



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**“EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS
OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN
SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

Bach. Kenyn Joel Paricoto Leon

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

ASESOR: M. Sc. Hugo Apaza Aquino



Juliaca - 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**“EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS
OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN
SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

Bach. Kenyn Joel Paricoto Leon

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

ASESOR: M. Sc. Hugo Apaza Aquino



Juliaca - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS
OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN
SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

Bach. Kenyn Joel Paricoto Leon

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

ASESOR: M. Sc. Hugo Apaza Aquino

Juliaca, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Paricoto, K. (2024). *Efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

AUTOR	: Paricoto Leon, Kenyn Joel.
TÍTULO	: Efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.
PUBLICACIÓN	: Juliaca, 2024
DESCRIPCIÓN	: Cantidad de páginas (127 pp.)
NOTA	: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca.
CÓDIGO:	: 01-000052-01/P26
NOTA	: Incluye bibliografía.
ASESOR	: M.Sc. Hugo Apaza Quino
PALABRAS CLAVE	: Adsorción, agua subterránea, arsénico, hueso carbonizado, pirólisis.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL**

**“EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS
OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN
SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL**

Presentado por:

Bach. Kenyn Joel Paricoto Leon

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro :

PRESIDENTE JURADO



M. Sc. Eliana Mullisaca Contreras :

JURADO (SECRETARIO)



2° MIEMBRO

M. Sc. Godofredo Huanca Chambi :

JURADO (VOCAL)

3° MIEMBRO




M. Sc. Hugo Apaza Aquino

ASESOR DE TESIS

Kenyn Joel Paricoto Leon

EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIO...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:458691717

Fecha de entrega

13 may 2025, 11:50 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 may 2025, 11:59 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉN....pdf

Tamaño de archivo

13.9 MB

127 Páginas

20.152 Palabras

114.784 Caracteres


HUGO PAZA AGUIÑO




9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 10 words)



Top Sources

- 8%  Internet sources
- 2%  Publications
- 6%  Submitted works (Student Papers)

HUGO ARAZA & QUINO

Integrity Flags

2 Integrity Flags for Review

-  **Replaced Characters**
37 suspect characters on 10 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.
-  **Hidden Text**
123 suspect characters on 5 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

DEDICATORIA

*Dedico esta investigación a Dios
por haber sido mi guía en cada
paso de mi vida, y por darme la
oportunidad de cumplir con mis
metas*

*Con cariño a mis apreciados padres, Pedro Isidro
Paricoto Surco y Paula Francisca Leon Quispe (†),
por brindarme, confianza, oportunidad y los
recursos para lograr la meta de terminar mi
carrera profesional.*

*A mis hermanos, por su apoyo continuo y por alentarme
en todo momento en mi formación tanto personal como
profesional.*

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca por brindarme una sólida formación universitaria. Igualmente, agradezco a los docentes por compartir sus conocimientos y por su apoyo durante mi desarrollo académico.

Al M. Sc Hugo Apaza Aquino, por contribuir a la ejecución de la presente tesis como asesor.

A los miembros del jurado, Dr. Wile Mamani Navarro, M. Sc. Eliana Mullisaca Contreras y M. Sc. Godofredo Huanca Chambi por las críticas y recomendaciones acertadas para el desarrollo de la presente investigación.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de esta investigación, les expreso mi sincero agradecimiento por sus consejos y apoyo constante

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
ÍNDICE DE ANEXOS	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1. Descripción del problema de investigación	8
1.2. Formulación del problema de investigación	10
1.2.1. Problema general	10
1.2.1. Problemas específicos	10
1.3. Objetivos de la investigación	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4. Justificación de la investigación	10
1.4.1. Justificación ambiental	10
1.4.2. Justificación económica.....	11
1.4.3. Justificación social.....	11
1.4.4. Justificación tecnológica	11
CAPÍTULO II.....	12
REVISIÓN DE LITERATURA	12
2.1. Antecedentes de la investigación	12
2.1.1. Antecedentes internacionales	12
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	14
2.1.3. Antecedentes locales	15
2.2. Marco teórico	15
2.2.1. Hueso carbonizado	15
2.2.2. Composición química del hueso carbonizado	16
A. Hidroxiapatita	16
2.2.3. Tecnología de conversión de bioenergía	17
2.2.4. Pirólisis	17
2.2.5. Recursos hídricos.....	18

2.2.6.	Agua subterránea	18
2.2.7.	Contaminación de las aguas subterráneas	19
2.2.8.	Arsénico en los recursos hídricos	19
2.2.9.	Efectos del arsénico en la salud	20
2.2.10.	Tecnología de tratamiento de agua potable para la remoción de arsénico	20
2.2.11.	Adsorción.....	21
2.2.12.	Adsorción discontinua	22
2.2.13.	Parámetros operativos que afectan en la adsorción de arsénico	23
2.2.14.	pH de la solución	23
2.2.15.	Concentración inicial y dosis de biocarbón.....	23
2.2.16.	Tiempo de contacto	23
2.2.17.	Normativa estándar nacional	23
CAPÍTULO III		24
MATERIALES Y MÉTODOS.....		24
3.1.	Ámbito de estudio	24
3.2.	Enfoque de investigación.....	25
3.3.	Tipo, nivel y diseño de investigación	25
3.4.	Población.....	25
3.5.	Muestra	25
3.6.	Técnica.....	25
3.7.	Materiales, equipos y reactivos.....	25
3.7.1.	Materiales	25
3.7.2.	Material orgánico.....	25
3.7.3.	Equipos	26
3.7.4.	Reactivos	26
3.8.	Procedimiento metodológico.	26
3.8.1.	Determinación del rendimiento del hueso vacuno carbonizado a diferentes temperaturas de pirólisis.....	26
	A. Recolección del material precursor.....	26
	B. Pretratamiento de los huesos de ganado vacuno	26
	C. Producción de hueso carbonizado.....	27
3.8.2.	Determinación del efecto del hueso vacuno carbonizado con los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V) en soluciones acuosas	29
	A. Efecto de los huesos carbonizados sobre la adsorción de arsénico (V).....	29

B. Efectos de los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V).....	30
3.8.3. Aplicación de las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.....	33
A. Muestreo de agua subterránea.....	33
B. Análisis de los metales pesados en agua subterránea	34
C. Aplicación en agua subterránea	34
3.10. Análisis estadístico.	36
3.10.1. Modelo de efecto fijo.....	36
3.11. Validación de los resultados	36
CAPÍTULO IV	37
RESULTADO Y DISCUSIÓN	37
4.1. Determinación del rendimiento del hueso carbonizado obtenido a diferentes temperaturas de pirólisis.....	37
4.2. Determinación del efecto del hueso carbonizado con los parámetros operativos en la adsorción de arsénico de soluciones acuosas.....	38
4.2.1. Efecto del hueso carbonizado	38
4.2.2. Efectos de los parámetros operativos en la adsorción de As (V)	40
A. Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción de As (V)	41
B. Efecto del pH en la adsorción de As (V)	42
C. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V).....	43
D. Caracterización del hueso carbonizado mediante la espectrofotometría infrarroja FTIR-ATR	44
4.3. Aplicación de las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.....	48
4.3.1. Caracterización de los parámetros físico-químicos de las muestras de aguas subterráneas	48
4.3.2. Aplicación del hueso carbonizado y parámetros operativos en la adsorción de arsénico en agua subterránea de la ciudad de Juliaca	50
4.1.1. Reajuste de las condiciones operativas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.....	52
CAPÍTULO V.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54

5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de biocarbones mediante diferentes técnicas	18
Tabla 2 Efecto del hueso carbonizado en la adsorción de arsénico (V)	29
Tabla 3 Efecto de los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V)	31
Tabla 4 Puntos de muestreo de las aguas subterráneas en los pozos de la ciudad de Juliaca	33
Tabla 5 Análisis de varianza (ANOVA) unidireccional.....	36
Tabla 6 Rendimiento del hueso carbonizado a diferentes temperaturas de pirólisis.....	37
Tabla 7 Resultados del efecto del hueso carbonizado en la adsorción de As (V)	38
Tabla 8 Resultado del efecto de los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V)	40
Tabla 9 Frecuencias de absorción infrarrojas y grupo funcional del hueso carbonizado a 900 °C.....	46
Tabla 10 Resultado del análisis de los parámetros físico-químicos	48
Tabla 11 Resultado del análisis de los metales totales en las muestras de agua subterránea	49
Tabla 12 Las condiciones de operación más favorables para la adsorción de As (V) en soluciones acuosas.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicación ambiental del hueso carbonizado.....	16
Figura 2. Estructura cristalina de la hidroxiapatita.....	17
Figura 3. Potencial redox para especies acuosas de arsénico	20
Figura 4. Proceso de adsorción de los metales pesados	21
Figura 5. Mapa de ubicación del área de estudio	24
Figura 6. Hueso vacuno carbonizado a diferentes temperaturas	27
Figura 7. Diagrama de bloque para la obtención del hueso carbonizado	28
Figura 8. Diagrama de bloque del procedimiento experimental en soluciones acuosas	32
Figura 9. Diagrama de bloque para el procedimiento experimental en agua subterránea... ..	35
Figura 10. Efecto del hueso vacuno carbonizado en la adsorción de arsénico (V)	39
Figura 11. Efecto de la dosis de adsorbente sobre el porcentaje de adsorción de As (V) ...	41
Figura 12. Efecto del pH sobre el porcentaje adsorción de As (V)	42
Figura 13. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V)	44
Figura 14. Espectro infrarrojo del hueso carbonizado a 900 °C antes de la adsorción	45
Figura 15. Espectro infrarrojo del hueso carbonizado a 900 °C después de la adsorción de arsénico (V)	47
Figura 16. Aplicación del hueso carbonizado y parámetro operativo en la adsorción de arsénico en aguas subterránea.....	50
Figura 17. Concentración inicial y final de las muestras de agua subterránea tratada	51
Figura 18. Adsorción de arsénico en muestras de agua subterránea y solución acuosa.....	52
Figura 19. Adsorción de arsénico en agua subterránea empleando el reajuste de la dosis de adsorbente BC900.....	53
Figura 20. Concentración inicial y final de las muestras de agua subterránea tratadas con la dosis de adsorbente reajustada.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico.....	67
Anexo 2. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes huesos carbonizados.	71
Anexo 3. Análisis de varianza de un solo factor efecto de hueso vacuno carbonizado en la adopción de As (V).....	72
Anexo 4. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes dosis de adsorbente.	75
Anexo 5. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción de As (V).....	76
Anexo 6. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes pH.....	79
Anexo 7. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto del pH en la adsorción de As (V).....	80
Anexo 8. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes tiempos de contactos.	83
Anexo 9. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V).....	84
Anexo 10. Informe de la producción del hueso vacuno carbonizado.....	86
Anexo 11. Informe de la preparación de la solución acuosa de arsénico realizado por Laboratorios Analíticos de Sur E.I.R. Ltda	88
Anexo 12. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto del hueso carbonizado	92
Anexo 13. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto de la dosis de adsorbente.....	95
Anexo 14. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto de pH de la solución.....	98
Anexo 15. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto del tiempo de contacto.....	101
Anexo 16. Informe de ensayo del análisis de espectrofotometría infrarroja antes y después del proceso de adsorción.....	104
Anexo 17. Informe de ensayo de la concentración de arsénico y otros metales en muestras de agua subterránea de la ciudad de Juliaca	108
Anexo 18. Informe de ensayo de la aplicación de hueso vacuno carbonizado a 900 °C y parámetros operativos en agua subterránea de la ciudad de Juliaca.....	111

Anexo 19. Cálculo del reajuste de las condiciones operativas	114
Anexo 20. Informe de ensayo del reajuste de las condiciones operativas para la adopción de arsénico en agua subterránea	116
Anexo 21. Operacionalización de variables	119

RESUMEN

La presencia de arsénico en agua subterránea, y su efecto nocivo al ecosistema y la salud de las personas representa un problema ambiental, que requiere el desarrollo de tecnologías eficientes. En ese contexto se tiene por objetivo evaluar el efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca. Para lo cual, el hueso carbonizado se obtuvo mediante el método de pirólisis a 500, 700, 800 y 900 °C en condiciones limitadas del oxígeno. El proceso de adsorción en muestras acuosas se llevó a cabo siguiendo el diseño factorial con un solo factor, para evaluar los efectos del hueso carbonizado a diferentes temperaturas, dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto, utilizando una concentración inicial de 1 mg/L de As (V), el cual se realizó en un sistema tipo batch, a 25 °C y 250 rpm. Los resultados mostraron una remoción óptima del 94.07 %, y de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) unidireccional con la aplicación de una dosis 7 g/L de BC900, a pH de 3 y un tiempo de 120 minutos afectaron de manera significativa (valor $p < 0.01$) en la eficiencia de adsorción de As (V). De manera que el mecanismo de adsorción correspondía a la quimiosorción, debido a la formación de enlaces químicos. Este tipo de proceso de adsorción de As (V) se evidenció por vibraciones de deformación según análisis FTIR. Por consiguiente se realizó un proceso de adsorción de As en aguas subterráneas de Juliaca utilizando el BC900 en tres muestras con concentraciones iniciales de 0.049, 0.097 y 0.035 mg/L de As, la adsorción alcanzó a 37.04, 46.07 y 64.64 % respectivamente, debido a la presencia de otros metales y sustancias inorgánicas. Tras ajustar la dosis de BC900 a 14.2 g/L, los porcentajes de adsorción aumentaron a 97.77, 88.10 y 96.88 %, demostrando que el BC900 es un adsorbente altamente eficiente para la eliminación de arsénico y en presencia de otros metales en aguas subterráneas.

