cascarilla de arroz que ha sido tratado con  $\text{FeCl}_3$  para mejorar su capacidad de adsorción. Conceptualmente, representa un compuesto que ha sido químicamente alterado mediante la introducción controlada  $\text{FeCl}_3$  para modificar sus propiedades físicas y químicas, aumentando así su eficiencia como agente adsorbente, especialmente para la remoción de contaminantes, como el arsénico, en el agua. (Velázquez et al., 2019).

**Definición operacional:** Se refiere al producto obtenido a partir de la activación de la cascarilla de arroz y su posterior modificación química mediante el tratamiento con  $\text{FeCl}_3$  en condiciones controladas de temperatura y tiempo. La operacionalización de esta variable implica el proceso de preparación del carbón activado a partir de la cascarilla de arroz, seguido por la modificación mediante la adición de  $\text{FeCl}_3$ , lo que puede incluir etapas de impregnación, secado, activación y lavado para obtener un material con propiedades adsorbentes mejoradas. Se utilizará distintos tratamientos con diferentes concentraciones de cascarilla de arroz modificada con  $\text{FeCl}_3$ .

**Variable dependiente:** Adsorción de arsénico (As) en el agua.

**Definición conceptual:** Proceso mediante el cual el As, un elemento químico tóxico, se adhiere o se une a la superficie de un material sólido (como el carbón activado de cascarilla de arroz modificado), formando una

capa o película superficial. Conceptualmente, este proceso implica la atracción física o química del As hacia el material adsorbente, lo que resulta en su remoción o retención desde el agua hacia la superficie del adsorbente, reduciendo así la concentración de As en el agua. (Rentería et al., como se citó en Matamoros, 2016).

**Definición operacional:** Se realizará experimentos en los cuales se mide la capacidad del material adsorbente carbón activado de cascarilla de arroz modificado con  $\text{FeCl}_3$ , para capturar y retener el As presente en una muestra de agua contaminada. Luego se analiza la cantidad de As removido del agua, comparando la concentración inicial y final de As para evaluar la eficacia de la adsorción.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población:**

Según López (2004) la población es un conjunto de objetos, personas, o ambientes de los que se desea conocer o investigar algo. En la presente investigación la población estuvo conformada por el agua de los pozos subterráneos que abastece al distrito de Mochumi – Lambayeque.

#### **Muestra:**

La muestra es un subconjunto de la población en la cual se desarrollará la investigación (López, 2004). En la presente investigación se tomaron 04 puntos de monitoreo (Sector II del distrito de Mochumi, Caserío Señor de los Milagros Guanilos, Sector Mariposa y Caserío Pueblo Nuevo), de estos se tomaron cuatro litros de agua (1 litro por pozo) y se eligió el punto más crítico que en este caso fue del Caserío Pueblo Nuevo. En este punto se tomó 05 litros de agua como muestra para el experimento. Por lo tanto, la muestra total sería 9 litros de agua de pozo que abastece al distrito de Mochumí.

**Muestreo:**

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, según Scharager y Armijo (2001) este tipo de muestreos son dirigidos o intencionados, la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las condiciones que permiten hacer el muestreo (acceso o disponibilidad, conveniencia, entre otros).

**Unidad de análisis:**

En la investigación la unidad de análisis principal fue la muestra de agua contaminada con As, es decir, los 05 litros de agua del punto más crítico. Esta muestra fue sometida al tratamiento con el material modificado (cascarilla de arroz) para evaluar su capacidad de adsorción y reducción de As en diferentes concentraciones, pero en un mismo tiempo que fue de 30 minutos.

**3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos****Técnica de recolección de datos**

Para la presente investigación hemos aplicado las siguientes metodologías para la recolección de datos:

**Ficha de observación**

La observación se presenta como un enfoque metodológico que implica la documentación sistemática de sucesos y fenómenos que ocurren en el entorno social o natural. El objetivo primordial de esta práctica es proporcionar una explicación, descripción o análisis de los resultados, y se aborda desde una posición científica.

En el contexto de la investigación, se emplearon fichas como herramientas de registro. Estas fichas desempeñan un papel fundamental al permitir la documentación y la recopilación de fuentes de información, lo que a su vez simplifica la tarea de organizar y categorizar los datos.

### 3.5. Procedimientos

Para la ejecución de la investigación, se siguieron los siguientes pasos:

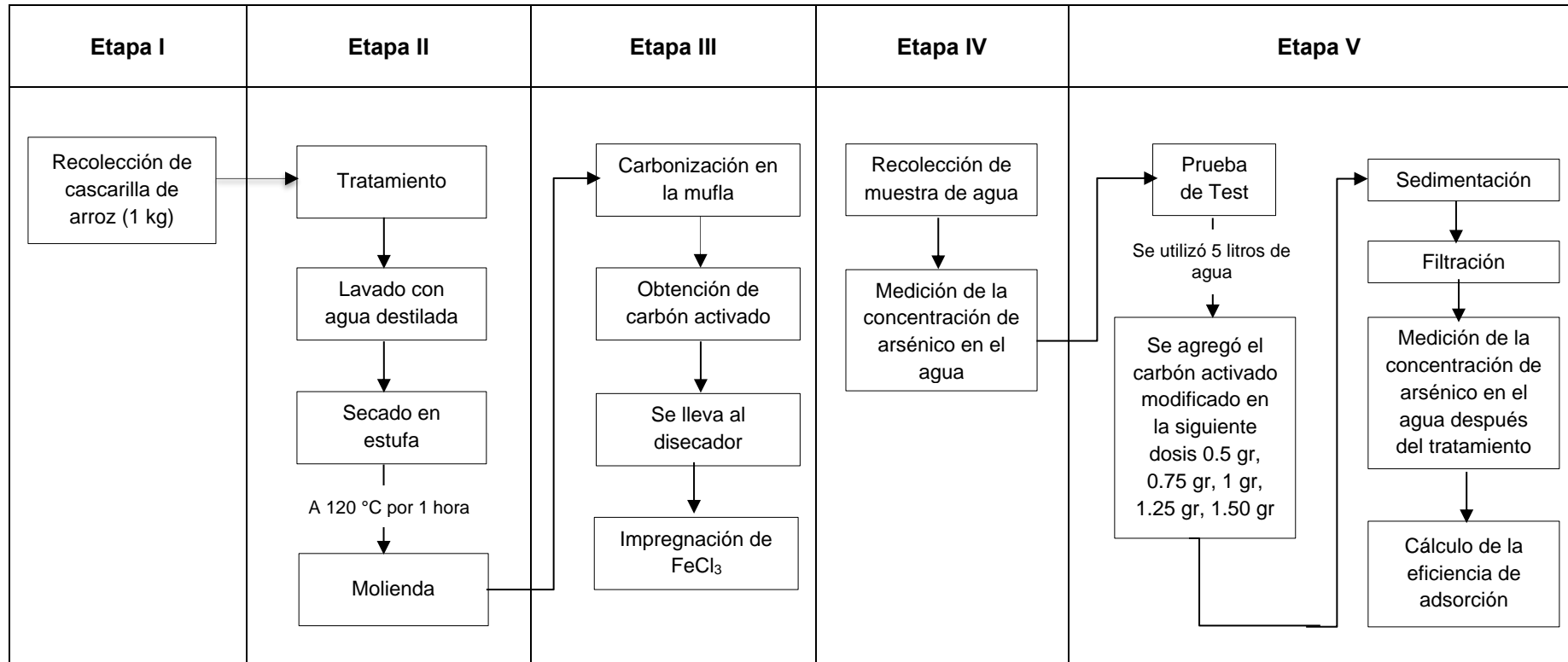


Figura 01. Diagrama de procesos

Fuente: Elaboración propia



- 1. Obtención de cascarilla de arroz:** Se recolectó cuatro kilogramos de cascarilla de arroz del molino Chiclayo. SAC, luego se lavó la cascarilla de arroz con agua destilada (Apaza y Condori, 2018) y finalmente se llevó a la estufa a una temperatura de 120 °C por 1 hora (Apaza y Condori, 2018). De los cuales solo se logró calcinar eficientemente 1 kg, los 3 kg restantes fueron procesos de calcinación que dieron como resultado: ceniza.



