

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



**Remoción de arsénico con zeolita comercial natural modificada  
térmicamente con NaOH y FeCl<sub>3</sub>**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Zendher Italo Cora Monrroy  
Nelly Maive Catacora Choqueapaza

**Asesor:**

Ing. Rose Adeline Callata Chura

**Juliaca, Julio del 2024**

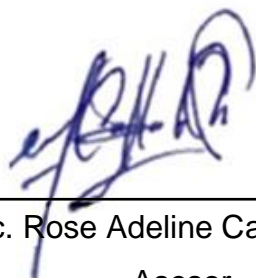
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Msc. Rose Adeline Callata Chura, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON ZEOLITA COMERCIAL NATURAL MODIFICADA TÉRMICAMENTE CON NAOH Y FECL<sub>3</sub>”** de los autores **Zendher Italo Cora Monrroy** y **Nelly Maive Catacora Choqueapaza**, tiene un índice de similitud de 6% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 30 días del mes de julio del año 2024.



---

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 30 día(s) del mes de julio del año 2024 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a): Msc. Miguel Ángel Salcedo Enriquez, el (la) secretario(a): Jug Nancy Gurasi Rafael y los demás miembros: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera y el (la) asesor(a) Msc. Rose Adelino Gallata Shura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Remoción de arsénico con zeolita comercial natural modificada químicamente con NaOH y FeCl3"

del(los) bachiller(es): a) Zendher Italo Lora Monroy  
 b) Nelly Maire Gatacora Choquespaza  
 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): Zendher Italo Lora Monroy

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Nelly Maire Gatacora Choquespaza

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</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  
[Firma]  
 Bachiller (c)

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a Dios por todo lo brindado y a nuestros padres por su aliento y apoyo incondicional, Gracias.

## Índice general

AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ANEXOS .....	vii
1. Introducción.....	10
1.1. Arsina.....	11
1.2. Arsenito.....	12
1.3. Arseniato.....	12
1.4. Zeolita .....	12
2. Metodología .....	14
2.1. Localización y punto de muestreo.....	14
2.2. Acondicionamiento con hidróxido de sodio .....	14
2.3. Acondicionamiento con cloruro férrico.....	15
3. Diseño experimental .....	15
3.1. Diseño estadístico experimental y análisis de datos .....	15
4. Resultados .....	16
4.1. Caracterización del agua subterránea .....	16
4.2. Caracterización de la zeolita por microscopia electrónica de barrido (SEM) .....	17
4.2.1. Caracterización en su estado natural .....	17
4.2.2. Caracterización de la zeolita acondicionada con FeCl <sub>3</sub> .....	18
4.2.3. Caracterización de la zeolita acondicionada NaOH .....	19
4.3. Remoción de arsénico.....	20
5. Discusión de resultados.....	27
6. Conclusiones y recomendaciones.....	29
Referencia bibliográfica .....	30
7. Anexos .....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	La tabla N1 muestra los resultados de análisis de calidad del agua comparados con los Límites Máximos Permisibles (L.M.P.) según la normativa D.S. 031-2010 SA. 16
<b>Tabla 2</b>	Representación de las pruebas realizadas. ....20
<b>Tabla 3</b>	Determinación de los niveles de significancia en el Anova se procesó los datos en Python.....23
<b>Tabla 4</b>	Combinación A + B. ....24
<b>Tabla 5</b>	Combinación A + C. ....24
<b>Tabla 6</b>	Combinación B + C. ....24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Imagen de SEM de la zeolita. ....	17
<b>Figura 2</b> Imagen del Espectro de SEM de la Zeolita en su estado natural. ....	18
<b>Figura 3</b> Imagen espectro de SEM de zeolita modificada con Fe .....	19
<b>Figura 4</b> Imagen espectro SEM de zeolita modificada Na.....	19
<b>Figura 5</b> Remoción de arsénico con NaOH y FeCl <sub>3</sub> . ....	22
<b>Figura 6</b> Cuadro comparativo de 1 (NaOH) y 2 (FeCl <sub>3</sub> ). ....	25
<b>Figura 7</b> Cantidad de Zeolita Natural 45g y 80g. ....	25
<b>Figura 8:</b> Tiempo de contacto.....	26

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Evidencia de sumisión a un artículo.....	34
<b>Anexo 2.</b> Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.....	35
<b>Anexo 3.</b> Análisis de Laboratorio.....	35

# Remoción de arsénico con zeolita comercial natural modificada térmicamente con NaOH y FeCl<sub>3</sub>

## RESUMEN:

Este estudio evaluó la efectividad de una zeolita natural comercial acondicionada con FeCl<sub>3</sub> y NaOH para la remoción de arsénico. Así, se trabajó con diferentes cantidades de zeolita (45g y 80g) para la remoción del arsénico a tiempos de contacto (5min y 10min). Los resultados mostraron que el acondicionamiento con FeCl<sub>3</sub> fue más significativo que el NaOH, alcanzando una remoción del 91.67% y 79.49%, respectivamente, a tiempo de contacto de 10 minutos y a 80 g de la zeolita acondicionada. Estos hallazgos resaltan el potencial de la zeolita acondicionada como una alternativa eficiente, económica y ambientalmente sostenible para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con arsénico y sus derivados nocivos.

**Palabras clave:** *zeolita natural, zeolita acondicionada, remoción de arsénico.*

# **Arsenic removal with natural commercial zeolite thermally modified with NaOH and FeCl<sub>3</sub>**

## **SUMMARY:**

This study evaluated the effectiveness of a commercial natural zeolite conditioned with FeCl<sub>3</sub> and NaOH for the removal of arsenic. Thus, different amounts of zeolite (45 g and 80 g) were used for the removal of arsenic at contact times (5 min and 10 min). The results showed that the conditioning with FeCl<sub>3</sub> was more significant than NaOH, reaching a removal of 91.67% and 79.49%, respectively, at a contact time of 10 minutes and at 80 g of the conditioned zeolite. These findings highlight the potential of conditioned zeolite as an efficient, economical and environmentally sustainable alternative for the treatment of groundwater contaminated with arsenic and its harmful derivatives.

**Keywords:** *Natural zeolite, conditioned zeolite, arsenic removal.*

## 1. Introducción

El agua se encuentra en los océanos, lagos, ríos, aire y en la tierra, que tiene características únicas y son relevantes para la vida, (Fernández, 2012). Por otro lado, el océano contiene alrededor del 97.50% del agua de la Tierra y solo el 2.50% del agua es dulce, que se encuentra en las montañas y los glaciares, y que constituye aproximadamente el 80.00% mientras que el 19.00% es agua subterránea y solo el 1.00% es agua superficial de fácil acceso. Esta pequeña cantidad de agua superficial disponible se encuentra en lagos en un 52.00% y en un 38.00% en humedales (Condori, 2020a).

En el Perú se tiene un acceso limitado al servicio de agua potable y alcantarillado, como consecuencia del crecimiento poblacional. No obstante, la importancia del agua en la vida ha permitido que las personas carentes de este servicio recurran a consumir agua de la napa freática. Por otro lado, la falta de conocimiento sobre la geología del suelo, hace que sea contraproducente, trayendo consigo enfermedades provocadas por el consumo de agua que contengan altas concentraciones de algunos elementos químicos y en especial el arsénico (As) que es altamente tóxico, que provoca enfermedades (Caroline ,2017).

Por otra parte, Condori (2020b) y Fernández (2015), indican que el arsénico está ampliamente distribuido en nuestro planeta, es un contribuyente natural de la tierra, que se encuentra en la vigésima posición en abundancia con relación a otros elementos y es el más abundante de los 20 elementos en el suelo.