Palabras clave: Adsorción, agua subterránea, arsénico, hueso carbonizado, pirólisis.

ABSTRACT

The presence of arsenic in groundwater, and its harmful effect on the ecosystem and people's health represents an environmental problem that requires the development of efficient technologies. In this context, the objective is to evaluate the effect of carbonized bone with operational parameters in the adsorption of arsenic in aqueous solutions and its application in groundwater in the city of Juliaca. For which, the carbonized bone was obtained by pyrolysis method at 500, 700, 800 and 900 °C under oxygen limited conditions. The adsorption process in aqueous samples was carried out following the factorial design with a single factor, to evaluate the effects of carbonized bone at different temperatures, adsorbent doses, pH and contact time, using an initial concentration of 1 mg/L of As (V), which was carried out in a batch type system, at 25 °C and 250 rpm. The results showed an optimum removal of 94.07 %, and according to the one-way analysis of variance (ANOVA) with the application of a 7 g/L dose of BC900, at pH 3 and a time of 120 minutes significantly affected (p-value <0.01) the adsorption efficiency of As (V). So that the adsorption mechanism corresponded to chemisorption, due to the formation of chemical bonds. This type of As (V) adsorption process was evidenced by deformation vibrations according to FTIR analysis. Therefore, an As adsorption process was carried out in groundwater from Juliaca using BC900 in three samples with initial concentrations of 0.049, 0.097 and 0.035 mg/L of As, the adsorption reached 37.04, 46.07 and 64.64 % respectively, due to the presence of other metals and inorganic substances. After adjusting the dose of BC900 to 14.2 g/L, the adsorption percentages increased to 97.77, 88.10 and 96.88 %, demonstrating that BC900 is a highly efficient adsorbent for arsenic removal and in the presence of other metals in groundwater.

Keywords: Adsorption, groundwater, arsenic, bone char, pyrolysis.

INTRODUCCIÓN

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas se ha convertido en un desafío ambiental significativo a nivel mundial, debido a sus efectos tóxicos, los cuales resultan de la disolución de minerales naturalmente presentes en la corteza terrestre (Bravo & Quispe, 2019). Las actividades antropogénicas también contribuyen al aumento de las concentraciones de iones metálicos, como el arsénico (As), que se encuentra en formas inorgánicas en los pozos de agua subterránea (Ratnayake et al., 2020). El consumo prolongado de esta agua puede causar intoxicación crónica, ya que el arsénico se acumula en el cuerpo humano generando problemas de salud que van desde enfermedades en la piel hasta cáncer (ATSDR, 2007). Ante ello, se han investigado diversas tecnologías para reducir la concentración de arsénico en las aguas subterráneas.

Entre las diversas tecnologías disponibles para la eliminación de arsénico, la adsorción se presenta como uno de los métodos más prometedores debido a su bajo costo y simplicidad (Francisca & Carro, 2014; Torregroza et al., 2018). Se han utilizado diferentes materiales adsorbentes, como carbón activado, alúmina activada y minerales de óxido de hierro, entre otros (Francisca & Carro, 2014). Sin embargo, los adsorbentes derivados de biorresiduos de origen animal han demostrado tener un gran potencial para el tratamiento de agua contaminada con arsénico, debido a su alta eficiencia, asequibilidad y excelente ecocompatibilidad (Wei et al., 2023).

De esta manera, la adsorción de arsénico mediante hueso vacuno carbonizado puede atribuirse a su estructura altamente porosa, su composición inorgánica y la presencia de grupos funcionales que contienen oxígeno, así como a grupos funcionales carboxilos, fenólicos, lactónicos y básicos (Cruzado et al., 2021). Estos factores facilitan la remoción del arsénico a través de mecanismos como las interacciones electrostáticas, el intercambio iónico y la formación de complejos (Asqui, 2023). En este sentido, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto del hueso carbonizado, en combinación con parámetros operativos, en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y su aplicación en las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema de investigación

A nivel mundial, la contaminación de las aguas subterráneas con arsénico (As) es uno de los problemas medioambientales más graves en la actualidad (Mukherjee et al., 2023), debido a su alta toxicidad, persistencia y propiedades cancerígenas, representa un riesgo para la salud de las personas y al medio ambiente (Bravo & Quispe, 2019; Shakoor et al., 2019). El arsénico (As) es un metaloide que se encuentra presente en las aguas subterráneas en formas inorgánicas de arseniato [As (V)] y arsenito [As (III)] (Valskys et al., 2022), por los procesos naturales, que se han desencadenado como resultado de la disolución de minerales naturales y su movilización suele verse acelerada por actividades antropogénicas, que han afectado a las aguas subterráneas con altas concentraciones de este contaminante (Wei et al., 2023). De esta manera, en más de 107 países está presente en las aguas subterráneas como en Bangladesh, India, China, Pakistán y América Latina (Sevak & Pushkar, 2024). donde la contaminación por arsénico en las aguas subterráneas ha alcanzado a niveles muy alarmantes como en México, Argentina, Chile y Perú (Litter et al., 2010; Rodrigues et al., 2024).

En Perú, más de 6 millones de personas se encuentran en riesgo de exposición al arsénico debido a que los suministros de las aguas para su consumo superaron el Límite Máximo Permisible (LMP) de 0.01 mg/L. Entre ellos, varias localidades de la región de Puno presentan este problema de salud pública (COSUDE, 2023). Sin embargo, se han realizado diferentes investigaciones que hacen uso de diversos materiales adsorbentes para reducir su concentración, tales como alúmina activado, minerales de óxido de hierro, zeolita, carbón activado a partir de bioresiduos agrícolas y entre otros (Asqui, 2023). Por otro lado, los adsorbentes derivados de biorresiduos de origen animal ha resultado tener un gran potencial para el tratamiento de aguas subterráneas contaminado con arsénico como el hueso vacuno carbonizado, debido a su composición inorgánica posee grupos funcionales de hidroxilos ($\equiv Ca - OH$ y $\equiv P - OH$), carboxílos (COOH), fenólicos, lactónicos y básicos que facilitan la remoción de arsénico (Alkurdi et al., 2020; Villela-Martínez et al., 2020).

En la ciudad de Juliaca de la provincia de San Román del altiplano puneño. La población enfrenta una variedad de dificultades para el abastecimiento de agua destinada a su consumo, si bien una parte de las viviendas cuenta con agua a través de redes domiciliarias este servicio solo se ofrece durante unas pocas horas al día (Tito et al., 2020), lo que no es suficiente para satisfacer las necesidades diarias, debido a ello muchas personas recurren a las fuentes de agua de pozo subterráneo las cuales están contaminadas con niveles elevados de arsénico (As) (Malaga, 2023). En 2015, la concentración de arsénico fue de 0.146 mg/L, mientras que, en el año 2018 este logra alcanzar a valores máximos de 0.165 mg/L (Mamani, 2019), estas concnetracion superan considerablemente el LMP de 0.01 mg/L (MINSA, 2011). Por lo tanto, la ingesta de agua contaminada y los altos niveles de arsénico en el organismo, pueden provocar daños irreversibles en la salud, como enfermedades en la piel y en casos más grave tienden a padecer trastornos neurológicos, pérdida espontánea de embarazos y cáncer en los órganos principales (Bravo & Quispe, 2019).

Ante la problemática mencionada, surge la necesidad de reducir la concentración de arsénico. Por consiguiente, los huesos vacunos carbonizados son una alternativa prometedora para su tratamiento (Villela-Martínez et al., 2020), debido su estructura porosa y composición inorgánica que se encuentra constituido principalmente por hidroxiapatita que contienen grupos funcionales (Alkurdi et al., 2021), el cual actúa como un inmovilizador sustancial del arsénico presentes en muestras de soluciones acuosas y agua subterránea. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema general

¿Cuáles serán el efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca?

1.2.1. Problemas específicos

- ¿Cuál será el rendimiento del hueso carbonizado obtenido a diferentes temperaturas de pirólisis?
- ¿Cuál es el efecto que tienen el hueso carbonizado y los parámetros operativos de dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas?
- ¿Cuál será la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, con las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento del hueso carbonizado obtenido a diferentes temperaturas de pirólisis
- Determinar el efecto que tienen el hueso carbonizado con los parámetros operativos de dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto en la adsorción de arsénico de soluciones acuosas.
- Aplicar las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación ambiental

La presente investigación se justifica desde una perspectiva ambiental, ya que las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca están contaminadas con arsénico (Malaga, 2023), un metaloide soluble que se encuentra en formas inorgánicas debido a

procesos naturales y actividades antropogénicas. Esto constituye un problema ambiental que compromete la salud de la población y afecta el bienestar del ecosistema (Mukherjee et al., 2023; Sevak & Pushkar, 2024). Por lo tanto, es fundamental adoptar tecnologías sostenibles para su tratamiento. En este contexto, la adsorción con hueso vacuno carbonizado se presenta como una solución prometedora para la eliminación del arsénico.

1.4.2. Justificación económica

Se justifica en el ámbito económico por el hecho de que, el tratamiento agua subterránea contaminada con arsénico mediante tecnología convencional generalmente son costosos (Kurniawan et al., 2023). Sin embargo, ello se puede reducir con la aplicación de huesos carbonizados de ganado vacuno como material adsorbente (Cruz-Briano et al., 2023). Proporcionando un material de alto valor agregado a los residuos óseos de ganado vacuno obtenido de las carnicerías locales para la producción de un adsorbente de bajo costo.

1.4.3. Justificación social

La alta concentración de arsénico en las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca representa un riesgo significativo en la salud de los pobladores (Malaga, 2023), debido a su naturaleza no biodegradable, su alta bioacumulación en el cuerpo humano y su toxicidad (González-Martínez et al., 2024). Por lo tanto la presente investigación se justifica en lo social, ya que los resultados obtenidos permitirán salvaguardar la salud de la población juliaqueña mediante la aplicación de la presente tecnología que podrá disminuir las altas concentraciones de arsénico en el agua de pozos subterráneos. Además, proporcionará información valiosa para futuras gestiones en el tratamiento de este recurso y el uso de residuos orgánicos de origen animal como material adsorbente.

1.4.4. Justificación tecnológica

La relevancia tecnológica de esta investigación radica en el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con arsénico mediante tecnologías convencionales, como la adsorción y la aplicación de materiales adsorbentes como el hueso vacuno carbonizado obtenido por pirólisis (Alkurdi et al., 2021). El cual consiste en un método termoquímico en ausencia de oxígeno, para convertir los residuos óseos de ganado vacuno en hueso carbonizado.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Chen et al. (2024) investigaron la adsorción de arsénico (As) en huesos vacunos carbonizados a 200, 300, 500 y 700 °C, obtenidos mediante tratamiento térmico por torrefacción y pirólisis. Los resultados demostraron que se alcanzó el mayor porcentaje de adsorción de 56.20 % al utilizar una dosis de 5 g/L de hueso carbonizado a 300 °C, durante un tiempo de contacto de 240 minutos, para una concentración inicial de 1 mg/L de arsénico.