*Figura 02.* Obtención de cascarilla de arroz

Fuente: Elaboración propia

- 2. Molienda:** Se realizó la molienda, con un molino casero durante 6 horas.



*Figura 03.* Molienda de carbón activado

Fuente: Elaboración propia

- 3. Carbonización:** La cascarilla de arroz se depositó en 6 crisoles de 125 gr, donde se colocó 50 gr en cada una de ellas, luego se introdujo en una mufla a

540 °C, durante 60 minutos, obteniendo las siguientes cantidades: 25.2081 gr, 25.09676 gr, 30.1190 gr, 30.8045 gr, 31.2607 gr y 30.2992 gr de carbón activado.

Se hicieron pruebas a temperaturas mayores, 550°C y 600 °C, sin buenos resultados.



*Figura 04.* Proceso de carbonización a 540 °C

Fuente: Elaboración propia

- 4. Desechado:** El carbón activado obtenido de la carbonización se colocó en el desecador para impedir que adsorba humedad del ambiente por 1 un día.

#### **Modificación del carbón activado de cascarilla de arroz**

- 5. Pesado:** Se pesó en una balanza analítica 26 gramos de carbón activado y 0.0800 gr de cloruro férrico en una fiola de 1 L

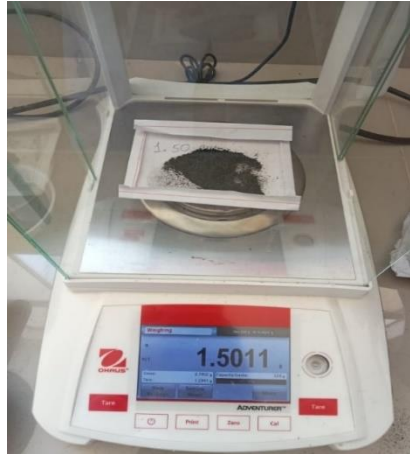


Figura 05. Pesado del carbón activado

Fuente: Elaboración propia

6. **Mezclado:** Se colocó 1 gramo de carbón activado y 11.5 mL de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) por cada tubo cónico los cuales suman 26 tubos cada uno de 15 mL.
7. **Agitación:** Para impregnar el Cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) en el carbón activado en las cantidades mencionadas en el paso 5, se utilizó el Multi – Rotator en un tiempo de 2 horas.
8. **Sedimentación:** Se trasvasó las soluciones de los 26 tubos cónicos en un matraz, para dejar reposar por 1 día en la refrigeradora.
9. **Separación:** La solución de carbón activado modificado muestra 2 fases (líquida y sólida), las cuales serán separadas, la parte líquida será vertida en un vaso de precipitación y la sólida será vertida en 3 crisoles.
10. **Secado:** Los 3 crisoles, se llevaron a la estufa a una temperatura de  $120^\circ\text{C}$  por 1 hora para su respectivo secado.
11. **Desechado:** El carbón activado modificado seco, se colocará en el desecador para impedir que adsorba humedad del ambiente por 1 hora.
12. **Pesado:** El carbón activado modificado seco se pesó en una balanza analítica obteniendo 26 gramos.
13. **Recolección de muestras:** Se identificó los siguientes puntos críticos del Distrito de Mochumi, Punto I sector II – Caserío Pueblo Nuevo – Caserío Señor de los Milagros Guanilos – Sector Mariposa, donde se recolectó 1 litro de agua por cada sector.



*Figura 06.* Recolección de muestras de agua

Fuente: Elaboración propia

#### **14. Medición del nivel de concentración de arsénico en las muestras de agua:**

Se realizó la medición mediante el espectrofotómetro.



*Figura 07.* Medición del nivel de concentración de arsénico en las muestras de agua

Fuente: Elaboración propia

#### **15. Medición del pH del agua contaminada por arsénico:** Para la medición del

pH se utilizó el pH-metro, donde obtuvimos un pH básico de 8.45.



Figura 08. Medición del pH del agua contaminada por arsénico

Fuente: Elaboración propia

**16. Prueba de test de jarras:** La muestra que se utilizó es del caserío Pueblo Nuevo, ya que mediante los resultados tiene el nivel de concentración de As más alto, siendo este nuestro punto más crítico. En el test de jarras se utilizó en total 5 litros de agua, un litro por cada jarra usada, al que se agregó el carbón activado modificado en las siguientes dosis 0.5 gr, 0.75 gr, 1 gr, 1.25 gr, 1.50 gr, por cada litro y se agitó por un tiempo de 30 minutos a 200 RPM (Revoluciones por minuto).

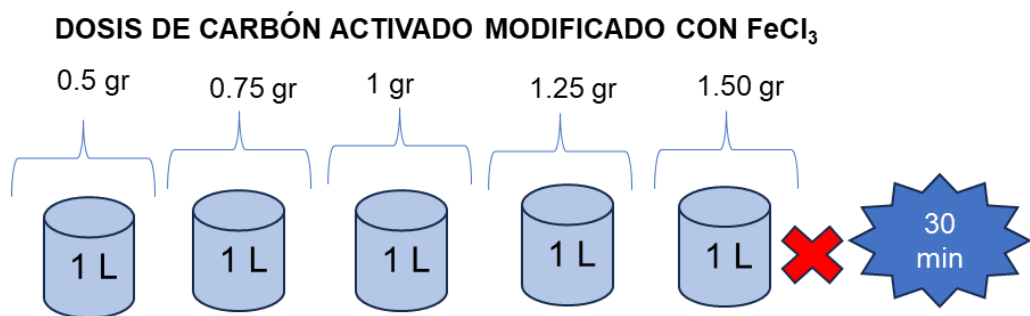


Figura 09. Prueba de jarras

Fuente: Elaboración propia

**17. Sedimentación:** Después del Test de jarras, las muestras se dejaron reposar por 30 minutos.

**18. Filtración:** Las 5 muestras se colocaron en un sistema de filtración, con la finalidad de segregar el carbón activado del agua.

**19. Medición del nivel de absorción arsénico en las muestras de agua:** Se realizó la medición mediante el espectrofotómetro de absorción atómica, donde obtuvimos los siguientes resultados:

### **3.6. Método de análisis de datos**

Para procesar los datos recolectados durante el transcurso de esta investigación se utilizó el programa Excel.