El As se puede encontrar en rastros de piedra, suelo, agua y aire, y estos se encuentran en cuatro estados de oxidación: As (-3), As (0), As (3) y As (5). Además, el arsénico se encuentra en el medio ambiente principalmente en forma de arsenito As (3) y arsenato As (5). Las concentraciones naturales del arsénico varían en el agua, así en el agua de mar suele ser inferiores a 2 µg/L, mientras que las concentraciones en aguas superficiales y subterráneas oscilan entre 1 µg/L y 10 µg/L, por otro lado, los niveles más altos se observan en aguas de origen geoquímico y están asociados con la actividad

hidrotermal, hay que mencionar, además que los elementos del arsenal son insolubles en agua (Edelweiss, 2015).

Condori (2020) y Edelweiss (2015) coinciden que el arsénico (As) es uno de los metales más tóxicos presentes en el medio ambiente y la especiación de esta depende de diversos factores químicos, físicos, biológicos y la toxicidad de estos compuestos depende del grado de oxidación, estado de mezcla, solución o tamaño de polvo. Por otro lado, Ramírez (2013) y Vizcaino (1998) mencionan que la exposición a compuestos orgánicos de arsénico se ha relacionado con varios tipos de cáncer de hígado, piel y diabetes Fernández (2015), es importante saber el tiempo medio de permanencia del arsénico en el organismo ya que suele ser de diez horas y que aproximadamente un 30.00% llega a absorberse, que cuando se trata de  $As^{3+}$  el 95.00% se absorbe por el tracto digestivo, mientras que el 70.00% se excreta por vías urinarias. Habría que decir también, Colet (2017) y Montoya (2015a, 2015b) señalan que el arsenito  $As(3)$  es de 60 a 70 veces más tóxico que las especies metiladas y 10 veces más tóxico que el arseniato  $As(5)$ . No obstante, Ramírez (2013) reafirma con su hipótesis de que el arsénico inorgánico (iAs) en la forma trivalente ( $iAs^{3+}$ ) es más tóxica que la pentavalente ( $iAs^{5+}$ ).

### **1.1. Arsina**

La arsina es un gas incoloro, más denso que el aire y se forma cuando el hidrogeno reacciona con el arsénico, por otro lado, cuando el gas se absorbe directamente en la sangre a través de los alveolos ocurre el efecto enzimático sobre la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa en los glóbulos rojos, que oxida a la hemoglobina y provoca la meta hemoglobinuria (niveles de glutatión) que causa la caída significativa de los glóbulos rojos (Condori, 2020b; Montoya, 2015b).

## **1.2. Arsenito**

Montoya (2015), indica que el arsenito es más tóxico que el arseniato y poco saludable en el agua, además, es menos biodisponible. El As (3) es absorbido por las células a pH neutro a través de bacterias, hongos y acoglicerporina (proteínas transportadoras de glicerol). Su toxicidad se debe a su capacidad para unirse al grupo sulfhidrilo de los residuos de cisteína en las proteínas, lo que las inactiva y aumenta su toxicidad. Por otra parte, estudios realizados por Yingjun (2023) muestran también un incremento de la incidencia de enfermedades, incluyendo el cáncer. Por otro lado, en 1992 se descubrió que la bacteria B proteobacterina *Alcaligenes faecalis* puede oxidar el arsenito lo que ayuda a reducir sus niveles de concentración en el agua (Condori, 2020b).

## **1.3. Arseniato**

Según Song (2024), el As (5) es relativamente estable en ambiente con alta oxidación y se encuentra en su forma de arseniato. De manera similar Condori (2020b) menciona que la toxicidad del As (5) radica en su estructura que permite la fosforilación oxidativa que sustituye al fosfato para ingresar en las células a través del sistema de transporte de fosfato.

Por otra parte, Kaya y Meng (2024) indica, que el arsénico aparece principalmente en el suelo y el agua en sus dos formas orgánicas e inorgánicas como arseniato As (5) y arsenito As (3), siendo absorbidas por el entorno, incluyendo la flora, la fauna y los seres humanos. El arseniato puede reducirse a As (3) mediante la reducción durante el proceso de respiración anaeróbica (Chauhan, 2024).

## **1.4. Zeolita**

La palabra Zeolita es de origen griego “Zeo” que significa hervir y “Lithos” que significa piedra, lo que se traduce en “piedra que hierve” (García, 2020 y Santiago 2016). En 1948, el químico Richard M. Barrer obtuvo la zeolita sintética en el laboratorio de la

corporación Union Carbide, sus experimentos consistieron en simular una serie de condiciones como la temperatura y presión, que favorecieran la formación de este mineral y a este método se le conoce como síntesis hidrotermal (Byrappa, 2013; Jha, 2016; Vizcaino, 1998).

Por otra parte, Santiago (2016) y Vizcaino (1998) indican que las zeolitas son minerales aluminosilicatos hidratados, compuestos por tetraedros interconectados de alúmina ( $\text{AlO}_4$ ) y sílice ( $\text{SiO}_4$ ). En la actualidad, se han reportado alrededor de 40 zeolitas naturales que se formaron en rocas volcánicas y sedimentarias, además, existen alrededor de 150 zeolitas artificiales que han sido sintetizadas con fines específicos (Guillermo, 2021).

Según, Clean Air Technology Center (1999), la zeolita es un material metaestable que mantiene su estabilidad dentro de un rango adecuado de temperatura y pH, además, es resistente a fluctuaciones de temperatura, presión y radiación ionizante. Es importante mencionar que la zeolita natural se presenta como roca, mientras que la zeolita sintética tiene cristales de tamaño inferior a un milímetro debido a su lento crecimiento, lo que facilita la absorción.

La investigación sobre las zeolitas ha experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas, como lo demuestra el incremento en la cantidad de artículos, patentes y libros publicados sobre estos materiales cada año. La zeolita se utiliza como ablandadores de agua y absorbentes (Condori, 2020b; Santiago, 2016).

Según Jha (2016), las zeolitas naturales se forman por las reacciones entre lava, agua y sal de mar debido a la actividad volcánica; sin embargo, estas zeolitas naturales pueden estar contaminadas y no ser apropiadas para aplicaciones comerciales que requieren uniformidad y pureza.

Byrappa (2013), indica que las principales materias primas (precursores) para la síntesis de zeolita sintética pueden ser productos químicos puros ricos en sílice y alúmina (fuentes convencionales), minerales disponibles en la tierra o subproductos industriales (fuentes no convencionales). El tipo de zeolitas formada depende de factores como la temperatura, la presión, la concentración de las soluciones reactivas, el pH, el proceso de

activación y el periodo de envejecimiento, así como el contenido de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de los precursores; además, las zeolitas se distinguen unas de otras por sus diferencias estructurales en sus celdas unitarias (Vizcaino, 1998).

## **2. Metodología**

### **2.1. Localización y punto de muestreo**

Se recolectó una muestra de agua del pozo artesanal ubicado en la urb. Juana María, con Coordenadas UTM "15°28'14.1"S 70°07'53.1"W" de la ciudad de Juliaca – Perú. La recolección se realizó siguiendo la técnica del "Manual de Buenas Prácticas en Investigación de Sitios contaminados: Muestreo de Aguas Subterráneas" Ministerio del Ambiente (2016). Posteriormente, se analizaron los parámetros fisicoquímicos del Agua, como: Turbidez(Método Nefelométrico), pH(Método Electrométrico), conductividad eléctrica (Método N°2510), Sólidos Totales Disueltos (Método N°2540), Salinidad (Método N°2540), Temperatura (Método N°2550), Dureza Total (Método N°2340), Cloruros (Método N°4500), Sulfatos (Método N°4500), Nitratos (Método N°4500), Coliformes totales (Incubadora, medios de cultivo), Coliformes termo tolerantes (Incubadora, medios de cultivo) y Arsénico (As) por el Método de Dietilditiocarbamato de Plata, según lo establecido en la NTP 2014.008.