Cruz-Briano et al. (2023) estudiaron la adsorción de As (V) en hueso carbonizado del pez Pleco a 580 °C. Los resultados mostraron una remoción del 49.63 %, tratados con una dosis de 2.22 g/L y a pH 9 para una solución acuosa que contenía una concentración de 1.2 mg/L de As (V), mientras que, a una concentración de 0.253 mg/L de As y la presencia de otros iones coexistentes en muestras de agua subterránea, la remoción se redujo a 25.7 %, sin embargo al incrementar la dosis de adsorbente de 0.5 a 20 g/L, lograron obtener una eficiencia de eliminación del 75.7 %.

Elvir-Padilla et al. (2022) en sus resultados encontraron que el rendimiento de los BC700 y BC800 fue del 73 a 75 %. Asimismo demostraron que el mayor porcentaje de adsorción en soluciones acuosas con altas concentraciones de As (V) se dio a pH de 6 y una dosis de 2 g/L de BC700, alcanzando una adsorción del 21 %. Concluyendo que los huesos carbonizados se pueden utilizar como adsorbentes eficaces para la adsorción de As (V).

Alkurdi et al. (2021) investigaron la eficiencia de adsorción del hueso carbonizado a 900 °C y el efecto de la dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto en la remoción de As (V) de una solución acuosa. Los resultados demostraron un mayor porcentaje de adsorción del 55.29 %, al emplear una dosis de 5 g/L a pH 7 y un tiempo de contacto de 240 min para una concentración inicial de 1.0 mg/L As (V).

Villela-Martínez et al. (2020) investigaron el uso de hueso carbonizado a 500 y 700 °C como material adsorbente y el efecto del pH y temperatura sobre la adsorción de arsénico en soluciones acuosas, logrando obtener una adsorción de 21 %, al emplear una dosis de 2 g/L, pH 7 y una temperatura de 25 °C. Sin embargo, la aplicación de

las condiciones más favorables para la adsorción de arsénico en muestras de aguas subterráneas de la ciudad de San Luis de Potosí de México fueron 15.9 y 55.2 % para concentración que inicialmente fue de 0.010 y 0.025 mg/L. De manera que el arsénico de las aguas subterráneas puede ser removido de una forma efectiva.

Alkurdi et al. (2020) estudiaron el efecto de hueso carbonizado preparado a 500, 650, 800 y 900 °C sobre la adsorción de As (V) en soluciones acuosas. Los resultados revelaron que el BC900 tuvo una adsorción de As (V) significativamente mayor que el BC500, el cual mostró un bajo porcentaje de adsorción del 32 %, debido al elevado contenido de carbono orgánico disuelto (DOC). Confirmando que los residuos óseos han demostrado ser aprovechables para la producción de biocarbones y el tratamiento de aguas contaminadas con As (V).

Begum et al. (2016) investigaron el efecto de la dosis (1 a 5 g/L de BC450) y pH (2 a 11) en la adsorción de As (V). A través del diseño factorial de un solo factor, lograron obtener una mayor adsorción del 62 % en condiciones óptimas de pH 4 y utilizando una dosis de 3 g/L para una concentración inicial de 0.5 mg/L de As (V). Asimismo, indicaron que la atracción electrostática fue el principal mecanismo de adsorción. Concluyendo que los BC450 son ideales para disminuir la concentración de As (V) de los recursos hídricos.

Liu et al. (2014) estudiaron la adsorción de As (V) en huesos de vacunos carbonizados a 500 °C. A través de experimentos de adsorción por lotes que se llevaron a cabo, con una concentración inicial de 10 mg/L de As (V), en que se empleó una dosis de 50 g/L y a pH de 4, lograron obtener un porcentaje de adsorción de aproximadamente 45 %, concluyendo que los BC500 mostraron resultados comprometedores en la adsorción de As (V).

Mlilo et al. (2010) evaluaron tres tipos de adsorbentes (huesos vacunos carbonizados a 500 °C, arena recubierta con minerales de hematita y goetita) para el tratamiento de agua con altos niveles de As (V) mediante pruebas experimentales discontinuas realizadas a 25 °C. Los resultados indicaron que el mayor porcentaje de adsorción se obtuvo con el BC500 °C, logrando un 96 % de adsorción de As (V) con una dosis de 40 g/L, a pH 7 y un tiempo de contacto 60 min. Concluyendo que los huesos carbonizados resultaron ser los adsorbentes más eficientes para la adsorción de As (V).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Castañeda-Olivera et al. (2023) evaluaron la eficiencia del carbón activado de *Prunus persica* y *Persea americana* para la eliminación de As (V) en soluciones acuosas que contenían una concentración 0.533 mg/L. Se realizaron pruebas a pH de 5.9, variando la dosis de adsorbente (3, 5 y 7 g/L) y un tiempo de contacto (1 a 30 min), con los cuales mostraron adsorciones máximas del 96.94 y 95.35 %, respectivamente, con 7 g/L de dosis de adsorbente y en un tiempo de contacto de 30 min.

Castañeda-Olivera et al. (2023) evaluaron la eficiencia del carbón activado de *Prunus persica* y *Persea americana* para la eliminación de As (V) en soluciones acuosas que contenían una concentración 0.533 mg/L. Se realizaron pruebas a pH de 5.9 variando la dosis de adsorbente (3, 5 y 7 g/L) y un tiempo de contacto (1 a 30 min), con los cuales mostraron adsorciones máximas del 96.94 y 95.35 %, respectivamente, con 7 g/L de dosis de adsorbente y en un tiempo de contacto de 30 min.

Ccallocunto (2022) determinaron el porcentaje de adsorción de As (V) en soluciones acuosas utilizando minerales naturales de hematita, magnetita y geotita como material adsorbente y se obtuvo una eficiencia de adsorción de 93.69 % de As (V), a un pH 7 y con una dosis 4 g/L durante un periodo de contacto de 180 min. su concentración se redujo de manera efectiva de 0.5 a 0.0315 mg/L de As (V).

Castillo & Toribio (2021) caracterizaron las propiedades del hueso carbonizado (BC) a 550 °C. En los resultados que obtuvieron se evidenció un rendimiento de 33.33 %, con materia orgánica del 59.72 %, óxido de calcio de 19.46 % y anhídrido fosfórico del 12.98 %. Finalmente concluyeron que a bajas temperaturas del proceso de pirólisis generan BC con un pH neutro a ácido.

Urviola & Vera (2019), estudiaron el efecto de la dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto en la adsorción de As, utilizando bioadsorbentes constituidos por CaCO₃, con un tamaño de partícula de 75 µm y mediante pruebas de adsorción discontinuas a pH 7, con una velocidad de 300 rpm y un tiempo de contacto de 180 min. Los resultados evidenciaron que la eficiencia de adsorción para soluciones acuosas y agua subterráneas fue del 97.58 y 93.32 % de As, empleando una dosis de adsorbente 35 y 40 g/L, respectivamente.

2.1.3. Antecedentes locales

Asqui (2023) Investigó el potencial del carbón activado químicamente con H_3PO_4 de los desechos agrícolas (tallos de *Chenopodium quinoa*) para la eliminación de As (V), variando la dosis de adsorbente (1, 2.5, 5, 7.5 y 10 g/L), a pH neutros y un tiempo de contacto de 120 min. Los resultados mostraron que el adsorbente fue capaz de eliminar eficazmente el 75.5 % de los metaloides As (V) de 0.8 mg/L en soluciones acuosas, al emplear una dosis de 10 g/L.

Quispe et al. (2022) investigaron la aplicación de zeolita natural como adsorbente para el tratamiento de agua subterránea contaminada con As de la ciudad de Juliaca. Los resultados mostraron una adsorción máxima del 55.88 %, favoreciendo así la disminución de su concentración de 0.126 mg/L a 0.076 mg/L de As. Su eficacia adsorptiva estuvo dada por su composición mineralógica; según el análisis de DRX, reveló un alto contenido de aluminosilicato y carbonato de calcio, donde este último componente proporcionó una mayor adsorción de As.

Callo y Flores (2020) estudiaron las características fisicoquímicas de los huesos de alpaca activados químicamente y por pirólisis tratadas a una temperatura de 750 °C, logrando obtener un rendimiento del 35.6 y 93.4 %.

Apaza (2018) en sus resultados encontraron un porcentaje de adsorción de 84 y 87 % para Pb y Cd en aguas residuales, utilizando 5 g de carbón activado obtenidos a partir de residuos óseos de camélidos sudamericanos que fueron recolectados de los mercados locales de la ciudad de Juliaca y Puno, de manera que fueron activadas con H_3PO_4 y posteriormente carbonizadas a una temperatura de 800 °C.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Hueso carbonizado

El hueso carbonizado es un material adsorbente producido a partir de la conversión termoquímica de residuos óseos de ganado vacuno, cerdo, ovino, avícola, pescado y entre otros (Figura 1) (Li et al., 2024), se caracteriza por ser un adsorbente mesoporo, debido a que, más del 90 % de los poros en el hueso carbonizado se encuentran dentro del rango de 2 a 50 nm (Biswas et al., 2021). Los huesos carbonizados se han aplicado favorablemente en varias tecnologías, en base a que sus características y propiedades son atractivas para la adsorción de una amplia variedad de contaminantes, y su composición proporciona versatilidad en los procesos de adsorción (Medellín et al., 2023).

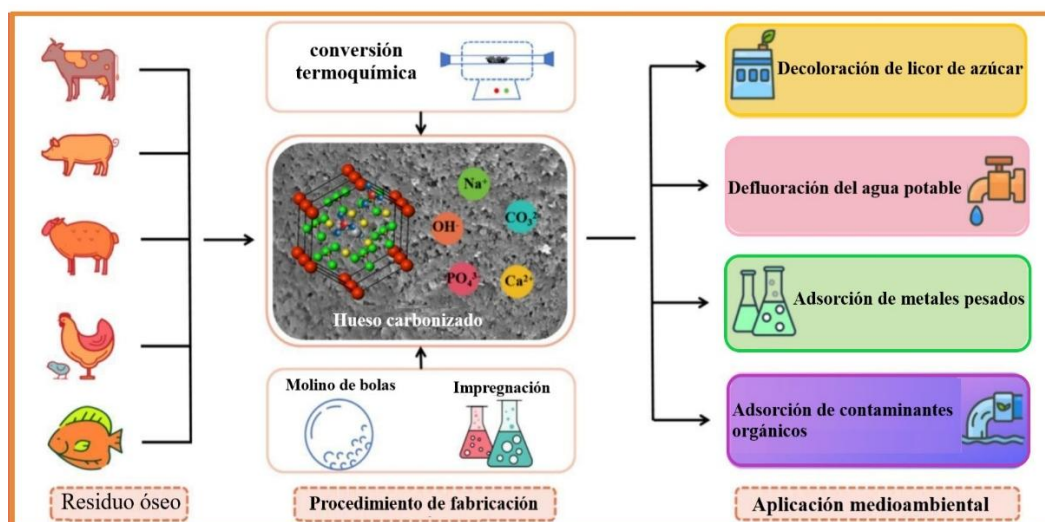


Figura 1. Aplicación ambiental del hueso carbonizado

Fuente: Li et al. (2024)

2.2.2. Composición química del hueso carbonizado

Las composiciones principales del hueso carbonizado son: hidroxiapatita (HAp) en 70 -76 %, carbonato de calcio de 7 – 9 % y carbono amorfo de 9 – 11 % (Hart et al., 2022). Sin embargo, la composición de su textura y química puede variar con la temperatura de pirólisis y los residuos óseos de los diferentes animales (Alkurdi et al., 2020; Patel et al., 2015). Así mismo, se ha informado que el hueso carbonizado es un adsorbente muy prometedor, ya que tiene la capacidad de atraer y absorber iones de metales pesados del agua, debido a que más del 60% del proceso de remoción se atribuye a la interacción con la parte inorgánica, es decir su composición mineralógica de la hidroxiapatita (Alkurdi et al., 2019).

A. Hidroxiapatita

La hidroxiapatita (HAp: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), es el principal componente mineralógico del hueso carbonizado que se encuentra constituido por fosfato de calcio (Ayala, 2023). De acuerdo a los estudios realizados por Hart et al. (2022), indica que la hidroxiapatita sintetizada a partir de residuos óseos contienen oligoelementos (Mg^{2+} , K^+ y Na^+) y grupos funcionales que contiene oxígeno. Se encuentran presentes en la superficie material adsorbente que promueven la adsorción de los metales y metaloides del agua (Liu et al., 2023). La hidroxiapatita posee una morfología cristalina de forma hexagonal (Figura 2).