El software Excel se empleó como una herramienta complementaria para organizar, visualizar y realizar cálculos básicos sobre los datos recopilados. Su capacidad para gestionar datos de manera estructurada y su flexibilidad para realizar cálculos simples fueron útiles en la fase inicial de preparación de los datos, así como en la generación de gráficos y tablas que facilitaron la comprensión inicial de los patrones y tendencias presentes en los datos.

### **3.7. Aspectos éticos**

El aspecto ético de este estudio se ha centrado en el respeto integral a las contribuciones intelectuales de cada autor, asegurando la adecuada citación y referencia de las ideas planteadas. Además, se ha regido por criterios sólidos que incluyen la objetividad en el análisis, la preservación de la originalidad en la investigación y la confidencialidad en el manejo de datos sensibles.

Asimismo, se han implementado rigurosas medidas de seguridad durante el análisis y la presentación de resultados para preservar la integridad de los recursos naturales. Se ha priorizado la precaución y el cuidado ambiental en todas las fases del estudio, evitando cualquier posible impacto negativo en el entorno natural. Este enfoque ético ha sido fundamental para garantizar la validez y la responsabilidad en el desarrollo de la investigación.

#### IV. RESULTADOS

**Objetivo específico 1:** Caracterizar el estado del agua contaminada por arsénico en el distrito de Mochumí

Como se muestra en la tabla 01 los datos obtenidos del análisis del agua contaminada por As en cuatro puntos específicos del distrito de Mochumí revelan algunas tendencias significativas. En general, se observa un pH ligeramente alcalino en todos los puntos, manteniéndose en torno a 8.45. La conductividad eléctrica varía entre 2142 uS/cm y 2546 uS/cm, mostrando cierta variabilidad en la concentración de sales disueltas en el agua. La temperatura del agua en los puntos analizados oscila entre 25 °C y 27.3 °C, dentro de rangos comunes para esta región.

Sin embargo, se destaca una variación considerable en los niveles de As presente en el agua. Mientras que en tres de los puntos (Sector II, Caserío Señor de los Milagros Guanilos y Sector Mariposa) se registran concentraciones relativamente bajas de As, en el Caserío Pueblo Nuevo se observa una concentración significativamente más alta, alcanzando 0.05786 mg/L. Esta diferencia podría indicar una mayor contaminación por As en el agua de este punto en particular, lo que podría representar un riesgo considerable para la salud pública y el ecosistema local.

**Tabla 01.** Estado del agua en el distrito de Mochumi en cuatro puntos de monitoreo

Sitio de muestreo	pH	Conductividad (uS/cm)	Temperatura (°)	Arsénico (mg/L)	LMP (mg/L)
Sector II del distrito de Mochumi	8.45	2255	25.5	0.0112	0.010
Caserio Señor de los Milagros Guanilos	8.45	2142	25	0.0136	0.010
Sector Mariposa	8.45	2546	27.3	0.01322	0.010
Caserío Pueblo Nuevo	8.45	2442	26	0.05786	0.010

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se observa que en los 4 puntos de muestro la concentración de As sobrepasan los LMP establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, el cual establece que la concentración de As en el agua de consumo de humano no debe sobrepasar los 0.010 mg/L.

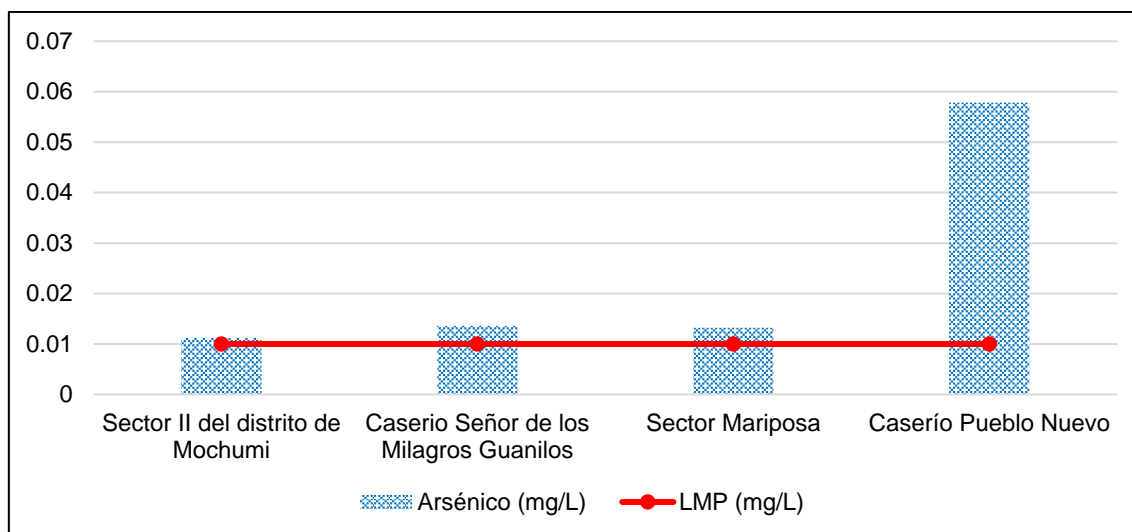


Figura 10. Comparación de las concentraciones del arsénico con los LMP

Fuente: Elaboración propia

**Objetivo específico 2:** Elaborar carbón activado modificado a base de cascarilla de arroz

El proceso de obtención de carbón activado modificado a partir de cascarilla de arroz se llevó a cabo siguiendo una serie de pasos meticulosos. Inicialmente, se recolectaron cuatro kilogramos de cascarilla de arroz del molino Chiclayo. SAC, la cual fue sometida a un proceso de lavado con agua destilada y posteriormente expuesta a una temperatura de 120 °C en una estufa durante una hora, siguiendo el procedimiento descrito por Apaza y Condori (2018).

Luego, se procedió con la molienda de la cascarilla de arroz durante seis horas utilizando un molino casero. Posteriormente, se llevó a cabo la carbonización de una muestra de un kilogramo de la cascarilla de arroz molida, distribuyendo la muestra carbonizada en seis crisoles con cantidades específicas. Estos crisoles fueron sometidos a una temperatura de 540 °C en una mufla por un periodo de 60 minutos.

El siguiente paso consistió en el secado del carbón activado resultante en un desecador durante dos horas para su enfriamiento. Luego, se llevó a cabo el proceso de mezclado, donde se incorporó una cantidad predeterminada de carbón



activado con cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) en tubos cónicos, siguiendo la relación de 1 gramo de carbón activado por cada 11.5 mL de cloruro férrico, en un total de 26 tubos cónicos de 15 mL cada uno.

Se procedió a la impregnación del cloruro férrico en el carbón activado mediante agitación utilizando un Multi-Rotator durante dos horas. Posteriormente, la solución resultante fue sometida a un proceso de sedimentación en un matraz durante un día en la refrigeradora, lo cual generó una separación en fases líquida y sólida.

La fase líquida fue transferida a un vaso de precipitación, mientras que la fase sólida fue depositada en tres crisoles para su respectivo secado a una temperatura de  $120^\circ\text{C}$  durante una hora. Finalmente, el carbón activado modificado seco se pesó utilizando una balanza analítica, obteniendo un peso total de 26 gramos.