### **2.2. Acondicionamiento con hidróxido de sodio**

En un vaso de precipitado se colocó 150 g de zeolita natural y se agregó 825 ml de solución de NaOH al 8%, seguidamente se agitó en un agitador magnético a 300 rpm a una temperatura de 105°C por un periodo de 8h, hasta la evaporación por completa, finalmente se lavó con agua desionizada hasta un pH neutro.

### **2.3. Acondicionamiento con cloruro férrico**

El proceso de acondicionamiento se realizó con una solución de cloruro férrico al 0.5 M (50ml) y 200g de zeolita Natural por cuadruplicado en vasos de precipitados de 500ml. Seguidamente, se agitó en un agitador magnético a 1000 rpm a una temperatura de 150°C (Helard ,2015) por un periodo de 8 horas, hasta que ocurra una evaporación completa del agua con precipitado del hierro en la zeolita Natural, ocasionando la interacción de la zeolita Natural y  $\text{FeCl}_3$  formando el óxido de hierro (Condori, 2020b). Luego, la zeolita Natural acondicionada se lavó con agua desionizada para eliminar el exceso de cloruro férrico que no se había precipitado y finalmente, se dejó secar a temperatura ambiente.

## **3. Diseño experimental**

La remoción de As en muestras de agua se obtuvo por el contacto de la zeolita natural acondicionada (con  $\text{FeCl}_3$  y NaOH) con la muestra de agua. Es así que, primero se procedió a pesar 45g y 80g de zeolita acondicionada los que se colocó en vasos precipitados de 200ml. Seguidamente a las muestras anteriores se añadieron 108ml y 143ml de la muestra de análisis de agua, respectivamente. El tiempo de contacto del experimento fue variable de 5 a 10min, manteniendo las muestras en reposo. Finalmente, las muestras se analizaron la concentración de arsénico.

### **3.1. Diseño estadístico experimental y análisis de datos**

Se utilizó el lenguaje de programación Python el cual es recomendado para procesar datos de investigación.

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterización del agua subterránea

La muestra recolectada se caracterizó en los parámetros, físicos, químicos y biológicos, los que se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**

*La tabla N1 muestra los resultados de análisis de calidad del agua comparados con los Límites Máximos Permisibles (L.M.P.) según la normativa D.S. 031-2010 SA.*

Parámetros	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	Valores Obtenidos
Turbidez	NTU	5	0.318
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5 - 8,5	7.56
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	1232
Solidos Totales Disueltos	mg/l	1000	597
Salinidad	%	-	0.6
Temperatura	°C	-	14.8
Dureza Total	mg/l	500	483
Cloruros	mg/l	250	119
Sulfatos	mg/l	250	220
Nitratos	mg/l	50	23.47
Coliformes Totales	mg/l	0 UFC/100ml	24304
Coliformes Termo tolerantes	mg/l	0 UFC/100ml	188
Arsénico	mg/l	0.01	0.156

**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. Los resultados muestran que la concentración de As sobrepasa a la concentración de la calidad de agua apta para consumo humano en ese parámetro.

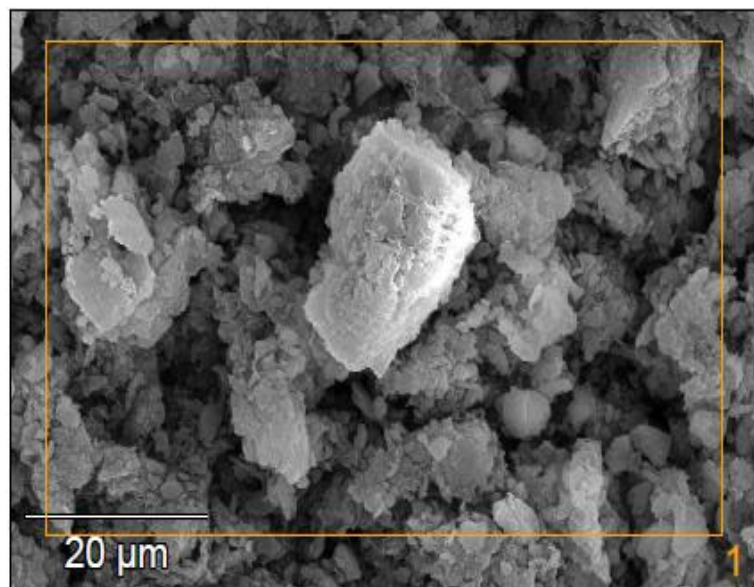
## 4.2. Caracterización de la zeolita por microscopia electrónica de barrido (SEM)

### 4.2.1. Caracterización en su estado natural

Mediante la técnica de Microscopia electrónica de barrido (SEM), se observó cristales irregulares que indican de que se trataría de vidrio amorfo que dio a la formación de la zeolita, asimismo se observa la apariencia de partículas granular escamosa. Además, en su estado elemental la zeolita se compone de Al, Si, Ca, Na, H, O. Por otro lado, el análisis de SEM mostró en porcentaje de peso de 51.40, 0.41, 0.87, 6.82, 33.78, 1.59, 3.26, 0.16, 1.70 y 0.00, para el O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, As, respectivamente, generando la fórmula empírica  $(Ca_{24.33} Na_{5.33} Mg_{10.7} K_{12} Ti Fe_{9.1}) [Al_{75.6} Si_{359.8} O_{960.93}] \cdot nH_2O$ , donde  $nH_2O$  solo significa la variabilidad de moléculas de agua, asimismo el Titanio es una impureza por la baja concentración presente. Además, la relación de Si/Al es de 4.76 que podría pertenecer a algún tipo de zeolita en el grupo de modernita.

### Figura 1

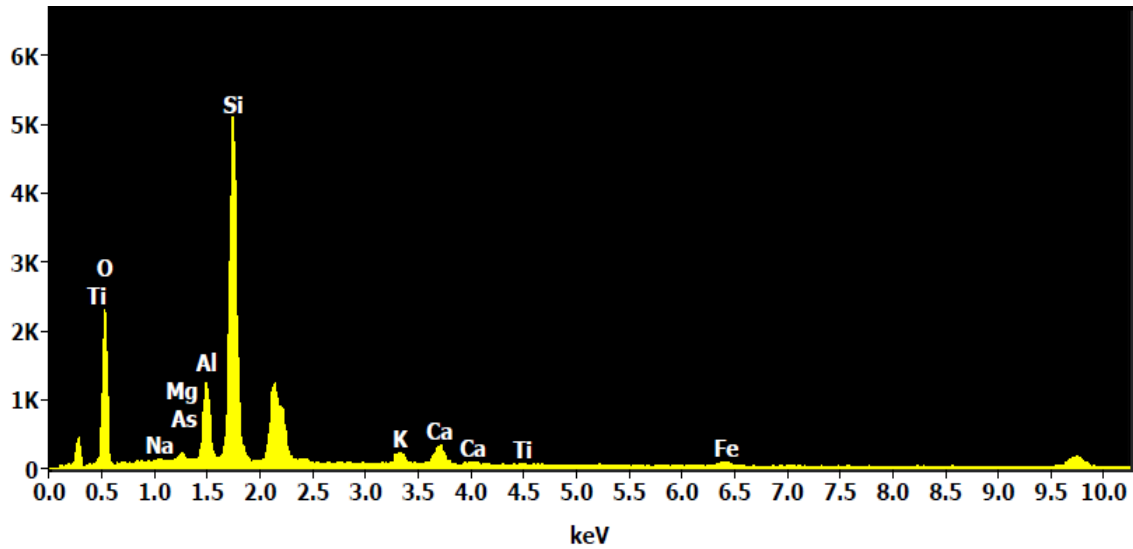
*Imagen de SEM de la zeolita.*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2**