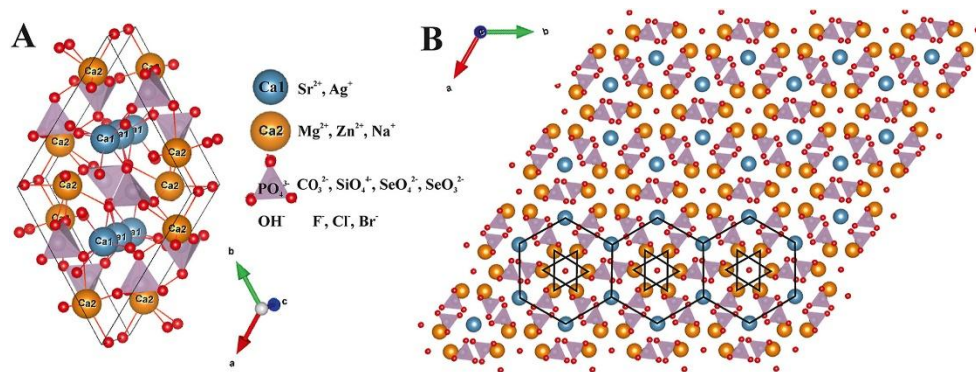


Figura 2. Estructura cristalina de la hidroxiapatita

Fuente: Adhikara et al. (2024)

2.2.3. Tecnología de conversión de bioenergía

Según Afraz et al. (2024) define que la tecnología de conversión de bioenergía, son aquellos procesos que se utilizan para extraer energías renovables y productos de valor añadido procedentes del aprovechamiento de la biomasa. Las técnicas de conversión de bioenergía se dividen en dos grupos: la conversión bioquímica y la conversión termoquímica.

A. Técnica de conversión bioquímica

Es una técnica que involucra la conversión de los desechos en energía o biocombustibles utilizando bacterias o enzimas que requieren tiempos más largos para descomponer la materia en productos. Los procesos de bioconversión significativa incluyen la digestión anaeróbica y aeróbica, la fermentación y la hidrólisis enzimática o ácida.

B. Técnica de conversión termoquímica

La conversión termoquímica de una biomasa en condiciones controladas, es una técnica que sirve para obtener productos de alto valor agregado, como el biocarbón que son utilizadas para diversa aplicación, La técnica de conversión termoquímica incluye la carbonización hidrotermal, combustión, gasificación, licuación hidrotermal, torrefacción y pirolisis.

2.2.4. Pirólisis

Método termoquímico que descompone materiales a base de carbono a temperaturas superiores a 250 °C a 900 °C en una atmósfera inerte (Vilca et al., 2022). Es ampliamente utilizado para obtener tres formas de energía: líquido, sólido y gaseoso tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1*Producción de biocarbones mediante diferentes técnicas*

Método de producción	Variante de gradiente	Rango de Temperatura (°C)	Tiempo de residencia	Rendimiento	
				Syngas (%)	Biocarbon (%)
Hidro carbonización	Lento	<350	1 – 24 h	15 - 20	60 - 85
Pirólisis lento	lento	300 - 700	1 – 2 h	35	35
Pirólisis flash	destello	700 - 1000	10 – 60 min	5 - 15	15 - 30
Pirólisis rápido	Muy rápido	700 - 1500	1 – 5 seg	15	15
Gasificación	Muy rápido	>1000	10 – 30 seg	80 - 85	10 - 15

*Fuente: Jagadeesh y Sundaram (2023)***2.2.5. Recursos hídricos**

Los recursos hídricos son aguas naturales que se encuentran disponibles y aptos en cuanto a su calidad para la satisfacción de la demanda de una población (UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2012). Sin embargo, la distribución del agua dulce en la superficie terrestre es el 3 % del total, en relación con ello, el 79% se encuentra en capas de hielo y nieve, el 29 % son agua subterránea y solo 1 % se encuentra disponible en la superficie terrestre (Levizzani & Cattani, 2019). El agua es un recurso indispensable para la existencia de cualquier ser vivo (ANA, 2018)

2.2.6. Agua subterránea

El agua subterránea es la reserva de agua dulce de mayor proporción, que se encuentra por debajo del nivel freático (Lapworth et al., 2022), y se le conoce como una espacio saturado debido a que los poros y grietas de las partículas de las rocas en el suelo se encuentra inundados (Collazo & Montaña, 2012).

La fuente de aporte principal a las aguas subterráneas son mediante el proceso de infiltración de las precipitación pluvial y el derretimiento del hielo y la nieve, de manera que a forma acuíferos subterráneas (Gil-Marin et al., 2019). Este agua fluye a la superficie de forma natural a través de manantiales, cauces fluviales, o bien directamente al mar, y también pueden dirigirse artificialmente a pozos, galerías y otros tipos de captaciones (Lapworth et al., 2022).

2.2.7. Contaminación de las aguas subterráneas

La contaminación del agua subterránea es la alteración perjudicial de su composición de modo que no reúne las condiciones para sus usos posteriores que han sido destinados en su estado natural (Choque et al., 2021). En últimos década, se ha informado sobre la contaminación de las aguas subterráneas por diversos componentes químicos de los acuíferos de todo el mundo (Kayastha et al., 2022), y a menudo, se vuelven en aguas no potables cuando los componentes exceden los límites descritos por la OMS (Schweitzer & Noblet, 2018). En América Latina se encuentran aguas subterráneas gravemente contaminadas con arsénico en vista de su toxicidad pueda afectar a la salud de los pobladores (Kumar et al., 2019).

2.2.8. Arsénico en los recursos hídricos

El arsénico en aguas de orígenes naturales, se encuentra soluble en formas inorgánicas, constituyéndose en oxianiones de arsenito [As (III)] y arseniato [As (V)], las distribución de la especies de arsénico inorgánicos se encuentran controladas en función de potencial redox y pH (Smedley & Kinniburgh, 2002). La figura 3 muestra el diagrama del potencial redox y pH para especies acuosa de arsénico.

En condiciones oxidantes y a pH menores de 6.9 la especies predominantes es H_2AsO_4^- , sin embargo, a medida que el pH tiende a aumentarse la especie de mayor abundancia es HAsO_4^{2-} (Ferguson & Gavis, 1972). Por otro lado el H_3AsO_4^0 y AsO_4^{3-} pueden estar presentes en condiciones extremadamente ácidas y alcalinas.

En condiciones reductoras y pH inferiores de 9.2 predomina la especie de arsenito neutra H_3AsO_3^0 (Smedley & Kinniburgh, 2002), no obstante en un rango de pH de 4 a 10, las especies arseniato son de carga negativa, esto conlleva a que el As (III) sea más difícil de eliminar por casi todos los métodos y tecnologías que son para el tratamiento de agua potable (Li et al., 2024).

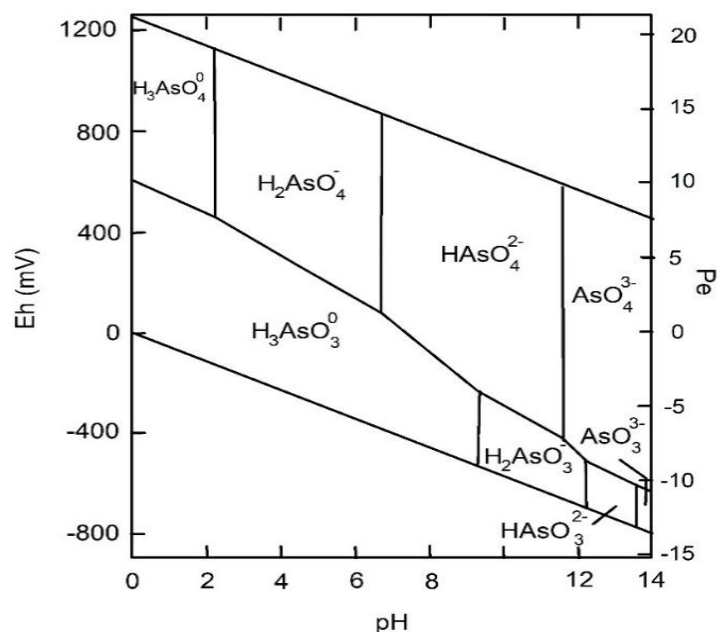


Figura 3. Potencial redox para especies acuáticas de arsénico
Fuente: Avila-Sandoval et al. (2018)

2.2.9. Efectos del arsénico en la salud

El arsénico es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades (Yernaidu & Tripathi, 2021). Los humanos pueden ser expuestos al arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga arsénico (Muretta et al., 2022).

La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significativas cantidades de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón e hígado (EPA, 1994).

2.2.10. Tecnología de tratamiento de agua potable para la remoción de arsénico

Los procesos de remoción de arsénico son principalmente por tratamiento fisicoquímico, entre ellas se consideran la adsorción, coagulación, floculación, intercambio iónico, oxidación y tratamientos biológicos el cual se encuentra constituida por la sorción de microorganismos, sin embargo, las tecnologías ecológicas que son fáciles de usar, se basan en materiales disponibles localmente (Collazo & Montaña, 2012). La adsorción es un método ampliamente adoptado para

la descontaminación del agua, donde las sustancias disueltas son retenidas por superficies sólidas de un adsorbente. Estas tecnologías son ampliamente aplicadas para la remediación de As (III) y As (V) (Fernández et al., 2022)

2.2.11. Adsorción

La adsorción es un método de tratamiento que se caracteriza por la eliminación e inmovilización de contaminantes en un medio acuoso, debido a las fuerzas de atracción entre las moléculas de la fase líquida y la superficie sólida de un adsorbente (Figura 4) (Peukert et al., 2001). Las partículas iónicas de una sustancia adherida al material adsorbente son denominadas adsorbatos (Ray & Das, 2020), mientras que los adsorbentes son sólidos que poseen cualidades únicas para la adsorción de contaminantes, y consistencia con las interacciones entre el adsorbente y adsorbato, la adsorción se divide a su vez en dos tipos: quimisorción y fisisorción (Sharma et al., 2024).

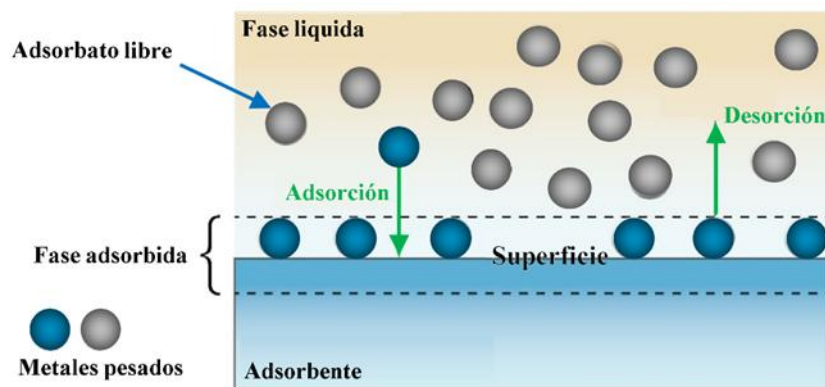


Figura 4. Proceso de adsorción de los metales pesados

Fuente : Jiang et al. (2024)

A. Tipos de adsorción

- Fisisorción

La fisisorción es proceso que ocurre debido a interacciones físicas en las cuales las moléculas del adsorbato se adhieren a la superficie del adsorbente mediante fuerzas de Van der Waals (Ray & Das, 2020). Este tipo de adsorción se caracteriza por interacciones débiles y de largo alcance con una baja entalpía de adsorción (Sharma et al., 2024).

- Quimisorción

La quimisorción es un proceso de adsorción en el cual el adsorbato se une a la superficie del adsorbente mediante la formación de enlaces químicos

(Choquenaira-Quispe et al., 2024). Se caracteriza por interacciones fuertes que ocurren a distancias muy cortas, ya que dependen de un contacto cercano entre ambas sustancias, como los enlaces iónicos donde la transferencia de carga entre las moléculas genera una atracción electrostática directa (Sharma et al., 2024).