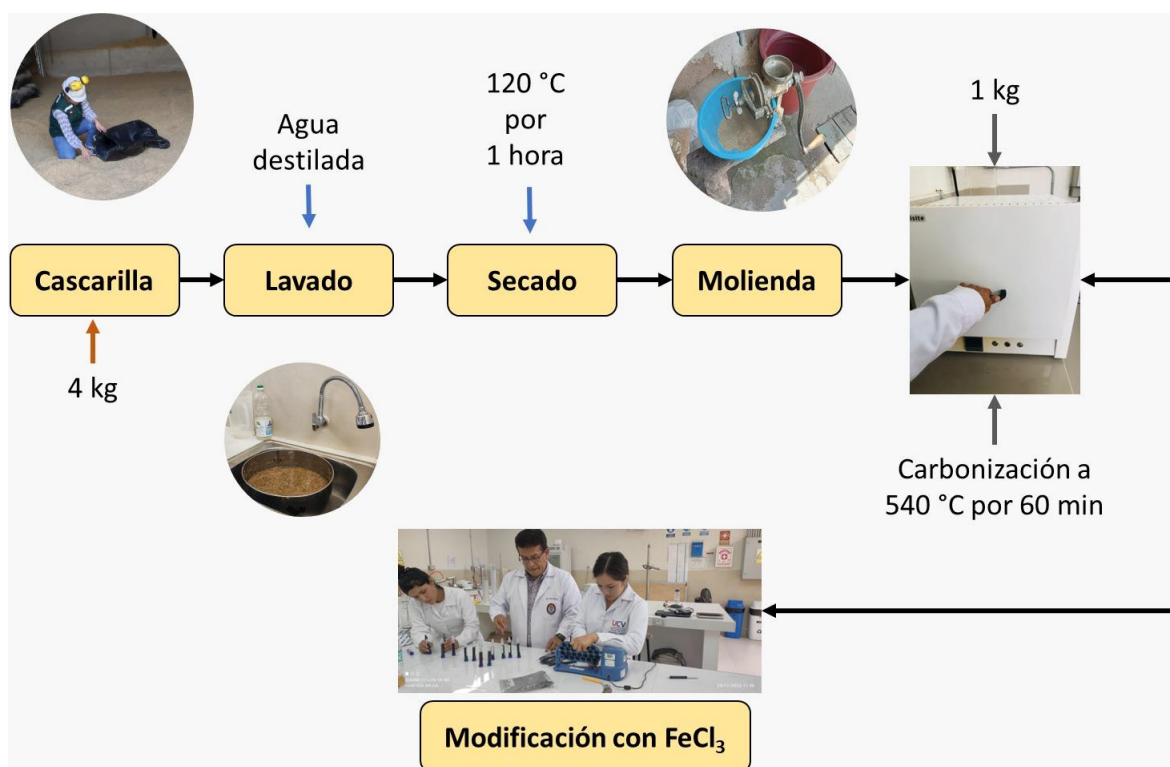


Figura 11. Proceso de elaboración del carbón activado de cascarilla de arroz modificado con  $\text{FeCl}_3$

Fuente: Elaboración propia

**Objetivo específico 3:** Elaborar carbón activado modificado a base de cascarilla de arroz, y determinar la dosis más eficiente en la adsorción de arsénico del agua contaminada del distrito de Mochumí.

La eficiencia del carbón activado modificado con  $\text{FeCl}_3$  se llevó a cabo utilizando las muestras del caserío Pueblo Nuevo, identificado previamente con niveles significativos de As ( $57.86 \mu\text{g/L}$ ). Se implementó el Test de Jarras, empleando 5 litros de agua y dosificando diferentes cantidades de carbón activado modificado: 0.5 gr, 0.75 gr, 1 gr, 1.25 gr y 1.50 gr por litro, durante un tiempo de 30 minutos a 200 RPM.

Los resultados de eficiencia de adsorción arrojaron valores de 32.6%, 24.4%, 24.7%, 24.0% y 20.4% respectivamente para cada dosis aplicada. Estos datos reflejan la capacidad del carbón activado modificado para adsorber As del agua, mostrando una variación en la eficiencia según la cantidad de carbón activado utilizado en la muestra.

**Tabla 02.** *Porcentaje de absorción de arsénico*

<b>Dosis de carbón activado modificado con <math>\text{FeCl}_3</math> (gr)</b>	<b>pH</b>	<b>Concentración inicial (ug/L)</b>	<b>Concentración final (ug/L)</b>	<b>% de absorción</b>
0.50	8.5	57.8	38.98	32.6%
0.75	8.5	57.8	43.74	24.4%
1	8.5	57.8	43.54	24.7%
1.25	8.5	57.8	44.00	24.0%
1.50	8.5	57.8	46.08	20.4%

Fuente: Elaboración propia

**Objetivo general:** Determinar la eficiencia de la adsorción de arsénico en agua mediante carbón activado modificado de cascarilla de arroz.

En el análisis de la eficiencia de adsorción, se puede apreciar que los niveles más óptimos están la dosis de 0.5 mg por cada L de agua contaminada, seguida de la de 0.75 mg/L con un porcentaje de remoción del 32.6% y 24.4% respectivamente, en cambio en las dosis más altas de 1.25 mg/L y 1.5 mg/L la eficiencia de remoción son más bajas llegando a un 24% y 20.4% respectivamente.

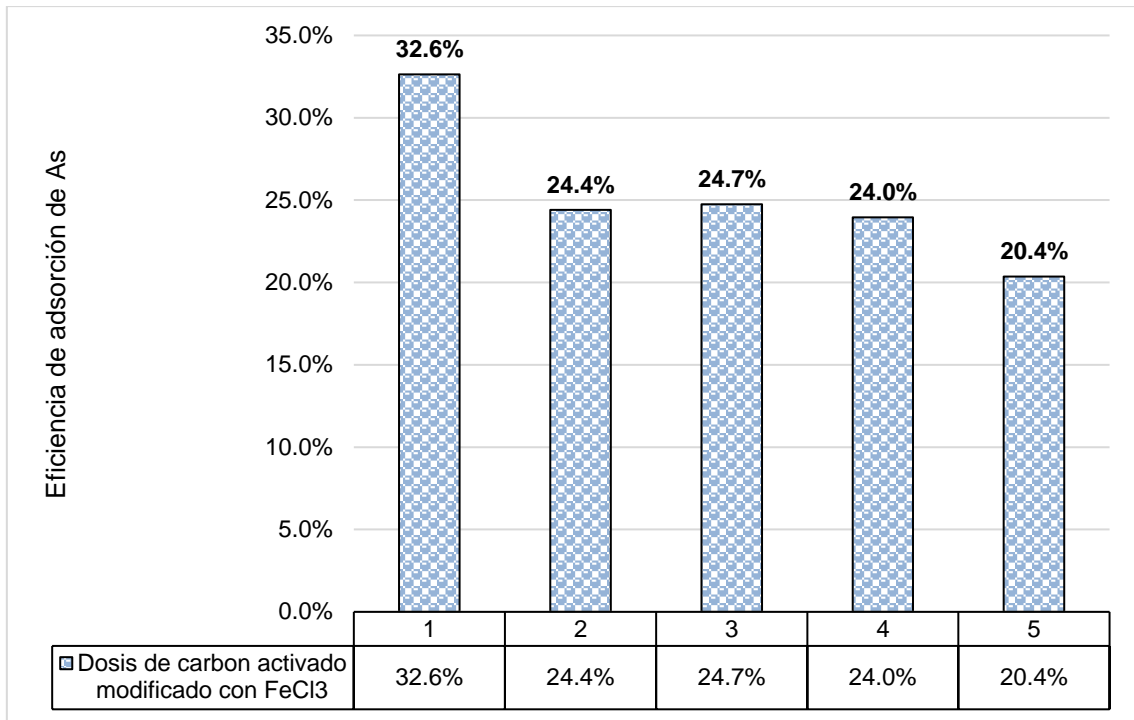


Figura 12. Eficiencia de la adsorción de As por el carbón activado modificado con FeCl<sub>3</sub>