*Imagen del Espectro de SEM de la Zeolita en su estado natural.*



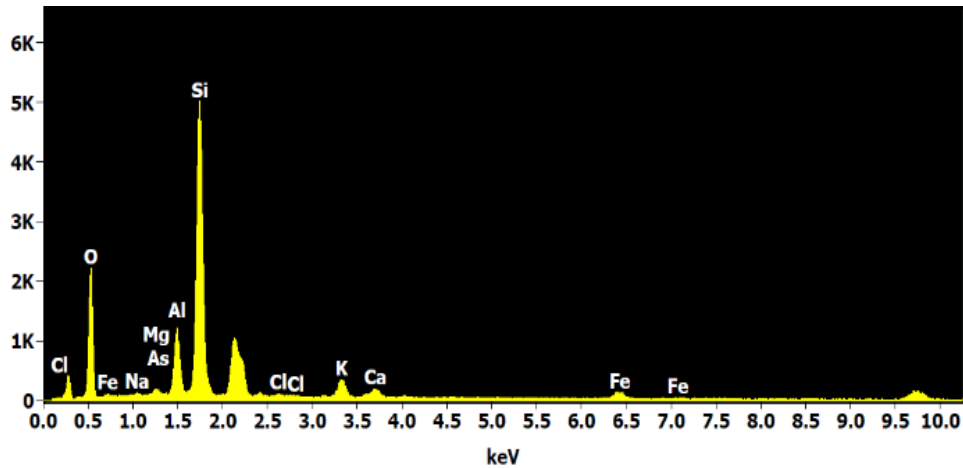
**Fuente:** Elaboración propia.

La figura 2 muestra un espectro de energía de rayos X (EDX) que revela la composición elemental de una muestra. Los elementos detectados incluyen oxígeno (O) y titanio (Ti) con picos a aproximadamente 1.5 keV, sodio (Na) a 1,05 keV, aluminio (Al) a 1.5 keV y silicio (Si) como el elemento más abundante con el pico alto a 1.75 keV. Además, se detecta arsénico (As) a 1.3 KeV, potasio (K) a 3.3 keV, calcio (Ca) con dos picos cerca de 3.7 KeV y 4 keV y hierro (Fe) a 6.4 keV. La alta concentración de silicio sugiere la presencia de minerales silíceos, mientras que la notable presencia de oxígeno aluminio indica posibles aluminosilicatos.

#### **4.2.2. Caracterización de la zeolita acondicionada con FeCl3**

**Figura 3**

*Imagen espectro de SEM de zeolita modificada con Fe*



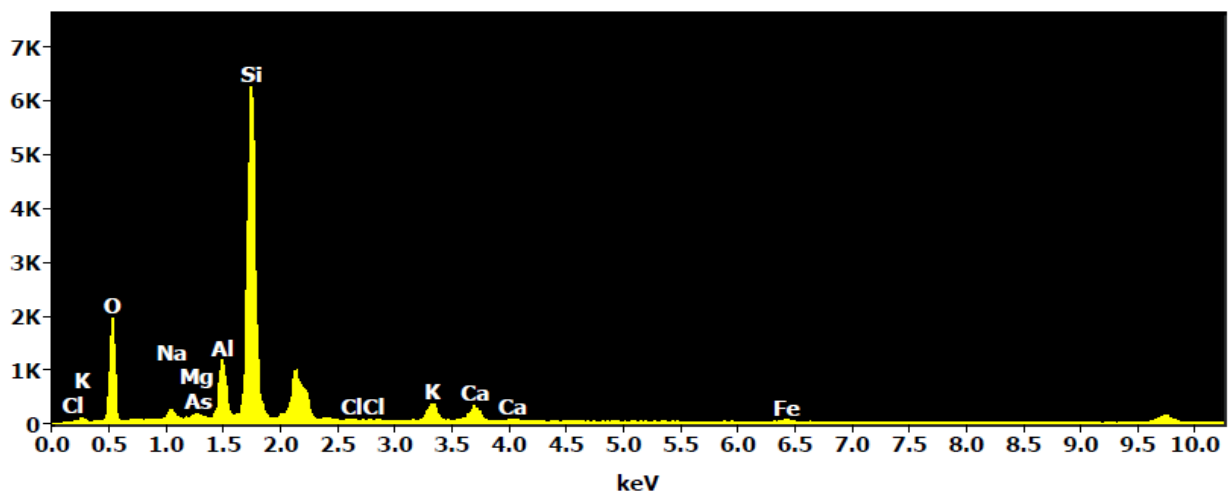
**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. Los espectros de SEM muestran la variación de la composición después del acondicionamiento es así que se observa los distintos picos mostrando para Fe y Na, asimismo, estos revelan el proceso de modificación en la superficie con la siguiente composición química de  $(Ca_{1.94} Na Mg_{1.68} K_{3.7} Fe_{2.7}) [Al_{12.34} Si_{62.21} O_{154}] H_2O$  para el  $FeCl_3$ , asimismo se obtuvo porcentaje traza de química.

#### **4.2.3. Caracterización de la zeolita acondicionada NaOH**

**Figura 4**

*Imagen espectro SEM de zeolita modificada Na.*



**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. La imagen muestra la composición elemental de una muestra, donde los elementos detectados incluyen oxígeno, sodio, magnesio, aluminio, silicio, azufre, cloro, potasio y hierro, con un pico notablemente alto para el silicio, indicando su abundancia en la muestra, además la modificación de la zeolita con NaOH generó la siguiente fórmula empírica  $(Ca_{23.52}Na_{31.75}Mg_{9.91}K_{27.5}Fe_{7.36})[Al_{76.2}Si_{488.45}O_{1015.42}]H_2O$ .

### 4.3. Remoción de arsénico

La remoción del arsénico se da por el fenómeno de la adsorción que ocurre en la superficie de la zeolita acondicionada. Además, el porcentaje de remoción se determinó mediante la fórmula (1).

Ci: Concentración inicial

Cf: Concentración final

$$\% \text{ de remoción} = (Ci - Cf) * \frac{100}{Ci} \dots\dots\dots (1)$$

**Tabla 2**

*Representación de las pruebas realizadas.*

N° Tratamiento	Tipo de modificación de zeolita	Peso de Zeolita / gramos	Tiempo de Contacto	Concentración de arsénico final (mg/l)	% de Remoción	Bloque (Replica)
1	NaOH	45	5min	0.109	30.13	I
2	NaOH	45	5min	0.106	32.05	II
3	NaOH	45	5min	0.107	31.41	III
4	NaOH	45	10min	0.096	38.46	I
5	NaOH	45	10min	0.097	37.82	II
6	NaOH	45	10min	0.099	36.54	III
7	NaOH	80	5min	0.075	51.92	I
8	NaOH	80	5min	0.073	53.21	II
9	NaOH	80	5min	0.07	55.13	III
10	NaOH	80	10min	0.038	75.64	I
11	NaOH	80	10min	0.032	79.49	II
12	NaOH	80	10min	0.032	79.49	III
13	FeCl <sub>3</sub>	45	5min	0.075	51.92	I

14	FeCl <sub>3</sub>	45	5min	0.072	53.85	II
15	FeCl <sub>3</sub>	45	5min	0.074	52.56	III
16	FeCl <sub>3</sub>	45	10min	0.041	73.72	I
17	FeCl <sub>3</sub>	45	10min	0.041	73.72	II
18	FeCl <sub>3</sub>	45	10min	0.038	75.64	III
19	FeCl <sub>3</sub>	80	5min	0.052	66.67	I
20	FeCl <sub>3</sub>	80	5min	0.052	66.67	II
21	FeCl <sub>3</sub>	80	5min	0.052	66.67	III
22	FeCl <sub>3</sub>	80	10min	0.023	85.26	I
23	FeCl <sub>3</sub>	80	10min	0.013	91.67	II
24	FeCl <sub>3</sub>	80	10min	0.018	88.46	III

**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. El grafico muestra la cantidad de pruebas realizadas con los dos tipos de zeolita modificada, peso de zeolita, tiempo de contacto, todo esto para poder obtener un porcentaje de remoción referente al arsénico.