2.2.12. Adsorción discontinua

La adsorción discontinua, también conocida como adsorción en lote, es un proceso utilizado para el tratamiento de agua contaminada dentro de un sistema cerrado (Quispe et al., 2022). Consiste en añadir una dosis de adsorbente a un volumen de agua contaminada el cual se coloca en un matraz cónico y se agita durante un tiempo específico lo que permite que entre en contacto con los contaminantes presentes (Choquenaira-Quispe et al., 2024; Taylor & Masoudi, 2023). Tras el período de agitación el adsorbente se separa mediante filtración, luego se analiza la concentración de los contaminantes adsorbidos y permite determinar el porcentaje de adsorción (Levizzani & Cattani, 2019).

A. Porcentaje de adsorción

La cantidad de adsorbato retenida en la fase adsorbida se puede expresar en términos porcentuales, el cual se calcula mediante la ecuación 1 (Castañeda-Olivera et al., 2023). Esta ecuación determina el porcentaje de adsorbato removido, utilizando la diferencia entre la concentración después de ser sometido a un tratamiento ($C_{\text{solución}}$) y la concentración inicial (C_{inicial}), dividiendo el resultado por la concentración inicial (C_{inicial}) y luego multiplicando el cociente por 100 para representarlo como porcentaje (Alkurdi et al., 2020; Hussain et al., 2024).

$$y = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

y : Porcentaje de adsorción (%)

C_{inicial} : Concentración inicial (mg/L)

$C_{\text{solución}}$: Concentración en la solución después del tratamiento (mg/L)

2.2.13. Parámetros operativos que afectan en la adsorción de arsénico

2.2.14. pH de la solución

El pH de la solución acuosa es un importante parámetro que controla los procesos de adsorción de metales en diferentes adsorbentes, debido al hecho de que los iones hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo (Mishra et al., 2023). La adsorción de iones metálicos depende tanto de la naturaleza de la superficie adsorbente como de la distribución de las especies químicas del metal en la solución acuosa (Medellín et al., 2020).

2.2.15. Concentración inicial y dosis de biocarbón

El efecto de la concentración inicial de adsorbato permite un incremento en la capacidad de adsorción a medida que aumenta la concentración de adsorbato en la solución hasta que el biocarbón se satura por completo (Velásquez, 2019). Sin embargo, cuando aumenta la concentración inicial de adsorbato, la eficiencia de eliminación disminuye. Por el contrario, se ha observado que la capacidad de adsorción disminuye cuando se aumenta la dosis de biocarbón (Wang & Guo, 2020).

2.2.16. Tiempo de contacto

La concentración de sustrato en solución disminuye en contacto con un adsorbente a lo largo del tiempo hasta alcanzar un valor constante, es decir, el equilibrio de adsorción (Pardo et al., 2014). Así el tiempo de contacto es un factor importante en el estudio de nuevas tecnologías (Pinto et al., 2022).

2.2.17. Normativa estándar nacional

En el Perú se tienen los Límites Máximos Permisibles (LMP) de parámetros inorgánicos, de manera que para arsénico total es de 0.010 mg/L, establecidas en Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano en el D.S. N° 031-2010-SA (MINSA, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito de estudio**

El estudio se realizó en el Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca (Sede Ayabacas). El principal ámbito de estudio estuvo constituido por las soluciones acuosas y las aguas subterráneas, ubicadas al noreste de la ciudad de Juliaca ($15^{\circ}29'38''\text{S}$ - $70^{\circ}08'08''\text{W}$), en la Provincia de San Román, región Puno, en el sureste del Perú (INEI, 2022). Como se muestra en la figura 5.

Mapa de ubicación del área de estudio

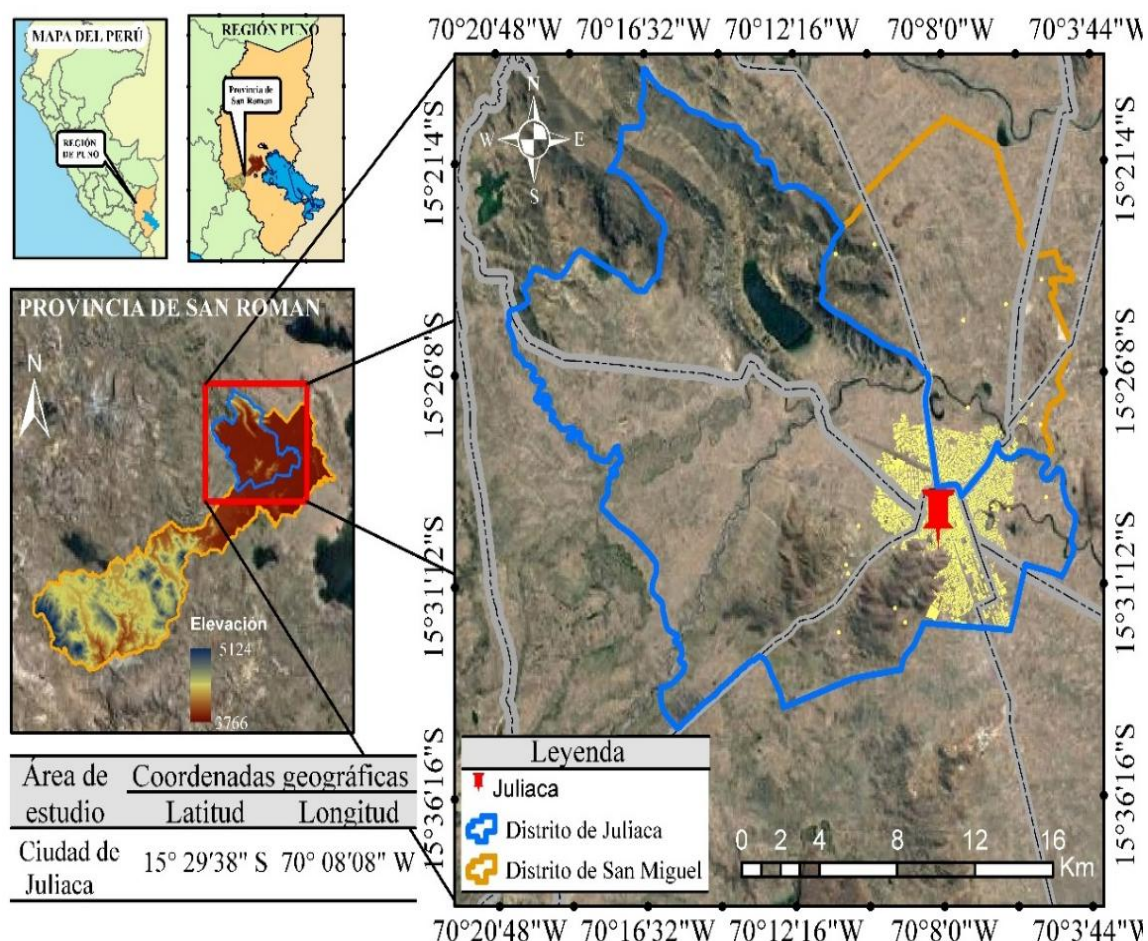


Figura 5. Mapa de ubicación del área de estudio

3.2. Enfoque de investigación

El estudio se realizó desde una perspectiva del enfoque cuantitativo.

3.3. Tipo, nivel y diseño de investigación

El tipo de investigación es experimental, ya que implica la manipulación intencionadamente de las variables independientes para ver cómo influyen en la variable dependiente. Así mismo es de nivel explicativo ya que se busca identificar los factores que afectan de manera significativa al porcentaje de adsorción de arsénico y explicar los mecanismos asociados al proceso de adsorción. Para ello se ha adoptado el diseño experimental de un solo factor.

3.4. Población

Las soluciones acuosas y las muestras de aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca constituyeron la población de estudio.

3.5. Muestra

Los muestreos de agua subterránea en la ciudad de Juliaca se realizaron en tres pozos, mediante el muestreo no probabilístico, que fueron establecido en áreas urbanas que contenían alta concentración de arsénico, las cuales fueron reportadas en investigaciones previas, que fueron realizadas por (Escarcena, 2023; Mamani, 2019; Quille, 2022).

3.6. Técnica

La técnica aplicada en este estudio fue la observación. Siendo de esa forma, una técnica indispensable para la recolección de los datos cuantitativos de la adsorción de arsénico (Hernández & Mendoza, 2018).

3.7. Materiales, equipos y reactivos

3.7.1. Materiales

Bandeja de plástico (3500 mL), bandeja de aluminio (1000 mL), bolsas ziploc (26.8 x 27.3 cm), cooler (45 L), crisoles de porcelana (100 mL), fiola (250 mL), frascos de polietileno de alta densidad (HDPE; 50, 250, 1000 y 5000 mL), matraces de Erlenmeyer (250 mL), papel filtro Whatman N°42, papel de aluminio, pipetas (1 y 5 mL), probetas (100 mL), propipeta, tamiz de malla (1 mm), vasos precipitados (100, 250 y 1000 mL), baguetas de vidrios, embudos de vidrio, espátula de acero inoxidable, mortero, vidrio de reloj, cinta de embalaje, cintas masking, lapicero, marcador de tinta indelebles.

3.7.2. Material orgánico.

Hueso vacuno

3.7.3. Equipos

Agitador orbital (Labnet – 222DS), espectrofotómetro de masa con plasma acoplado inductivamente (Perkin Elmer - NexION 350), estufa (ECOCELL - EC111 ECO), GPS (GARMIN- etrex 10), Espectrofotómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier con Reflectancia Total Atenuada (PERKIN ELMER, FRONTIER), horno tubular revestido con un tubo de cuarzo (XINKYO OFT-1200X), medidor multiparamétrico edge® (HANNA - HI2020), multiparámetro (HANNA - HI98196), molino martillo, tamizadora Ro-Tap (W.S. Tyler-RX 29), cámara fotográfica (Sony - W830) y cronómetro digital (Traceable -1031).

3.7.4. Reactivos

Ácido clorhídrico (HCl, 37 %) 1 M, ácido nítrico (HNO₃, 70%) 0.1 M, agua destilada (H₂O), arsénico (MERCK, solución patrón trazable a SRM de NIST H₃AsO₄ en HNO₃ 0.5 mol/L 1000 mg/L As Certipur®) e hidróxido de sodio (NaOH, 99 %) 1 M.

3.8. Procedimiento metodológico.

3.8.1. Determinación del rendimiento del hueso vacuno carbonizado a diferentes temperaturas de pirólisis.

A. Recolección del material precursor

Los huesos vacunos se obtuvieron del mercado Santa Bárbara de la ciudad de Juliaca. Se recolectó 15 kg del material precursor, el cual fueron almacenadas en bolsas herméticas ziploc y colocadas en cooler (Ramanan et al., 2022). Para luego ser transportadas al Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional Juliaca (UNAJ), ubicado en la sede de Ayabacas.

B. Pretratamiento de los huesos de ganado vacuno

El pretratamiento se inició con la selección de los huesos vacunos de estructura compacta, a diferencia de los huesos esponjosos que contienen trabéculas requieren más tiempo para su desproteinización y desgrasado (Alkurdi et al., 2021). Posteriormente se sometieron a un proceso de limpieza utilizando dos bandejas de polietileno de alta densidad, donde los huesos vacunos se lavaron con abundante agua destilada y se extrajo el tejido muscular que se encuentran adheridas en la superficie de hueso vacuno compacto (Elvir-Padilla et al., 2022). Una vez limpiadas, se redujeron a tamaños pequeños de aproximadamente de 1.5 cm utilizando una cortadora de carne y hueso convencional (Alkurdi et al., 2021). Después de haber

realizado el proceso de la limpieza y reducción de tamaño, los huesos vacunos aún contenían diversas sustancias no deseadas (proteínas y grasas) que se entraban unidos a los huesos vacunos. Por lo tanto, fue necesario eliminarlo mediante el método descrito por Alkurdi et al. (2020) utilizando una olla a presión convencional de 15 psi (103.4 KPa), durante 30 min, con una relación de hueso vacuno y agua destilada de 1:2 ($m/v = 1/2$), este procedimiento se realizó tres veces. Luego se sometieron a un lavado exhaustivo con agua ultrapura (Biswas et al., 2021). Los huesos limpios se sometieron a un secado en una estufa eléctrica a 105 °C durante 24 horas. Sin embargo, tras haber finalizado el proceso de secado, se molió con la ayuda de un molino martillo convencional a diámetros inferiores a 5 mm. y se almacenó en bolsas herméticas ziploc para la producción del hueso carbonizado (Begum et al., 2016).