Fuente: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados sugiere una eficiencia promedio del 25.2% para el carbón activado modificado de cascarilla de arroz en la absorción de As. Sin embargo, estos hallazgos difieren significativamente de estudios previos. Por ejemplo, Molsalve (2020) reportó una eficiencia de absorción del 99.8%, mientras que Condo y Santa (2019) encontraron una eficiencia de remoción del 97.62%.

Esta diferencia en los resultados puede deberse a múltiples factores, como las variaciones en la composición del carbón activado modificado, diferencias en las condiciones de prueba, como el tiempo de contacto entre el adsorbente y el agua contaminada, la concentración inicial de As en el agua, así como las características específicas de las muestras analizadas (Molsalve,2020).

Es importante destacar que la eficiencia de remoción del As puede variar según las condiciones particulares de cada estudio y las características específicas de los materiales utilizados. La discrepancia entre los resultados obtenidos en este estudio y los hallazgos anteriores resalta la necesidad de una evaluación más detallada y exhaustiva de los factores que pueden influir en la eficacia del carbón activado modificado como adsorbente de As en el agua; es decir; se debe seguir trabajando con dosis menores y medir la eficiencia luego.

En relación al estado del agua contaminada con As, investigaciones previas realizadas por autores como Condo y Santa (2019) y Cortez (2022) han encontrado patrones similares en la contaminación por As en fuentes de agua. Además, reportaron concentraciones de As en un rango de 0.008 mg/L a 0.0273 mg/L en áreas con condiciones geológicas similares a las del distrito de Mochumí. Esta variabilidad en los niveles de As resalta la importancia de entender la geología local y su relación con la presencia de este metaloide en el agua subterránea.

Además, estudios como el de Cortez (2019) sugieren que los niveles más elevados de As podrían estar asociados a actividades antropogénicas, como la minería o la agricultura intensiva, que pueden contribuir a la liberación de As en los recursos hídricos locales.

En cuanto al carbón activado modificado, el procedimiento empleado a partir de cascarilla de arroz ha sido exitoso en términos de la preparación y manipulación de las muestras. Los pasos detallados, desde la recolección hasta el secado y pesado del producto final, han seguido una metodología estandarizada y precisa, en línea con las referencias consultadas.

Comparativamente, estos resultados son consistentes con investigaciones anteriores, como la de Apaza y Condori (2018), quienes utilizaron métodos similares en la preparación de carbón activado a partir de residuos agrícolas. Sin embargo, es importante mencionar que otras investigaciones como las de Javed et al. (2022) realizaron la carbonización a 600 °C, sin embargo, al elaborar el carbón activado a una temperatura de 800 °C y 600 °C en esta investigación se obtuvo ceniza, pero al trabajar con 540 °C se obtuvo carbón activado. Este contraste en los resultados podría atribuirse a variaciones en las condiciones de carbonización y las temperaturas utilizadas durante el proceso.

Es importante destacar que la temperatura de carbonización es un factor crítico en la formación y calidad del carbón activado. La discrepancia entre los resultados de este estudio y las investigaciones mencionadas puede deberse a las diferencias en las temperaturas empleadas durante la carbonización, lo que sugiere la influencia significativa de este parámetro en la obtención de carbón activado a partir de la cascarilla de arroz.

En consecuencia, este estudio refuerza la importancia de considerar cuidadosamente las condiciones de procesamiento, como la temperatura, para garantizar la producción efectiva de carbón activado de alta calidad a partir de residuos agrícolas. La optimización de estos parámetros podría ser clave para mejorar la eficiencia y la calidad del carbón activado modificado, lo que podría tener implicaciones importantes en su aplicación como adsorbente en la remoción de contaminantes del agua.

En tanto, los resultados obtenidos de la caracterización del agua tratada por el carbón activado modificado con  $\text{FeCl}_3$  revelan una tendencia interesante en relación con la eficiencia de absorción de As. Se observa que a medida que se incrementa la cantidad de carbón activado utilizado, la eficiencia de absorción

disminuye. Este fenómeno, aunque contraintuitivo, sugiere una complejidad en la dinámica de adsorción entre el adsorbente y el contaminante.

Hallazgos similares se han reportado en estudios previos. Por ejemplo, la investigación de García et al. (2017) sobre la adsorción de metales pesados por carbón activado también señala una disminución en la eficiencia de adsorción a medida que se aumenta la dosis de adsorbente. Además, en la tesis de Pérez (2019), se identificó una tendencia comparable en la adsorción de contaminantes orgánicos por carbón activado modificado, indicando una disminución en la eficiencia a dosis más altas.

Una posible explicación de esta disminución en la eficiencia con dosis más altas de carbón activado podría estar vinculada a la saturación de los sitios de adsorción. Con mayores cantidades de adsorbente, es probable que los sitios activos disponibles se saturen más rápidamente, limitando la capacidad de adsorción adicional del As. Además, la mayor cantidad de adsorbente puede generar una competencia por estos sitios de adsorción, lo que reduce la eficiencia a medida que más moléculas de As compiten por los mismos lugares de unión en el carbón activado.

Otro factor a considerar es la posible reducción en la velocidad de adsorción debido a fenómenos de difusión. Con dosis más altas de carbón activado, es plausible que la distancia adicional que las moléculas de As deben recorrer para alcanzar los sitios activos afecte la velocidad a la que ocurre la adsorción, lo que podría influir en la eficiencia general del proceso.

Estos resultados resaltan la importancia de encontrar un equilibrio óptimo entre la cantidad de carbón activado utilizado y la eficiencia de adsorción.