El análisis estadístico se desarrolló con el software de Python, donde se muestran series.

Series 1,2 y 3: Estas series utilizaron zeolita acondicionada con NaOH. En las tres series, se emplearon 45g de zeolita, pero con diferentes tiempos de contacto: 5min para las series 1 y 2, y 10 min para la serie 3. Los resultados mostraron que la remoción de arsénico fue ligeramente mayor con el aumento de tiempo.

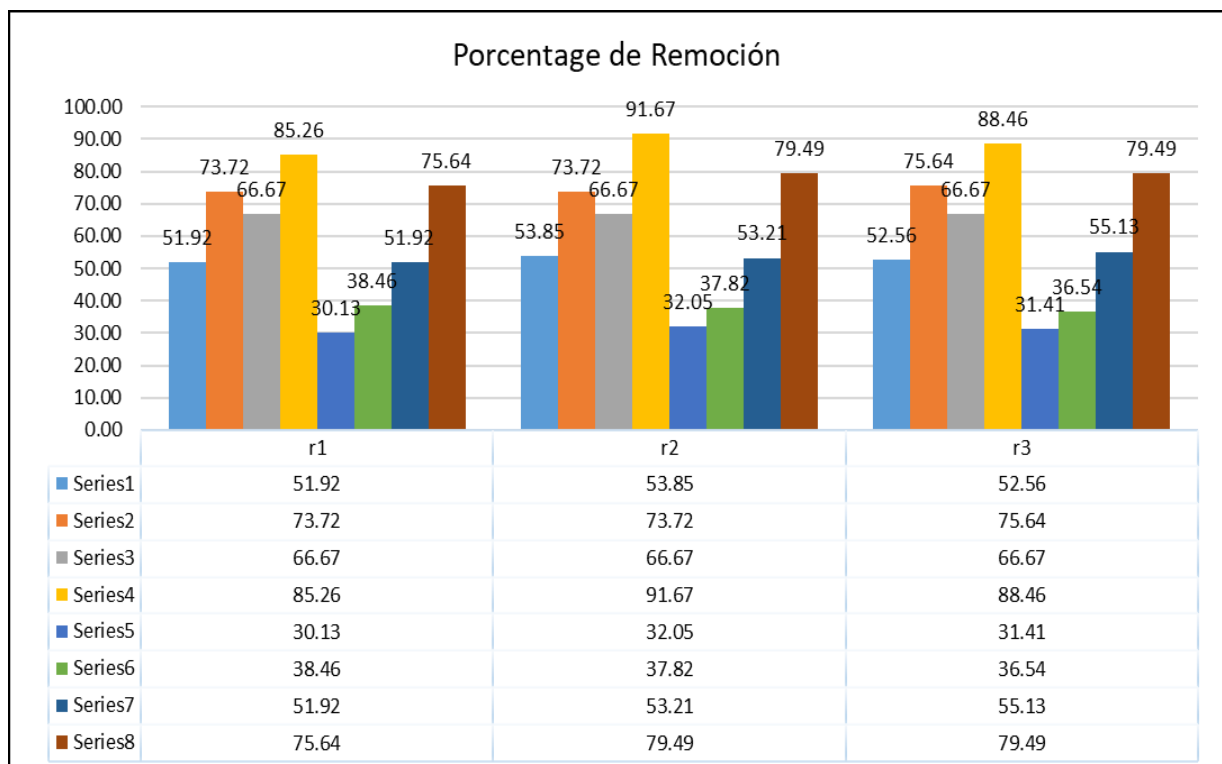
Series 4,5 y 6: Estas series también emplearon zeolita acondicionada con NaOH, pero con una cantidad mayor de absorbente, 80g la serie 4 utilizo un tiempo de contacto de 5m, mientras que la serie 5 y 6 extendieron el tiempo a 10m. Se observó que el aumento en la cantidad de zeolita y el tiempo de contacto incrementaron la eficiencia de remoción, alcanzando valores significativamente altos en las series 5 y 6.

Series 7 y 8: Estas series representan las pruebas realizadas con zeolita acondicionada con FeCl<sub>3</sub>. La serie 7 utilizo 45g de zeolita con un tiempo de contacto de 5m, mientras que en la serie 8 la cantidad de zeolita modificada fue de 80g con el tiempo de contacto 10m. El FeCl<sub>3</sub> demostró ser más efectivo que el NaOH en la remoción de arsénico,

con la serie 8 alcanzando la mayor eficiencia entre todas las series, lo que sugiere que tanto el tipo de modificador como las condiciones de operación (cantidad de zeolita y tiempo de contacto) juegan un papel crucial en la optimización del proceso.

**Figura 5**

*Remoción de arsénico con NaOH y FeCl<sub>3</sub>.*



**Fuente:** Elaboración propia.

El gráfico muestra el porcentaje de remoción de diferentes parámetros entre rondas (r1, r2 y r3), con distintas series de datos numeradas del 1 al 8. Cada serie representa un parámetro específico cuya remoción se ha medido en porcentajes. En general, los porcentajes de remoción varían ampliamente entre los diferentes parámetros y rondas, con algunos parámetros alcanzados más del 90% de remoción, como se observa en la serie amarilla (Series 4) en la ronda 2 (r2), mientras que otros muestran valores mucho más bajos, como la serie azul (Series 5) en la ronda 1 (r1) con aproximadamente 30.13%.

Se creo un DataFrame con los datos, para luego cambiar el nombre de los químicos y así facilitar los análisis, se colocó 1 (NaOH) y 2 (FeCl<sub>3</sub>) donde se utilizó p igual a 0.05, se agregó una variable para el lenguaje de programación en donde 145 seria NaOH con 45g de absorbente y 180 seria NaOH con 80g, se verá que al comparar esos dos grupos el resultado es TRUE (verdadero) significado que existe diferencia entre 45g y 80g de absorbente de zeolita. Para comenzar a visualizar algunos datos ya se podrá apreciar el nivel de significancia por parte del FeCl<sub>3</sub> que tiene mejor desempeño que el NaOH.

**Tabla 3**

*Determinación de los niveles de significancia en el Anova se procesó los datos en Python.*

	sum_sq	df	F	PR (>F)
Factor_A	2511.6696	1.0	916.305451	1.489125E-15
Factor_C	2085.44327	1.0	760.809874	6.420277E-15
Factor_A: Factor_C	55.63215	1.0	20.295680	3.597473E-04
Factor_B	3093.10215	1.0	1128.42325	2.884569E-16
Factor_A: Factor_B	454.836267	1.0	165.933031	7.319068E-10
Factor_B: Factor_C	123.549067	1.0	47.261995	3.735751E-06
Factor_A: Factor_B: Factor_C	123.760417	1.0	45.150184	4.926512E-06
Residual	43.85733	16.0	NAN	NAN

**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. En las tablas 4, 5 y 6 se puede apreciar que, hay significancia en todos los factores, es decir, todos contribuyen de forma significativa a la remoción de arsénico, teniendo en premisa dicho nivel de significancia, queremos saber cuál combinación es diferente por eso hacemos test Tukey. Para lo cual se toma el valor verdadero (TRUE) como indicador de que el NaOH muestra diferencia significativa entre usar 45g o 80g de zeolita natural. Cuanto mayor cantidad de absorbente, mejor el rendimiento.