C. Producción de hueso carbonizado

Los huesos vacunos pretratados fueron trasladados al Laboratorio de Ciencias Naturales de la Universidad Católica de San Pablo en Arequipa, donde se llevó a cabo la obtención del hueso carbonizado mediante los procedimientos descritos por Alkurdi et al. (2020), los huesos vacunos se pirolizaron a temperaturas de 500, 700, 800 y 900 °C, utilizando un horno tubular revestido con un tubo de cuarzo (XINKYO OFT-1200X) durante 60 minutos y a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Tal como se muestra en la figura 6, el gas argón se utilizó para crear un ambiente libre de oxígeno, el cual se detalla en el anexo 6. Luego los huesos carbonizados se sometieron a un proceso de tamizado, con la finalidad de obtener partículas homogéneas mediante una tamizadora Ro-Tap (W.S. Tyler-RX 29) haciendo uso de la malla N° 40 (425 um) y la malla N° 200 (75 um) (Begum et al., 2016; Shahid et al., 2020).

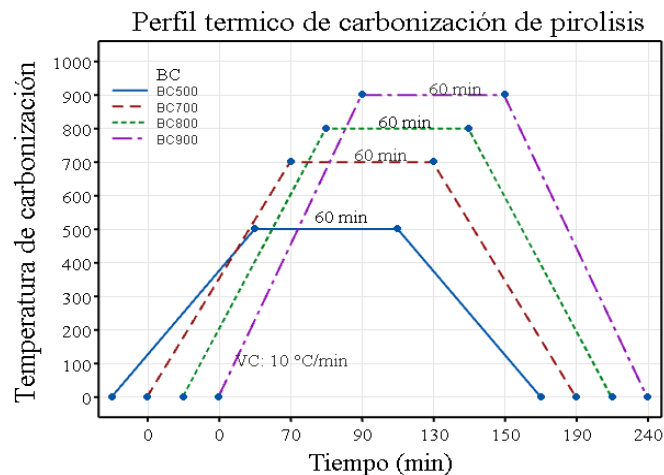


Figura 6. Hueso vacuno carbonizado a diferentes temperaturas

Posteriormente, se lavaron con agua ultrapura para remover las cenizas mineralizadas y nuevamente fueron colocados a una estufa eléctrica para secarlo a 60 °C durante 24 horas. Finalmente, estas fueron selladas y almacenadas en frascos de polietileno de alta densidad para su uso posterior en los experimentos de adsorción.

En la figura 7, se observa los pasos llevados a cabo en el procedimiento. Cada etapa del proceso se encuentra claramente enlazada, desde el inicio hasta la finalización.

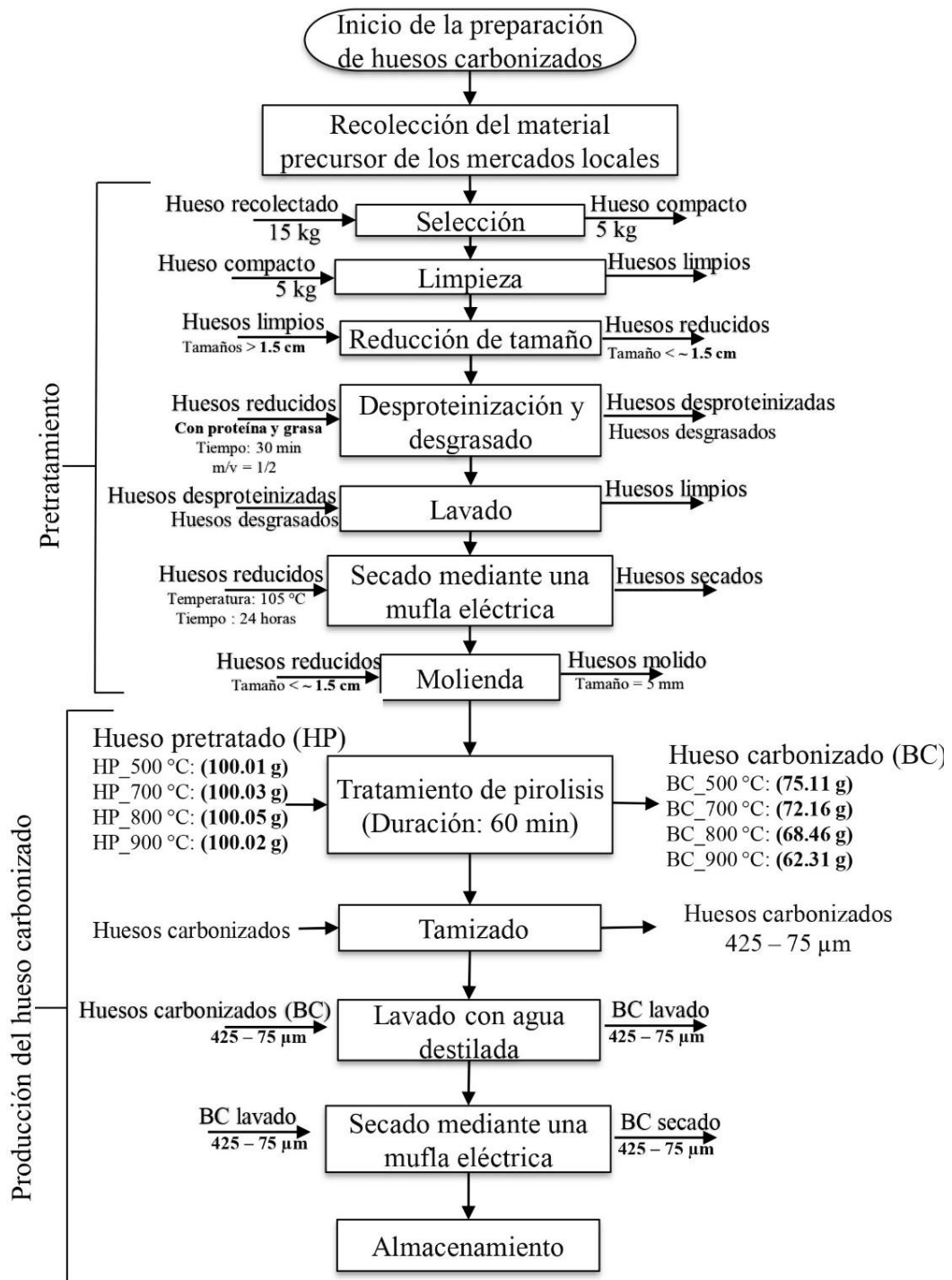


Figura 7. Diagrama de bloque para la obtención del hueso carbonizado

3.8.2. Determinación del efecto del hueso vacuno carbonizado con los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V) en soluciones acuosas

Las pruebas de adsorción discontinua se realizaron utilizando un matraz de Erlenmeyer de un volumen de 250 mL, añadiendo 200 mL de solución acuosa con una concentración inicial de 1 mg/L de arsénico (V) (Alkurdi et al., 2021), preparadas a partir de una solución de patrón trazable SRM de ácido arsénico (NIST H₃AsO₄ en HNO₃ 0.5 mol/L 1000 mg/L As Certipur®), el cual fue proporcionado por el Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L. Esto con la finalidad de garantizar las pruebas experimentales. (Anexo 11)

La suspensión de agua sintética fue agitada a 250 rpm y 25 °C con la ayuda de un agitador orbital (Labnet-22DS). Las muestras tratadas se filtraron con papel Whatman N° 42, posteriormente estas fueron dispuestas en frascos de polietileno de alta densidad, que previamente fueron rotulados para luego ser almacenadas a 4 °C. El arsénico residual se determinó mediante el método de espectrofotometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (Alkurdi et al., 2020).

A. Efecto de los huesos carbonizados sobre la adsorción de arsénico (V)

El efecto del hueso vacuno carbonizado en el porcentaje de adsorción arsénico (V), se muestran en tabla 2, establecido por el diseño de un solo factor con tres repeticiones, utilizando BC500, BC700, BC800 y BC 900, con una dosis de 5 g/L, a pH 7 y tiempo de contacto de 90 min.

Tabla 2

Efecto del hueso carbonizado en la adsorción de arsénico (V)

Tratamiento	BC	Co mg /L	W (g/L)	pH	Tc (min)	Adsorción de As (%)			Promedio $\bar{y}_{i\bullet}$
						1	2	3	
T1	BC500	1.0	5	7	90	y_{11}	y_{12}	y_{13}	$\bar{y}_{1\bullet}$
T2	BC700	1.0	5	7	90	y_{21}	y_{22}	y_{23}	$\bar{y}_{2\bullet}$
T3	BC800	1.0	5	7	90	y_{31}	y_{32}	y_{33}	$\bar{y}_{3\bullet}$
T4	BC900	1.0	5	7	90	y_{41}	y_{42}	y_{43}	$\bar{y}_{4\bullet}$

B. Efectos de los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V)

Los efectos de los parámetros operativos se evaluaron en diferentes condiciones. A través del diseño de un solo factor, cada factor se repitió tres veces. La Tabla 3 muestra los efectos de la dosis de adsorbente, el pH y el tiempo de contacto (TC) sobre la adsorción de arsénico (V).

- **Efecto de la dosis de adsorbente**

La influencia de la dosis en la adsorción de arsénico (V) con huesos vacuno carbonizado, se realizó empleando 2 a 8 g/L para muestra de 1 mg/L de As (V).

- **Efecto del pH**

Para estudiar el efecto del pH en la adsorción de arsénico (V) que contenían una concentración inicial de 1 mg/L, las soluciones acuosas se ajustaron a valores de 3 a 8, añadiendo ácido clorhídrico (HCl, 37 %) 1 M e hidróxido de sodio (NaOH, 99 %) 1 M. De manera que, su medición se realizó utilizando un multiparámetro de Edge® (Hanna, HI2020).

- **Efecto del tiempo de contacto**

Se evaluó el efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción arsénico (V) a los 10, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos. Se realizó con hueso carbonizado, dosis de adsorbente y el pH inicial más favorable obtenido de las pruebas experimentales anteriores, con una concentración de arsénico (V) de 1 mg/L.

El efecto del hueso carbonizado a diferentes temperaturas con parámetros operativos en el porcentaje de adsorción de arsénico (V) se calculó mediante la ecuación 2.

$$y = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

y : Porcentaje de adsorción (%)

C_{inicial} : Concentración inicial (mg/L)

C_{solución} : Concentración en la solución después del tratamiento (mg/L)

Tabla 3*Efecto de los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V)*

Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción arsénico (V)					Efecto del pH en la adsorción arsénico (V)					Efecto del tiempo de contacto en la adsorción arsénico (V)				
Dosis g/L	Replicas			Promedio	pH	Replicas			Promedio	TC min	Replicas			Promedio
	1	2	3			1	2	3			1	2	3	
2	y_{11}	y_{12}	y_{13}	$\bar{y}_{1\bullet}$	3	y_{11}	y_{12}	y_{13}	$\bar{y}_{1\bullet}$	10	y_{11}	y_{12}	y_{13}	$\bar{y}_{1\bullet}$
3	y_{21}	y_{22}	y_{23}	$\bar{y}_{2\bullet}$	4	y_{21}	y_{22}	y_{23}	$\bar{y}_{2\bullet}$	30	y_{21}	y_{22}	y_{23}	$\bar{y}_{2\bullet}$
4	y_{31}	y_{32}	y_{33}	$\bar{y}_{3\bullet}$	5	y_{31}	y_{32}	y_{33}	$\bar{y}_{3\bullet}$	60	y_{31}	y_{32}	y_{33}	$\bar{y}_{3\bullet}$
5	y_{41}	y_{42}	y_{43}	$\bar{y}_{4\bullet}$	6	y_{41}	y_{42}	y_{43}	$\bar{y}_{4\bullet}$	90	y_{41}	y_{42}	y_{43}	$\bar{y}_{4\bullet}$
6	y_{51}	y_{52}	y_{53}	$\bar{y}_{5\bullet}$	7	y_{51}	y_{52}	y_{53}	$\bar{y}_{5\bullet}$	120	y_{51}	y_{52}	y_{53}	$\bar{y}_{5\bullet}$
7	y_{61}	y_{62}	y_{63}	$\bar{y}_{6\bullet}$	8	y_{61}	y_{62}	y_{63}	$\bar{y}_{6\bullet}$	150	y_{61}	y_{62}	y_{63}	$\bar{y}_{6\bullet}$
8	y_{71}	y_{72}	y_{73}	$\bar{y}_{7\bullet}$	9	y_{71}	y_{72}	y_{73}	$\bar{y}_{7\bullet}$	180	y_{71}	y_{72}	y_{73}	$\bar{y}_{7\bullet}$

El procedimiento de las pruebas experimentales del efecto del hueso carbonizado a diferentes temperaturas con parámetros operativos en el porcentaje de adsorción de arsénico (V) en soluciones acuosas descritas anteriormente, se muestra gráficamente en la figura 8.