## VI. CONCLUSIONES

- 1) Se caracterizó las concentraciones iniciales de As de los cuatro puntos de agua para consumo humano en el distrito de Mochumí, los mismos que presentaron concentraciones de 0.0112 mg/L para el sector II; 0.0136 mg/L para el caserío Señor de Los Milagros; 0.01322 mg/L para el sector Mariposa y 0.05786 mg/L para el Caserío Pueblo Nuevo. Estas concentraciones evidencian contaminación por As debido a que sobrepasan el LMP de 0.010 mg/L establecido en el DS. N° 031-2010-SA. Mostrando un ligero incremento en los tres primeros puntos y un incremento más significativo en el caserío Pueblo Nuevo.
- 2) El carbón activado a partir de la cascarilla de arroz se obtuvo a una temperatura de 540 °C por un periodo de 60 minutos; la adición de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) fue en la relación de 1 gramo de carbón activado en 11.5 ml de  $\text{FeCl}_3$ . La impregnación se llevó a cabo mediante agitación en Multi-Rotator por un periodo de tiempo de 120 minutos.
- 3) Se utilizó cinco dosis de carbón activado modificado por litro de agua (0.5 gr, 0.75 gr, 1.0 gr, 1.25 gr y 1.50 gr) con un periodo de agitación de 30 minutos a 200 RPM. Obteniendo una eficiencia de 32.6%; 24.4%; 24.7%; 24.4% y 20.4% respectivamente.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 1) Monitoreo continuo del agua: Se sugiere realizar un monitoreo periódico del agua en el distrito de Mochumí para identificar y abordar las fuentes de contaminación de As, especialmente en áreas con niveles elevados detectados. Esto ayudará a implementar medidas preventivas y correctivas para mejorar la calidad del agua.
- 2) Se debe llevar a cabo pruebas detalladas del carbón activado modificado para evaluar su capacidad de adsorción de As. Se recomienda realizar estudios de adsorción en condiciones controladas para determinar su efectividad y compararla con otros materiales adsorbentes disponibles.
- 3) Realizar estudios detallados para determinar la dosis óptima de carbón activado modificado, considerando fenómenos cinéticos y termodinámicos, con el objetivo de maximizar la eficiencia de remoción de As en el agua contaminada. Esta optimización permitirá el uso efectivo del adsorbente en futuros sistemas de tratamiento de agua.



## REFERENCIAS

AGUOLAR, L, GARCIA, L, MARQUES, F, RAMOS, B, ARAUZO, J, GONZALO, A., 2009. Rendimiento de los productos del proceso de pirolisis en lecho fijo de los residuos de naranja del proceso de obtención de jugos concentrados en la provincia de Pinar del Río, Cuba, Revista de Ingeniería Mecánica, 12(3), 67-74. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225114976009>

AGROFIOTI, E., KALDERIS, D. Y DIAMADOPOULOS, E., 2014. Arsenic and chromium removal from water using biochars derived from rice husk, organic solid wastes and sewage sludge. Journal of Environmental Management.133: 309-314. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713007470?via%3Dihub>

AMNISTÍA INTERNACIONAL., 2021. Perú: Nueva evidencia confirma crisis de salud por metales tóxicos en Espinar. Disponible en <https://www.amnesty.org/es/latest/news/2021/05/peru-crisis-de-salud-metales-toxicos-espinar/>

ASIF, Z. y CHEN, Z., 2017. Removal of arsenic from drinking water using rice husk. Appl Water Sci, (7): 1449–1458. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0323-x>

BLANCO, M. C, AMIOTTI, N. M y ESPÓSITO, M., 2018. Arsénico en suelos y sedimentos del sudoeste pampeano: origen, acumulación en el agua y riesgo para consumo humano. Ciencia del Suelo. 36(1). Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672018000100017](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000100017)

CALCINA, M. E, CALCINA, L. E, HUARAYA, F. R, SALAS, A. R y TEJADA, K., 2023. Arsénico en aguas subterráneas de la cuenca del río Callacame y su impacto en suelos agrícolas en Desaguadero, Puno – Perú. DYNA [en línea]. 2022, 89(221). 178-184. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.98319>

CAMPODÓNICO, M. F., 2019. Diagnóstico del estado actual de la concentración de arsénico en las aguas de consumo humano del centro poblado Cruz del Medano en Mórrope. Tesis (Ingeniero de Seguridad Industrial y Minera). Chiclayo: Universidad Tecnológica del Perú. Disponible en [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2035/Martha%20Campononico\\_Trabajo%20de%20Investigacion\\_Bachiller\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2035/Martha%20Campononico_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

COLLIVIGNARELLI, M., SORLINI, S., MILANESE, C. et al., 2022. Rice Industry By-Products as Adsorbent Materials for Removing Fluoride and Arsenic from Drinking Water—A Review. Applied Sciences. 12(6). Disponible en <https://doi.org/10.3390/app12063166>

CORTEZ, D., 2021. Determinación de la dosis óptima de carbón activado de Citrus Sinensis para la remoción de arsénico en Pacora. Tesis (Ingeniero Ambiental). Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo. 57 pp. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104525>

DEFENSORÍA DEL PUEBLO., 2021. En defensa de las personas expuestas a metales pesados, metaloides y otras sustancias químicas: Los impactos de la contaminación ambiental. Disponible en <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2021/12/Informe-de-Adjuntía-Nº-19-2021-DP-AMASPPI.pdf>

FANO, D. A., 2021. Exposición a arsénico el agua potable, metabolismo, y sus efectos sobre los resultados perinatales en Tacna, Perú. Tesis (Magister en Filosofía). Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia. Disponible en [https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/8952/Exposicion\\_FanoSizgorich\\_Diego.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/8952/Exposicion_FanoSizgorich_Diego.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

FIESTAS, M. y MILLONES, A., 2019. Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Morrope. Tesis (Ingeniero Químico). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. 100 pp. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4028>

GOICOCHEA, A. y RUIZ, J., 2019. Adsorción de arsénico disuelto en agua subterránea en el distrito de Mórrope (Lambayeque) utilizando residuos sólidos de café (afrecho). Tesis (Ingeniero Ambiental). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. 75 pp.  
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3264>

GUTIÉRREZ, M., ESPINO, M. S, ALARCÓN, M. T, PINALES, A. y SILVA, H. H., 2021. Arsénico y flúor en agua subterránea de Chihuahua: origen, enriquecimiento y tratamientos posibles. *Tecnociencia Chihuahua*. 15 (2). 1-14.  
<https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/828>

HUSSAIN, M., IMRÁN, M., ABBAS, G., et al., 2020. A new biochar from cotton stalks for As (V) removal from aqueous solutions: its improvement with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and KOH. *Journal of Water Process Engineering*. 42 (8). Disponible en <https://www.proquest.com/docview/2428286771/abstract/9FC803AAF4644B10PQ/11?accountid=37408>

JANUSZEWICZ, K., KAXIMIERSKI, P., KLEIN, M. et al., 2020. Activated Carbon Produced by Pyrolysis of Waste Wood and Straw for Potential Wastewater Adsorption. *Materials*. 13(9). Disponible en <https://doi.org/10.3390/ma13092047>

JAVED, K., MAHMOOD, S., AMMAR, M. y MUSTAFA, G., 2023. Rice husk ash adsorbent modified by iron oxide with excellent adsorption capacity for arsenic removal from water. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 20. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04390-7>

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL., 2021. Contaminación Hídrica en el distrito de Pacora – Lambayeque. Informe de emergencia N° 997 - 3/7/2021 / COEN - INDECI / 14:50 HORAS. Disponible en <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/06/INFORME-DE-EMERGENCIA-Nº-997-3JUL2021-CONTAMINACIÓN-HÍDRICA-EN-EL-DISTRITO-DE-PACORA-LAMBAYEQUE-13.pdf>

LA REPÚBLICA., 2023. Lambayeque: CRL recomendó declarar en emergencia a Mochumí por contaminación. Disponible en

<https://larepublica.pe/sociedad/2021/07/15/lambayeque-crl-recomendo-declarar-en-emergencia-a-mochumi-por-contaminacion-de-agua-lrmd>

LIU, H., LI, P., QIU, F., 2022. The Application of Eco-Friendly Fe–Al Bimetallic Oxide/Biochar Adsorbent Composites with Waste Rice Husk for Removal of Arsenic at Low Concentration. *J Inorg Organomet Polym*, 32. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10904-021-02085-z>

LÓPEZ, P., 2004. Población muestra y muestreo. *Punto cero*. 9(8), 1-15. Disponible en [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012#:~:text=a\)%20Poblaci%C3%B3n.,conocer%20algo%20en%20una%20investigaci%C3%B3n.](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012#:~:text=a)%20Poblaci%C3%B3n.,conocer%20algo%20en%20una%20investigaci%C3%B3n.)