**Tabla 4***Combinación A + B.*

<b>Tukey HSD Test Results for Factor A + Factor B: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER = 0.05</b>						
group 1	group 2	meandiff	p - adj	lower	upper	reject
145	180	31.4117	0.0004	13.5692	49.2542	True
145	245	29.1667	0.001	11.3242	47.0092	True
145	280	43.165	0.0	25.3225	61.0075	True
180	245	-2.245	0.9846	-20.0875	15.5975	False
180	280	11.7533	0.2831	-6.0892	29.5958	False
245	280	13.9983	0.1585	-3.8442	31.8408	False

**Fuente:** Elaboración propia.**Tabla 5***Combinación A + C.*

<b>Tukey HSD Test Results for Factor A + Factor C: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER = 0.05</b>						
group 1	group 2	meandiff	p - adj	lower	upper	reject
110	15	-15.5983	0.2404	-38.0047	6.808	False
110	210	23.505	0.0377	1.0986	45.9114	True
110	25	1.8167	0.9957	-20.5897	24.223	False
15	210	39.1033	0.0005	16.697	61.5097	True
15	25	17.415	0.1643	-4.9914	39.8214	False
210	25	-21.6883	0.06	-44.0947	0.718	False

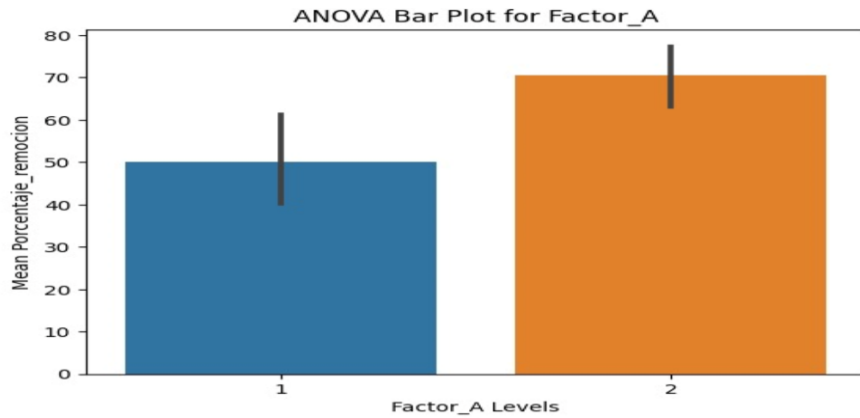
**Fuente:** Elaboración propia.**Tabla 6***Combinación B + C.*

<b>Tukey HSD Test Results for Factor B + Factor C: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER = 0.05</b>						
group 1	group 2	meandiff	p - adj	lower	upper	reject
4510	455	-13.9967	0.2517	-34.4045	6.4111	False
4510	8010	27.3517	0.0063	6.9439	47.7595	True
4510	805	4.0617	0.9435	-16.3461	24.4695	False
455	8010	41.3483	0.0001	20.9405	61.7561	True
455	805	18.0583	0.0946	-2.3495	38.4661	False
8010	805	-23.29	0.0218	-43.6978	-2.8822	True

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 6**

*Cuadro comparativo de 1 (NaOH) y 2 (FeCl<sub>3</sub>).*

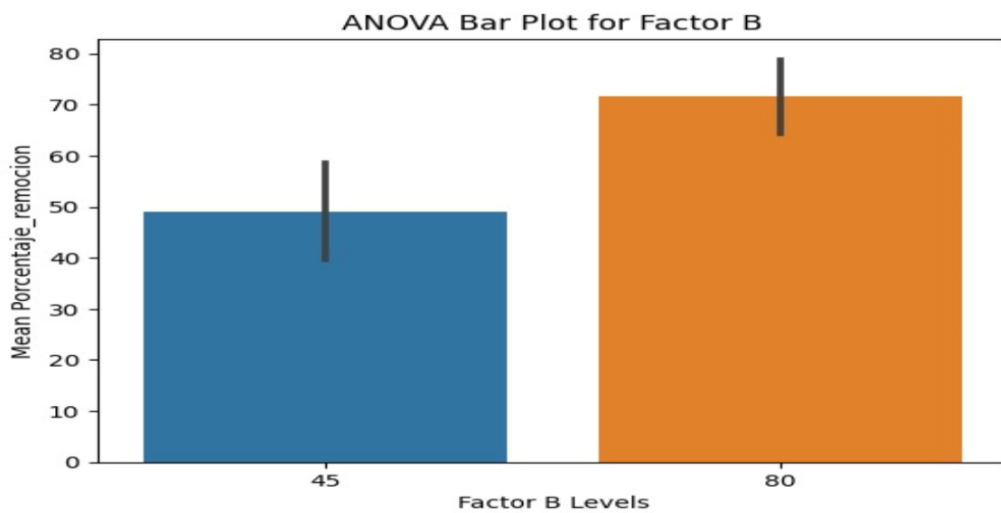


**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. En la figura 6 se presenta un cuadro comparativo detallado que muestra las eficiencias de NaOH y FeCl<sub>3</sub> cuando se acondicionan sobre una zeolita natural comercial. Los resultados indican que ambos reactivos exhibieron eficiencias notables en la remoción de arsénico. Sin embargo, FeCl<sub>3</sub> destacó particularmente, mostrando una eficiencia significativamente superior en comparación con NaOH.

**Figura 7**

*Cantidad de Zeolita Natural 45g y 80g.*

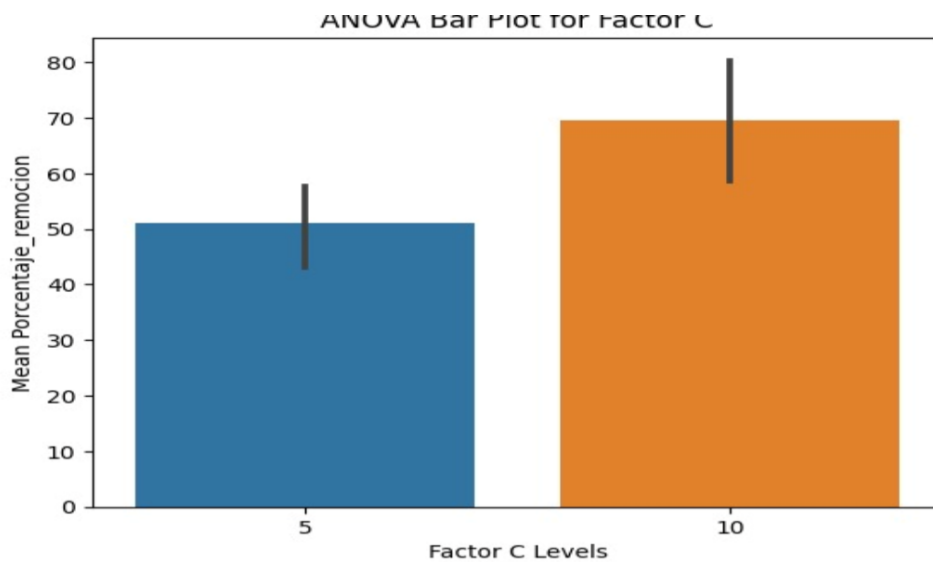


**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. En la figura 7 se presenta la representación gráfica de dos diferentes cantidades de zeolita acondicionada con NaOH y FeCl<sub>3</sub> utilizados en una solución acuosa con arsénico. La cantidad de 80g resultó en la remoción más significativa de arsénico, evidenciando su mayor eficiencia comparada con 45g.

### Figura 8

*Tiempo de contacto.*



**Fuente:** Elaboración propia.

Nota. En la figura 8 se observa la representación de dos tiempos de contacto distintos durante la interacción entre NaOH y FeCl<sub>3</sub> en una solución acuosa con arsénico. El tiempo de contacto de 10min demostró ser más eficiente, logrando una remoción significativa de arsénico.