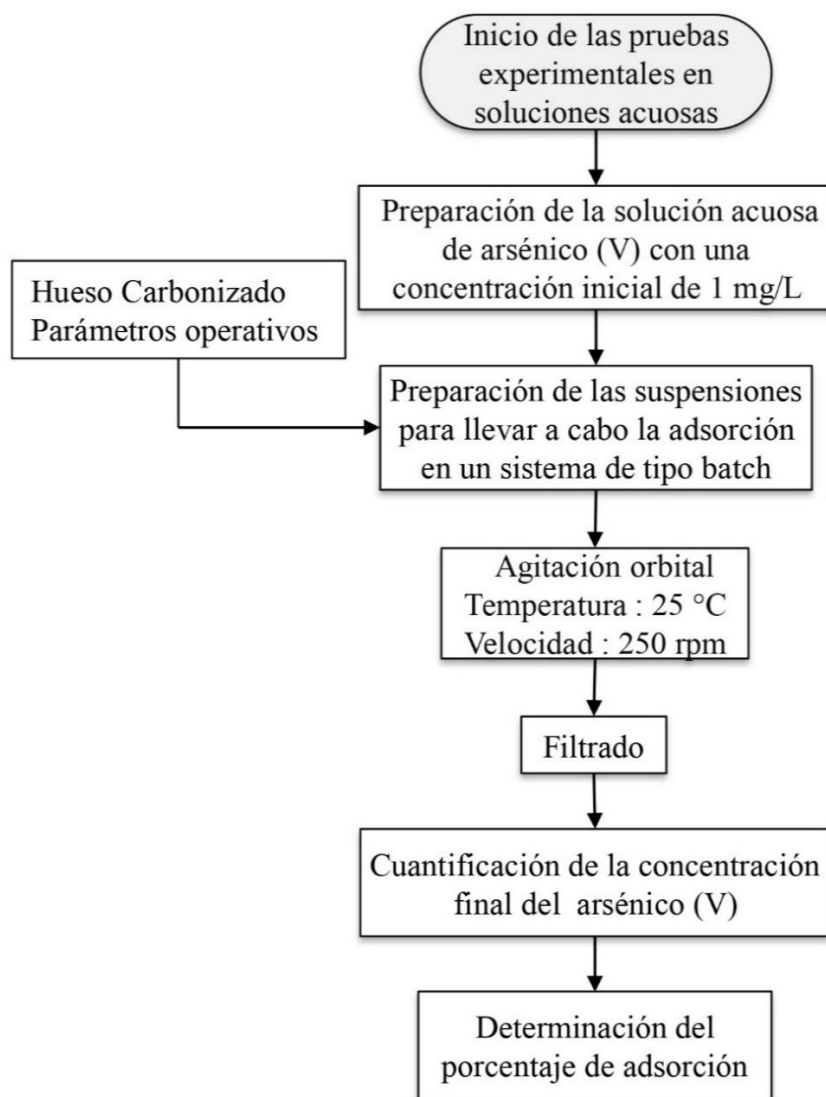


Figura 8. Diagrama de bloque del procedimiento experimental en soluciones acuosas

3.8.3. Aplicación de las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

A. Muestreo de agua subterránea

Se tomaron muestras de agua subterránea de tres pozos privados ubicados en la parte noreste de la ciudad de Juliaca. El muestreo fue establecido en áreas urbanas que contenían alta concentración de arsénico, las cuales fueron reportadas en investigaciones previas que fueron realizadas por (Escarcena, 2023; Mamani, 2019; Quille, 2022). Estos pozos con profundidades que van de 6 a 12 m, se encuentran situados en tres urbanizaciones. Los cuales fueron georreferenciados mediante un GPS (Garmin eTrex[®]-10), tal como se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4

Puntos de muestreo de las aguas subterráneas en los pozos de la ciudad de Juliaca

Código	Ubicación	Coordenadas UTM WGS84		Profundidad (m)
		N	E	
MA01	Urbanización Escuri Koriwata	377868	8290230	12
MA02	Urbanización Santa Adriana etapa I	376296	8288477	10
MA03	Urbanización San Adrián	374080	8289229	6

El muestreo se realizó de acuerdo con los procedimientos operativos de muestreo de aguas subterráneas establecidos por U.S. EPA (2013) y M.C. de Meyer et al. (2017), en el que primeramente los pozos se purgaron utilizando una bomba electrónica instalada en el lugar durante un periodo de 3 minutos, posteriormente se transfirieron en un recipiente de 20 L, donde se extrajo una alícuota de 250 mL para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de pH, temperatura (T), conductividad eléctrica (EC) y sólidos totales disueltos (SST), los cual se midieron in situ utilizando un multiparámetro portátil (HANNA-HI98194).

Las muestras de agua subterránea se recolectaron en botellas de polietileno de alta densidad (PEAD) de 500 mL las cuales fueron enjuagadas tres veces con la misma agua antes de su uso, después de la recolección, las muestras se preservaron mediante la acidificación con ácido nítrico (HNO₃) hasta alcanzar un pH menor a 2 (Trick et al., 2024). Y se etiquetaron con la información de su procedencia, luego se mantuvieron refrigeradas y almacenadas a 4 °C en un cooler de 21 L hasta su traslado al laboratorio.

B. Análisis de los metales pesados en agua subterránea

Las concentraciones de arsénico y otros metales totales en las aguas muestreadas se determinaron mediante el método EPA 200.7 (U.S. EPA, 1982), a través de la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (Perkin Elmer - NexION 350), en el Laboratorio Analítico del Sur - ubicada en el Parque Industrial Río Seco C-1 del Cerro Colorado, Arequipa - Perú.

C. Aplicación en agua subterránea

Tal como se muestra en la figura 9. Se efectuaron experimentos de adsorción con la finalidad de evaluar la eficiencia de eliminación de arsénico en muestras de las aguas subterráneas. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando un volumen de 200 mL de cada una de las muestras, por medio un agitador orbital que fue realizado a 250 rpm y a 25 °C. Se aplicaron las condiciones experimentales más óptimas que previamente fueron adquiridas en los ensayos de soluciones acuosas. Seguidamente, se filtraron con el papel Whatman N° 42 y la concentración de arsénico se determinó utilizando ICP- OES. Ello con la finalidad de calcular la eficiencia de eliminación de arsénico total mediante ecuación 3.

$$y = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

y : Porcentaje de adsorción (%)

C_{inicial} : Concentración inicial (mg/L)

$C_{\text{solución}}$: Concentración en la solución después del tratamiento (mg/L)

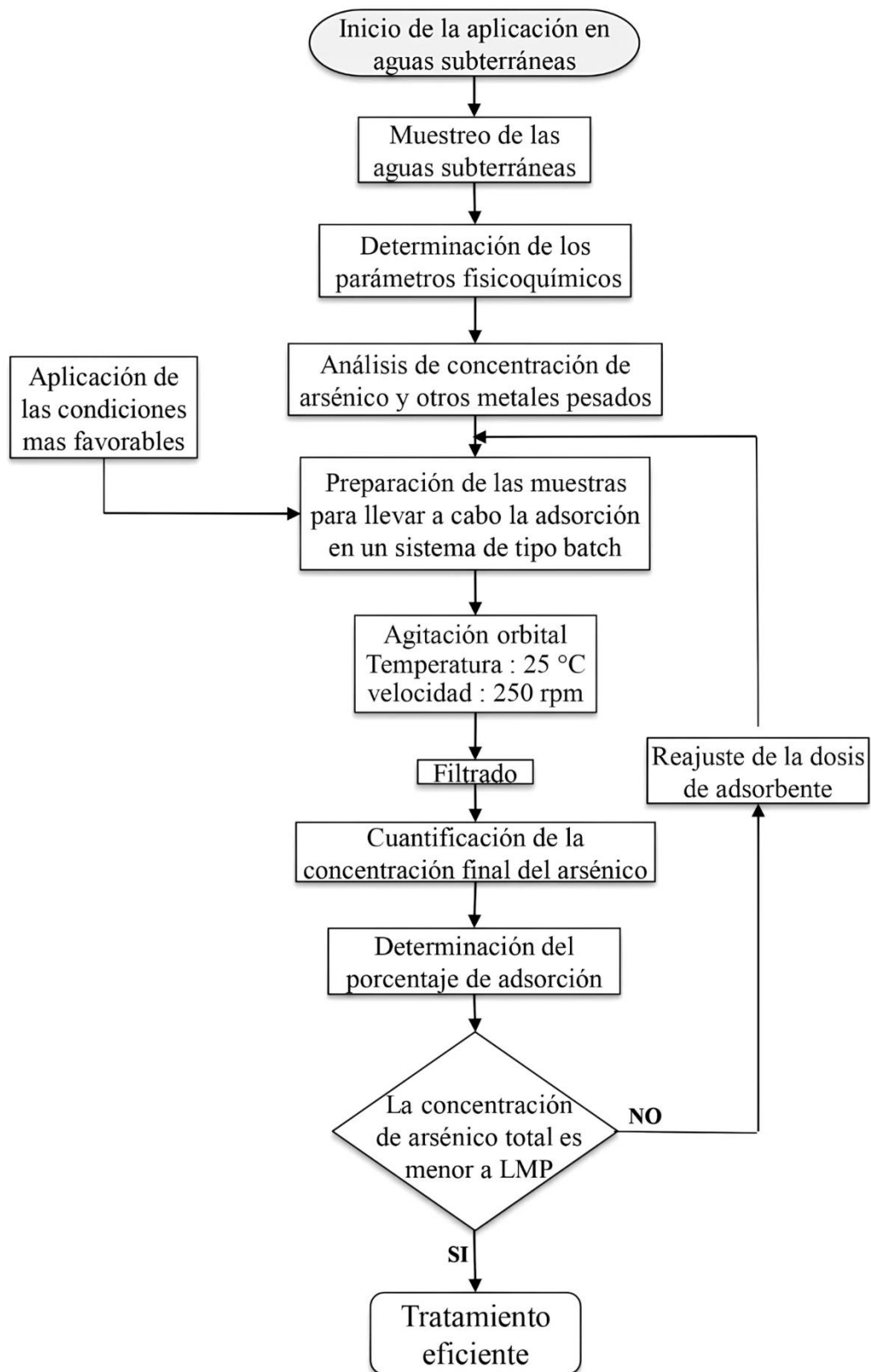


Figura 9. Diagrama de bloque para el procedimiento experimental en agua subterránea

3.10. Análisis estadístico.

El análisis de los datos fue realizado mediante un modelo de efectos fijos (Ecuación 4). Para ello, se empleó el análisis de varianza unidireccional (ANOVA), tal como se muestra en la tabla 5, con el propósito de evaluar el efecto del hueso carbonizado a diferentes temperaturas, dosis de adsorbente, pH y tiempo de contacto sobre la adsorción de arsénico (V) en soluciones acuosas. Posteriormente, se aplicó la prueba de diferencia significativa honesta de Tukey, con el fin de comparar las diferencias entre las medias de los tratamientos y determinar si hubo efectos estadísticamente significativos en la eficiencia de adsorción de As (V).

3.10.1. Modelo de efecto fijo

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Donde:

y_{ij} : Resultado obtenido, j-ésima observación que se hizo en tratamiento i.

μ : Media global

τ_i : Efecto del tratamiento i

ε_{ij} : Error atribuible a cada a cada uno de las unidades experimentadas

Tabla 5

Análisis de varianza (ANOVA) unidireccional

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F ₀	VALOR -P
Tratamiento	SC _{TRAT}	K-1	CM _{TRAT} = SC _{TRAT} /(K - 1)	CM _{TRAT} /CM _E	P(F>F ₀)
Error	SC _E	N-k	CM _E = SC _E /(K - 1)		
Total	SC _T	N-1			

Fuente: Selvamuthu & Das (2018)

3.11. Validación de los resultados

La validación de los resultados obtenidos a partir del análisis de varianza se llevó a cabo mediante la verificación de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas y la independencia de los residuos de cada experimento. La normalidad se evaluó utilizando el estadístico de prueba de Anderson-Darling (AD), mientras que la homogeneidad de varianzas y la independencia de los residuos fueron analizadas mediante la prueba estadística de Bartlett y el análisis de los residuos estudentizados.