MARIANA, M., MISTAR, E. M., YAHYA, E. B., ALFATAH, T., DANISH, M., y AMAYREH, M., 2021. Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. *Journal of Water Process Engineering*, 43. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714421003081>

MEDINA, M., ROBLES, P., MENDOZA, M. y TORRES, C., 2018. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública [en línea]*. 35(1). 93-102. Disponible en <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>

MESA DE CONCERTACIÓN PARA LA LUCHA CONTRA LA POBREZA., 2019. Reporte N° 01-2019/SC/MCLCP. Situación actual sobre la contaminación de agua para consumo humano con arsénico en los distritos de Mórrope, Pacora y otros 2019. Disponible en <https://www.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2020-01-24/reporte-01-2019-sobre-contaminacion-de-agua-morrope-y-pacora-final.pdf>

MINAYA, M., CARI, P. W., GARATE, J. S. y RODRIGUEZ, L., 2020. Carbón activado de residuos maderables de shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*), y su aplicación en decoloración de aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*). *Ciencia Amazónica*, vol. 8, Num. 1, Pag. 1-16. Disponible en <http://dx.doi.org/10.22386/ca.v8i1.277>

MATAMOROS, M., 2016. Cinética de bioadsorción de plomo y arsénico en carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz. Tesis (Ingeniero Químico). Machala: Universidad Técnica de Machala. 2016. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7716>

NATH, B., CHLIHA, C. y KALITA, E., 2019. Iron oxide Permeated Mesoporous rice-husk nanobiochar (IPMN) mediated removal of dissolved arsenic (As): Chemometric modelling and adsorption dynamics. Journal of Environmental Management. 246:397-409,2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719307935?via%3Dihub>

OBREGON, D., ACOSTAA, I. y SUN, R., 2020. Remoción de mercurio empleando carbón activado preparado a partir de aguaje (Mauritia flexuosa). Revista de la Sociedad Química del Perú. 86(1), 70-87. Disponible en [https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2020000100070](https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2020000100070)

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD., 2023. Arsénico. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD., 2006. Mitigación de los efectos del arsénico presente en las aguas subterráneas. Disponible en: [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/EB118/B118\\_14-sp.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB118/B118_14-sp.pdf)

ORTIZ, J, GONZÁLES, J, JÚNEZ, H, et al., 2023. Removal of arsenic from semiarid area groundwater using a biosorbent from watermelon peel waste. Heliyon [en línea]. 9: 1-12. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023004589>

PERALTA, J. E., 2021. Remoción de Arsénico (As) aplicando cáscara de arroz modificado químicamente, de las aguas superficiales de la Comunidad de Upina, Carabaya-Puno, 2021. Tesis (Ingeniero Ambiental y Forestal). Puno: Universidad Nacional de Juliaca. 105 pp. <http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/188>

PILLAI, P., KAKADIYA, N., TIMANIYA, Z., Dharaskar, S., y SILLANPAA, M., 2020. Removal of arsenic using iron oxide amended with rice husk nanoparticles from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, 28 (2):830-835. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319343378#:~:text=Removal%20of%20Arsenic%20was%20achieved,highest%20capacity%20than%20other%20adsorbent.>

PODGORSKI, J y Berg, M. 2023. Global threat of arsenic in groundwater. *Science*, [en línea]. 2020, Vol. 368. Disponible en [DOI: 10.1126/science.aba1510](https://doi.org/10.1126/science.aba1510)

RADIO PROGRAMAS DEL PERÚ., 2023. Lambayeque: Evalúan pedir declaratoria de emergencia por contaminación de agua con arsénico. Disponible en <https://rpp.pe/peru/lambayeque/lambayeque-evaluan-pedir-declaratoria-de-emergencia-por-contaminacion-de-agua-con-arsenico-noticia-1466699#:~:text=Lambayeque%3A%20Evalúan%20pedir%20declaratoria%20de%20emergencia%20por%20contaminación%20de%20agua%20con%20arsénico,-La%20población%20pide&text=Cinco%20distritos%20de%20la%20mancomunidad,encontró%20arsénico%20en%20su%20sangre.>

RODRÍGUEZ, C., 2021. Intoxicación por arsénico. *Medicina Legal de Costa Rica*. 2021, 38(2). 4-16. Disponible en [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-00152021000300004&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-00152021000300004&script=sci_abstract&tlng=es)

SCARAGER, J. y ARMIJO, I., 2021. Metodología de la Investigación para las Ciencias Sociales. Disponible en <https://acortar.link/9Jm5g9>

SUAREZ, D. y VILLEGAS, E., 2019. Evaluación de la adsorción del carbón obtenido del mesocarpio de cacao (*Theobroma cacao L.*) modificado por ultrasonido. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 216-230. Disponible en [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2019000200009](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000200009)

TEJADA, C, VILLABONA, A y GARCES, L., 2023. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnologías*, [en línea], 2015, 18(34). Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992015000100010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010)

VÉLAZQUEZ, J, et al., 2019. Concentración nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz. *Revisita Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 129-136. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n2/0187-7380-rfm-42-02-129.pdf>

VIDAL, M., RODRIGUEZ, A., MARTINEZ, K., OCAMPO, J. y WILMAR, R., 2018. Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica* Año XXIII, 23(3). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>

ZEINAB, F., MEHDI, E. y RAMIN, M., 2021. Efficient removal of lead and arsenic using macromolecule-carbonized rice husks, *Heliyon. Journal of Water Process Engineering*, 7 (3), 1-8, marzo 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021007349>

## ANEXOS

### Anexo 01. Operacionalización de variables

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
INDEPENDIENTE Carbón activado de cascarilla de arroz, modificado con cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> )	Es un material derivado de la cascarilla de arroz que ha sido tratado con Cloruro Férrico para mejorar su capacidad de adsorción. (Velázquez et al., 2019)	Se refiere al producto obtenido a partir de la activación de la cascarilla de arroz y su posterior modificación química mediante el tratamiento con FeCl <sub>3</sub> en condiciones controladas de temperatura y tiempo.	Carbón activado de cascarilla de arroz	Masa de carbón activado modificado	Razón
				Tiempo de residencia y/o contacto	Razón
				Concentración de FeCl <sub>3</sub>	Razón
DEPENDIENTE Adsorción de arsénico (As) en el agua	Proceso mediante el cual el arsénico, un elemento químico tóxico, se adhiere o se une a la superficie de un material sólido (como el carbón activado de cascarilla de arroz modificado), formando una capa o película superficial. (Rentería et al., como se citó en Matamoros, 2016)	Se realizará experimentos en los cuales se mide la capacidad de un material adsorbente (como el carbón activado de cascarilla de arroz modificado con FeCl <sub>3</sub> ) para capturar y retener el arsénico presente en una muestra de agua contaminada.	Nivel de concentración de As	Concentración de Arsénico	Razón