## 5. Discusión de resultados

La caracterización del agua subterránea incluyó la medición de parámetros como el pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad, temperatura, dureza total, cloruros, sulfatos, nitratos, coliformes totales, coliformes termo tolerantes y arsénico. Los cuales indicaron que algunos de estos parámetros, especialmente el arsénico, superan los límites recomendados para su consumo humano. Según Ministerio de salud (2010), dentro de los Límites Máximos Permisibles para el consumo de agua conteniente con arsénico, estos son de 0.010 mg/l. Además, se observó una concentración de arsénico de 4mg/l en los recursos subterráneos de la amazonia peruana, donde se ha construido un número creciente de pozos. Estas concentraciones superan el límite máximo permisible para el consumo humano (Meyer, 2017).

El acondicionamiento de la zeolita con NaOH y FeCl<sub>3</sub>, implica una modificación en la composición de la estructura del material. En ese sentido, Condori (2020a) mencionan que la presencia del Na y Fe en la zeolita mejora significativamente su estructura. Por otro lado, Bin (2021) señala que el Na es un elemento inestable en la zeolita, por lo que puede ser estabilizado con un tipo de zeolita cementicio que contenga K. Además Yang (2020), menciona que se utilizó el FeCl<sub>3</sub> para acondicionar una zeolita con el fin de remover As (V), considerando factores como el pH y tiempo de contacto de reacción. En los ensayos realizados en rangos de pH de 2 a 7, el de 6 fue el más óptimo, con un tiempo de reacción de 240min para cada prueba. Como resultado, se obtuvo una remoción de 5.11 mg/g. Sin embargo Abbas (2024), utilizó el Na para modificar la zeolita en el proceso de la absorción de isotopos de radio (226Ra y 228Ra) de aguas residuales radiactivas a un pH de 6.3 obteniendo un porcentaje de remoción del 78.70%. Por otro lado Qilong (2020), utilizó una zeolita sintética con Na para disminuir los niveles de Pb<sup>2+</sup> donde se obtuvo una absorción eficiente tomando en cuenta el tiempo de contacto, pH y temperatura a la que esta zeolita sintética fue expuesta.

La concentración inicial del arsénico es de 0.156 mg/l, excede el Límites Máximo Permisible establecido en el D.S. 031-2010 SA., que son de 0.010 mg/l. Además, Truque

(2015) señala que desde el año 1958 la Organización Mundial de la Salud ha publicado periódicamente “Estándares de calidad de Agua”, en los que se establece un límite permisible del arsénico de 0.01 mg/l.

Este estudio demostró que la zeolita acondicionada con  $\text{FeCl}_3$  (Serie4) alcanzó una remoción de arsénico del 91.67% (0.01 mg/l) en la muestra r2, siendo este el valor más alto registrado en el análisis. Por otra parte, la zeolita tratada con NaOH (Serie 8) logró una remoción del 79.49% (0.03 mg/l) en las muestras r2 y r3. Estos resultados demostraron la alta eficiencia del material zeolítico acondicionado, especialmente con  $\text{FeCl}_3$  (Serie 4), en la remoción de arsénico de aguas subterráneas, destacándose como la serie más efectiva en comparación con otras alternativas. Además, la Serie 5 presentó el mejor porcentaje de remoción en todas las muestras, con un valor de 30.13% en r1, lo que sugiere una menor eficiencia en la remoción de arsénico. Esta eficacia observada en la Serie 4 combinada con la sostenibilidad y el bajo costo operativo del proceso, lo convierte en una alternativa viable para el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico. Así, Velarde (2023) y Baker (2020), menciona que la zeolita son excelentes absorbentes para metales pesados entre ellos As (3), As (V) y la modificación de esta incrementa la capacidad de adsorción. Además, Condori (2020a) alcanzo eficiencias de remoción del 86% y 99.12% utilizando una zeolita Clinoptilolita en lechos de 40cm y 60cm de altura, respectivamente, con un tiempo de contacto de 10 min. Por otro lado, Wang (2022) destaca el potencial del hierro para la remediación de metaloides en aguas subterráneas, sintetizando partículas de hierro en zeolita para la eliminación de cationes como Pb (2) y Cd (2), y aniones como Cr (6) y As (3). Los principales mecanismos de eliminación de Cr (6) y As (3) fueron la adsorción, precipitación y coprecipitación, logrando la reducción de Cr (6) a Cr (3) y As (3) a As (5). en una investigación adicional Pambudi, (2020) evaluó la eliminación de Pb (2) utilizando  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mediante dos técnicas: coprecipitación e impregnación en zeolita. Los resultados mostraron que el método de coprecipitación con  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  fue más eficiente, alcanzando una remoción del 95.15% en condiciones de pH3, una masa de soluto de 1.25g, y un tiempo de contacto de 90min en una solución de Pb (2) a 150mg/l en 1litro. Por otra parte, Klunk (2020) señala que

la zeolita modernita se caracteriza por su alta concentración en Si y Al, lo que le confiere una notable estabilidad térmica en su estructura. Desde otra perspectiva, Penadillos (2013), utilizó NaOH y FeCl<sub>3</sub>, para la extracción de propóleos, obteniendo resultados significativos. Esto evidencia la efectividad de ambos compuestos en aplicaciones similares en otros estudios.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

El acondicionamiento del material zeolítico con NaOH y FeCl<sub>3</sub> permitió el incremento de la capacidad de adsorción del arsénico. Los resultados mostraron que ambos métodos fueron efectivos en mejorar la capacidad de adsorción, pero con diferencias significativas. La zeolita acondicionada con FeCl<sub>3</sub> demostró ser más eficaz debido a la creación de sitios activos adicionales y a la mejora de las propiedades fisicoquímicas de la superficie de la zeolita.

El estudio encontró que la zeolita acondicionada con FeCl<sub>3</sub> alcanzó una remoción de arsénico del 91.67%, por otra parte, la zeolita tratada con NaOH logró una remoción del 79.49% estos resultados demostraron la alta eficiencia del material zeolítico acondicionado, específicamente con FeCl<sub>3</sub> para la remoción de arsénico de aguas subterráneas.

Además, se observó que la cantidad de zeolita y tiempo de contacto son dos factores importantes para el proceso de remoción del arsénico. Sin embargo, se recomienda continuar con estudios de evaluación de estabilidad y capacidad de regeneración del material zeolítico, así como su eficiencia en diversas condiciones de contaminantes.

## Referencia bibliográfica

- Abbas. (2024). A modified zeolite (na<sub>2</sub>so<sub>4</sub> zeolite naa) as a novel adsorbent for radium-226,228 from acidic radioactive wastewater: synthesis, characterization and testing. journal of environmental chemical engineering, 12(2).  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112197>
- Baker. (2020). Removal of lead ions from waste water using modified jordanian zeolite. chemical science international journal, 19–30.  
<https://doi.org/10.9734/csji/2020/v29i830197>
- Bin. (2021). Synthesis, characterization, and thermodynamic study of selected k-based zeolites. cement and concrete research, 148.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106537>
- Byrappa. (2013). 6 Hydrothermal synthesis and growth of zeolites 6.1 introduction.
- Chauhan. (2024). Biotechnological strategies for remediation of arsenic-contaminated soils to improve soil health and sustainable agriculture. in soil and environmental health (vol. 2, issue 1). elsevier b.v. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2024.100061>
- Clean air technology center. (1999). zeolita un adsorbente versátil de contaminantes del aire.  
<http://www.epa.gov/ttn/catc>
- Colet. (2017). Universidad de chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería química y biotecnología proceso de remoción y de estabilización/solidificación de residuos arsenicales líquidos provenientes del proceso de foto-oxidación de solarsenic memoria para optar al título de ingeniero civil químico fernando enrique araya cuello profesor guía: francisco gracia caroca miembros de la comisión: andreina garcía gonzalez.
- Condori. (2020a). Evaluación de la remoción de arsénico del agua subterránea del distrito de sabandía, provincia de arequipa, utilizando como adsorbente zeolita natural

(clinoptilolita) acondicionada con óxido de hierro [universidad nacional de san agustín de arequipa facultad de ingeniería de procesos escuela profesional de ingeniería química]. in repositorio unsa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12084/iqcoflss%26cohuv.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Condori. (2020b). Universidad nacional de san agustín de arequipa facultad de ingeniería de procesos escuela profesional de ingeniería química "evaluación de la remoción de arsénico del agua subterránea del distrito de sabandía, provincia de arequipa, utilizando como adsorbente zeolita natural (clinoptilolita) acondicionada con.

Edelweiss. (2015). Impact of arsenic on the environment and its microbial transformation.

Fernández. (2012). El agua: un recurso esencial. 2012. [www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

Fernández. (2015). Facultad de farmacia universidad complutense trabajo fin de grado título: ecotoxicología del arsénico: movilización.

García. (2020). Bentonitas y zeolitas sintéticas con propiedades adsorbentes de iones mejoradas. aplicaciones en tratamientos de aguas contaminadas.

Guillermo. (2021). "Estudio de la formación de la zeolita, empleada en la purificación de biogás, mediante técnicas electroquímicas" tesis presentada por.

Jha. (2016). Basics of zeolites. in advanced structured materials (vol. 78, pp. 5–31). springer verlag. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1404-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1404-8_2)

Kaya. (2024). Microbial consortia-mediated arsenic bioremediation in agricultural soils: current status, challenges, and solutions. in science of the total environment (vol. 917). Elsevier b.v. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170297>

Klunk. (2020). Synthesis and characterization of mordenite zeolite from metakaolin and rice husk ash as a source of aluminium and silicon. chemical papers, 74(8), 2481–2489. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01095-4>

- Meng. (2024). The interaction between ferrihydrite and arsenic: a review of environmental behavior, mechanism and applied in remediation. *journal of hazardous materials advances*, 13, 100398. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100398>
- Meyer. (2017). Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of western amazonia (peru). *science of the total environment*, 607–608, 1437–1450. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.059>
- Ministerio de salud. (2010). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. 28–29.
- Ministerio del ambiente. (2016). Sitios contaminados. [www.giz.de](http://www.giz.de)
- Montoya. (2015a). Bioprospección de bacterias oxidantes de arsenito de suelo de la comarca lagunera. *revista chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente*, 21(1), 41–56. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.05.024>
- Montoya. (2015b). Impact of arsenic on the environment and its microbial transformation.
- Pambudi. (2020). Recoverable adsorbent of natural zeolite/fe<sub>3</sub>o<sub>4</sub> for removal of pb(ii) in water. *j. mater. environ. sci*, 2020(1), 69. <http://www.jmaterenvironsci.com>
- Penadillos. (2013). Cuantificación de flavonoides en el extracto etanólico de propóleos.
- Qilong. (2020). Highly effective removal of pb<sup>2+</sup> in aqueous solution by na-x zeolite derived from coal gangue. *environmental science and pollution research*, 27(7), 7398–7408. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07412-z>
- Ramírez. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico.
- Santiago. (2016). informe final de trabajo de grado zeolitas: generalidades, potenciales y sus aplicaciones en energía.
- Song. (2024). A mini-review regarding the control techniques available for arsenic contamination from flue gas and water. in *journal of environmental chemical engineering* (vol. 12, issue 2). elsevier ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112249>

- Truque. (2015). Armonizacion de los estandares de agua potable en las americas. enero.
- Velarde. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: a review. in chemosphere (vol. 328). elsevier ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508>
- Vizcaino. (1998). Identificacion y caracterizacion de la zeolita natural tipo clinoptilolita.
- Wang. (2022). Metal(loid)s removal by zeolite-supported iron particles from mine contaminated groundwater: performance and mechanistic insights. environmental pollution, 313. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120155>
- Yang. (2020). Gamma-FeOOH based hierarchically porous zeolite monoliths for As(V) removal: characterisation, adsorption and response surface methodology. microporous and mesoporous materials, 308. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110518>
- Yingjun. (2023). Assessment of internal exposure risk from metals pollution of occupational and non-occupational populations around a non-ferrous metal smelting plant. journal of environmental sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.10.003>

## 7. Anexos

### Anexo 1. Evidencia de sumisión a un artículo

The image shows two screenshots related to a journal submission process.

**Top Screenshot: Gmail Email**

The email is from Helena Rivas López (tca) to Zendher Italo Cora Monroy. The subject is "[tca] Acuse de recibo de envío". The content includes:

- Greeting: "Gracias por enviar el manuscrito 'Remoción de arsénico con zeolita comercial natural modificada térmicamente con NaOH y FeCl3' a Tecnología y ciencias del agua para posible publicación."
- Information: "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:"
- Links: "URL del manuscrito: <https://www.revistatca.org.mx/ojs/index.php/tca/authorDashboard/submit/2899>" and "Nombre de usuario/a: 48822889"
- Closing: "Quedo a sus órdenes. Helena Rivas López"

**Bottom Screenshot: Submission Management Interface**

The interface has tabs for "Envío", "Revisión", "Editorial", and "Producción".

**Archivos de envío**

ID	Nombre del archivo	Fecha	Descripción
18529	48822889, Carta de Originalidad _ZN.doc	junio 10, 2024	Otro
18531	48822889, Remocion de Arsénico con Zeolita Comercial Natural_Zendher Cora.docx	junio 10, 2024	Texto del artículo

**Discusiones previas a la revisión**

Nombre	De	Última respuesta	Respuestas	Cerrado
<a href="#">Comentarios para el editor/a</a>	48822889	-	0	<input type="checkbox"/>
	2024-06-10 05:20 PM			

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

**“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”**

**RESOLUCIÓN N° 1081-2022/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Ñaña 08 de noviembre de 2022

**VISTO:**

El expediente de **Zendher Italo Cora Monrroy**, identificado(a) con Código Universitario N° 200920539 y **Nelly Maive Catacora Choqueapaza**, identificado(a) con Código Universitario N° 201521962, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Zendher Italo Cora Monrroy** y **Nelly Maive Catacora Choqueapaza**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Remoción de arsénico con zeolita comercial, modificada térmicamente con NaOH y zeolita activada con FeCl3" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;


Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 08 de noviembre de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Remoción de arsénico con zeolita comercial, modificada térmicamente con NaOH y zeolita activada con FeCl3**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **MSc. Rose Adeline Callata Chura** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** y **Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



  
Dr. Santiago Ramírez López  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

cc:

### Anexo 3. Análisis de Laboratorio



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

#### ANALISIS DE AGUA

Solicitante: Zendher Italo Cora Monrroy  
 Análisis de: Agua Subterránea  
 Fecha de extracción: 30/10/2023 Fecha de recepción: 30/10/2023  
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante  
 Lugar de muestreo: Juliaca – Puno.  
 Muestra conservada: Sí

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRA
			Muestra Inicial
Arsénico	ml/L	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.156

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			NaOH - 5 min - 45 g.			NaOH - 5 min - 80 g.			NaOH - 10 min - 45 g.			NaOH - 10 min - 80 g.		
Arsénico	ml/l	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.075	0.072	0.074	0.052	0.052	0.052	0.041	0.041	0.038	0.023	0.013	0.018

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS DE AGUA CON TRATAMIENTO											
			FeCl - 5 min - 45 g.			FeCl - 5 min - 80 g.			FeCl - 10 min - 45 g.			FeCl - 10 min - 80 g.		
Arsénico	ml/l	Método Dietilditiocarbamato de plata	0.109	0.106	0.107	0.075	0.073	0.070	0.096	0.097	0.099	0.038	0.032	0.032

**ADVERTENCIA:**

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

**FECHA:** 20/11/2023

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

Ing. Glen Madrigal Perez