Fuente: Elaboración propia



## Anexo 02: Resultados de análisis de agua

### Caracterización inicial del agua



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS TÉCNICOS



FICHA DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DEL DISTRITO DE MOCHUMI	
<b>TÍTULO</b>	Adsorción de arsénico del agua del distrito de Mochumi mediante carbón activado modificado de cascarilla de arroz
<b>LINEA DE INVESTIGACIÓN</b>	Calidad y gestión de recursos naturales
<b>AUTORES</b>	Deza Díaz Kathia Lisbeht Mejía Espinoza Sandrelly Vanessa

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA EN EL DISTRITO DE MOCHUMI		
	Valor	Unidad
<b>pH</b>	8.45	Unidades de pH
<b>Temperatura promedio</b>	25.95	°C
<b>Conductividad</b>	2346.25	uS/cm

Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR 16681280 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 25/11/2023 10:43:31-0500



**INFORME DE ANÁLISIS  
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: SANDRELLY VANESSA MEJÍA ESPINOZA KATHIA DEZA DÍAS
MUESTRA	: AGUA
FECHA DE INGRESO	: 28 DE SETIEMBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

**ANÁLISIS QUÍMICO DE PLOMO:**

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	ARSÉNICO (As)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M - 1	0.0112	mg/L	0.006

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.  
\*ND: No detectable, fuera del rango*

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	ARSÉNICO (As)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M-2	0.0136	mg/L	0.006

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.  
\*ND: No detectable, fuera del rango*

TRUJILLO, 02 DE OCTUBRE DEL 2023

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 122588

**AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL**

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

## Caracterización final del agua



### INFORME DE ENSAYO N° 0423-2023

**Solicitantes** : Kathia Lisbeth Deza Diaz  
Sandrelly Vanessa Mejía Espinoza  
**Muestra\*** : Agua de pozo  
**Nro. de muestras** : 2  
**ID de las muestras** : M1 - Mochumi  
M2 - Mochumi  
**Fecha de muestreo** : 17 de noviembre del 2023  
**Recepción de la muestra** : En laboratorio  
**Fecha de recepción de muestra** : 18 de noviembre del 2023

Ensayo	Unidades	LC	Resultados	
			M1	M2
Arsénico total, As	µg/L	0.080	57.86	13.22

(\*) La toma de muestra y condiciones de envío hasta recepción en el laboratorio es responsabilidad del cliente.  
LC: Límite de cuantificación

Metodología aplicada:

Ensayo	Método
Arsénico total	Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. Part. 3114 C. 24 th Edition 2023.

Trujillo, 20 de noviembre del 2023.

  
**Juan Carlos Sánchez Carrasco**  
Ingeniero Químico  
CIP 124131

C.c. Archivo.

PÁG. 1 - 1

**INFORME DE ENSAYO N° 0432-2023**

**Solicitantes** : Kathia Lisbeth Deza Diaz  
Sandrelly Vanessa Mejía Espinoza  
**Muestra\*** : Agua de pozo  
**Nro. de muestras** : 5  
**ID de las muestras** : M1 – peso 0.50 g  
M2 – peso 0.75 g  
M3 – peso 1.00 g  
M4 – peso 1.25 g  
M5 – peso 1.50 g  
**Fecha de muestreo** : 22 de noviembre del 2023  
**Recepción de la muestra** : En laboratorio  
**Fecha de recepción de muestra** : 22 de noviembre del 2023

Ensayo	Unidades	LC	Resultados				
			M1	M2	M3	M4	M5
Arsénico total, As	µg/L	0.080	38.98	43.74	43.54	44.00	46.08

(\*) La toma de muestra y condiciones de envío hasta recepción en el laboratorio es responsabilidad del cliente.  
LC: Límite de cuantificación

Metodología aplicada:

Ensayo	Método
Arsénico total	Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: Part. 3114 C. 24 th Edition 2023.

Trujillo, 24 de noviembre del 2023.

  
**Juan Carlos Sánchez Carrasco**  
Ingeniero Químico  
CIP 124131

C.c. Archivo.

PÁG. 1 - 1

#### Anexo 4. Registro fotográfico



Recolección de cascarilla de arroz



Lavado y molienda de la cascarilla de arroz

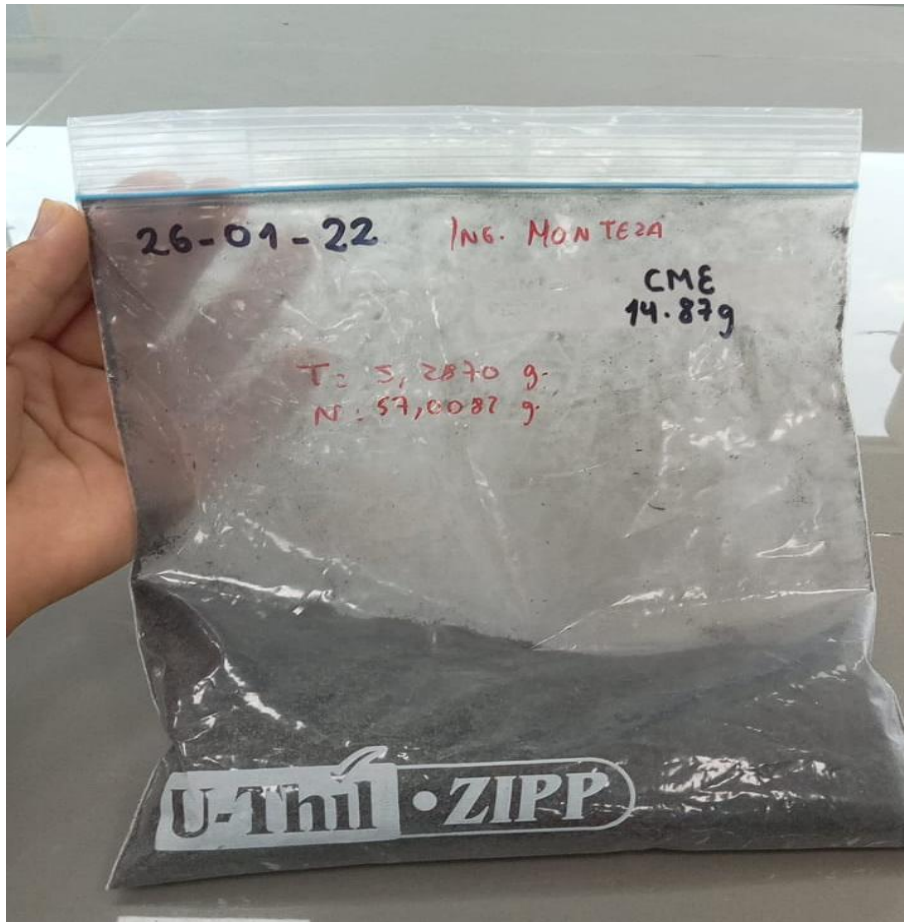




Molienda de la cascarilla de arroz



Carbonización



Carbón activado de cascarilla de arroz



Modificación del carbón activado con  $\text{FeCl}_3$