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del rendimiento del hueso carbonizado obtenido a diferentes temperaturas de pirólisis

En la tabla 6, se muestra el rendimiento de los huesos carbonizados obtenidos a partir de los residuos óseos de ganado vacuno pirolizados en entornos limitados de oxígeno a 500, 700, 800 y 900 °C durante 60 min. Las cuales fueron calculadas mediante la siguiente ecuación 5.

$$\text{Rendimiento BC (\%)} = \frac{W_{\text{Hueso pirolizado}}}{W_{\text{Hueso crudo}}} \times 100 \quad (5)$$

Donde :

$W_{\text{Hueso crudo}}$: Peso del hueso vacuno pretratado (g)

$W_{\text{Hueso pirolizado}}$: Peso final del hueso carbonizado (g)

Tabla 6

Rendimiento del hueso carbonizado a diferentes temperaturas de pirólisis

Material adsorbente	Temperatura de pirólisis (°C)	$W_{\text{Hueso crudo}}$ (g)	$W_{\text{Hueso pirolizado}}$ (g)	Rendimiento (%)
BC500	500	100.01	75.11	75.10
BC700	700	100.03	72.16	72.14
BC800	800	100.05	68.46	68.43
BC900	900	100.02	62.31	62.30

Según la tabla 6, se observa que el rendimiento de los huesos carbonizado disminuye a medida que la temperatura aumenta, el rendimiento de producción del BC900 y BC800 a temperaturas elevadas fue de 62.30 y 68.43 %, que a diferencia del BC700 y BC500 el rendimiento de productividad aumento a 72.14 y 75.10 %.

Los resultados obtenidos son comparables a los de Elvir-Padilla et al. (2022), en los que se alcanzó un rendimiento del 74 y 75 % con huesos carbonizados a temperaturas de 700 y 800 °C. Por su parte Ahmad et al. (2023) obtuvieron rendimientos de 62.32, 55.13 y 53.64 % para huesos carbonizados a 500 °C, 700 °C y 900 °C. En investigación realizado por Callo & Flores (2020), reportaron un rendimiento del 30.73 % para el carbón activado de hueso de alpaca a 500 °C. Estos resultados demuestran que los huesos vacunos carbonizados tienen un rendimiento superior, lo que los hace ser más adecuados para su uso como material adsorbente.

4.2. Determinación del efecto del hueso carbonizado con los parámetros operativos en la adsorción de arsénico de soluciones acuosas

4.2.1. Efecto del hueso carbonizado

El porcentaje de adsorción obtenida con el tratamiento de huesos carbonizados a diferentes temperaturas de pirólisis se muestra en la tabla 7, mediante el diseño factorial de un solo factor con 12 corridas experimentales (Anexo 2). Para una concentración inicial, 1 mg/L de As (V), empleando una dosis de 5 g/L, a pH 7 y tiempo de contacto de 90 min.

Tabla 7

Resultados del efecto del hueso carbonizado en la adsorción de As (V)

Tratamiento	BC	Adsorción de As (V)			Promedio \bar{y}_i
		(%)			
		1	2	3	
T1	BC500	32.17	30.39	33.03	31.86
T2	BC700	27.45	29.24	29.20	28.63
T3	BC800	26.50	24.10	29.85	26.82
T4	BC900	64.29	68.32	68.58	67.06

En la tabla 7 y figura 10, se observa que la adsorción máxima de As (V) corresponde al tratamiento 4 realizado con el hueso carbonizado a 900 °C (BC900), el cual fue del 67.06 %, mientras tanto para el tratamiento 1 con el hueso carbonizado a 500 °C se logró obtener una adsorción de 31.86 % de As (V), a diferencia de los tratamientos 2 y 3 en los que se emplearon los huesos carbonizados a 700 °C y 800 °C se obtuvo una menor eficiencia de adsorción del 28.63 y 26.82 % de As (V), respectivamente. Los resultados obtenidos coinciden con la investigación desarrollada por Alkurdi et al. (2020) quienes afirmaron, que la adsorción de As (V) en soluciones acuosas fue mayor mediante la aplicación de BC900 a través de pruebas de adsorción discontinua, lograron obtener una adsorción de 55.29 %, empleando una dosis de adsorbente de 5 g/L, a pH 7 y un tiempo de contacto de 240 min. Sin embargo, la eficiencia de adsorción disminuyó para el BC500. De manera similar, Liu et al. (2023) determinaron que los biocarbones preparados a temperaturas superiores de 500 °C resultaron ser más eficaces para la adsorción de As (V), alcanzando un porcentaje de adsorción del 68.22 % para el biocarbón pirolizado a 900 °C. Por otra

parte Elvir-Padilla et al. (2022) señalan que el porcentaje de adsorción de As (V) disminuyó en 21 %, cuando el incremento de temperatura del hueso vacuno fue de 700 °C a 800 °C. Sin embargo, en el presente estudio se observó un mayor porcentaje de adsorción de 67.06 % de As (V) con huesos vacunos carbonizados a 900 °C. Esto podría deberse a que el BC900 experimenta transformaciones en sus características y composición que favorecen la adsorción de As (V) que a diferencia del BC500.

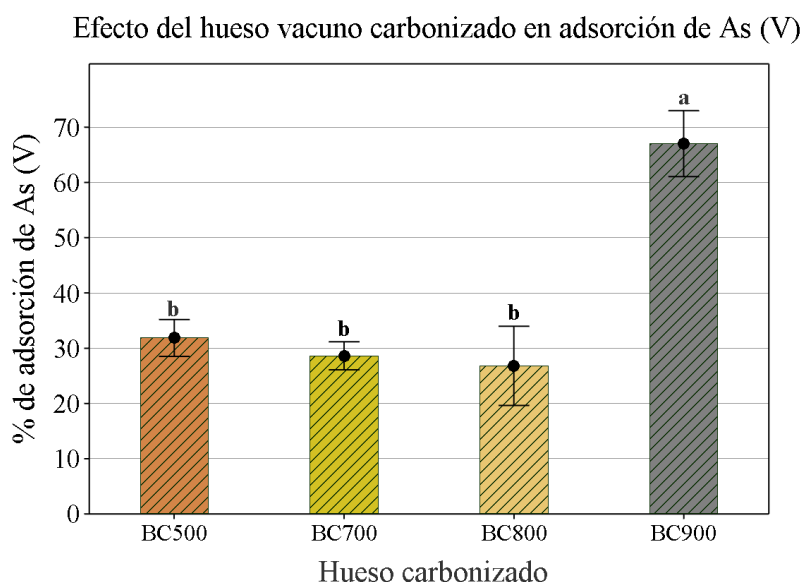


Figura 10. Efecto del hueso vacuno carbonizado en la adsorción de arsénico (V)

Según Azeem et al. (2022) informaron que el hueso carbonizado a temperaturas mayores de 600 °C está compuesto principalmente por la hidroxiapatita y con menor proporción de carbonato de calcio y carbono. Sin embargo, a una temperatura de 500 °C la fracción orgánica no tiende a eliminarse por completo. De la misma forma, (Alkurdi et al., 2020) mostró la misma tendencia debido a que el BC500 contenía una mayor proporción de carbono orgánico disuelto.

Sin embargo, el hueso carbonizado a 900 °C tiene un efecto significativo en la eliminación de As (V) en comparación con los otros huesos carbonizados, según el análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, realizado a un nivel de significación del 5 % y la prueba estadística de Tukey (ver anexo 3). Se eligió el hueso vacuno carbonizado a 900 °C (BC900) para los ensayos de diferentes dosis adsorbentes.

4.2.2. Efectos de los parámetros operativos en la adsorción de As (V)

El resultado de los efectos de los parámetros operativos en la adsorción de As (V) se presentan en la tabla 8. Estas se obtuvieron mediante el diseño factorial de un solo factor con 7 tratamientos y 3 repeticiones, ya que nos permitirá determinar la influencia como su significancia de cada una de las variables en el porcentaje de adsorción de As (V), utilizado como adsorbente el hueso carbonizado a 900 °C. tal como se detallan en los anexos 4, 6 y 8.

Tabla 8

Resultado del efecto de los parámetros operativos en la adsorción de arsénico (V)

Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción arsénico (V)					Efecto del pH en la adsorción arsénico (V)					Efecto del tiempo de contacto en la adsorción arsénico (V)				
Dosis	Replicas			Promedio	pH	Replicas			Promedio	TC min	Replicas			Promedio
g/L	1	2	3			1	2	3			1	2	3	
2	37.4	37.53	37.28	37.40	3	85.19	85.05	85.66	85.30	10	31.6	34.44	35.64	33.89
3	51.22	52	52.09	51.77	4	79.14	76.98	74.57	76.90	30	49.08	51.46	51.97	50.84
4	52.47	52.65	54.43	53.18	5	76.21	76.69	70.42	74.44	60	74.23	71.38	72.15	72.59
5	64.29	68.32	68.58	67.06	6	62.84	62.74	60.9	62.16	90	85.19	85.05	85.66	85.30
6	65.87	67.41	66.7	66.66	7	68.76	70.73	69.73	69.74	120	94.13	94.32	93.76	94.07
7	68.76	70.73	69.73	69.74	8	74.49	73.46	75.06	74.34	150	94.45	94.39	90.76	93.20
8	61.57	60.36	57.78	59.90	9	74.88	75.56	74.09	74.84	180	81.03	80.55	81.4	80.99

A. Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción de As (V)

Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción de As (V)

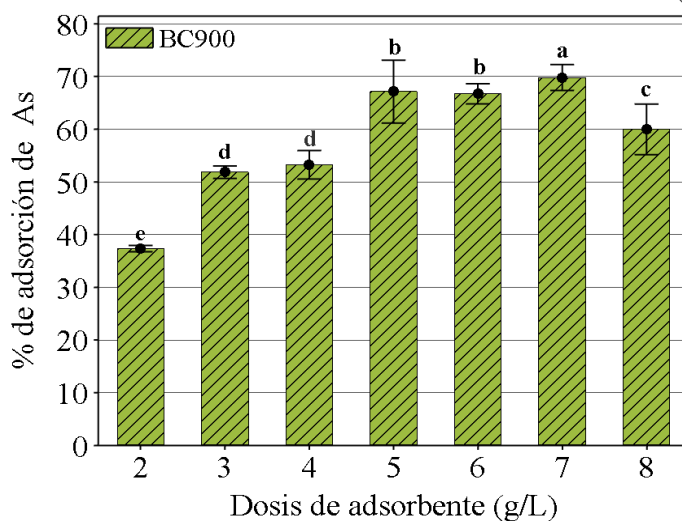


Figura 11. Efecto de la dosis de adsorbente sobre el porcentaje de adsorción de As (V)

En la figura 11, se ilustra cómo la dosis afecta la adsorción de As (V), empleando hueso vacuno carbonizado a 900 °C (BC900), a pH de 7, con una concentración inicial de 1mg/L. Se observó que el porcentaje de As (V) adsorbido aumenta del 37.40 % al 69.74%, con una dosis de adsorbente 2 a 7 g/L de BC900. Esto se puede deberse, que al aumentar la dosis de adsorbente, se incrementa el número de sitios disponibles para la adsorción, y como resultado, el As (V) se distribuye de manera uniforme en la superficie del adsorbente, evitando que se saturen los sitios activos (Liu et al., 2023). Por lo tanto, el porcentaje de adsorción de As (V) aumenta. De manera similar Begum et al. (2016) informaron un aumento en el porcentaje de As (V) adsorbido, del 43 % al 58 %, al utilizar una dosis de adsorbente de 1 a 5 g/L de huesos carbonizados a pH 7.

Por otro lado, comparando con otros adsorbentes, según Asqui (2023) utilizó un material adsorbente activado a través de un tratamiento químico para la adsorción de As (V). Observó que el incremento de 1 a 10 g/L de dosis adsorbentes proporcionaron un aumento significativo en la eficiencia de eliminación de 27.5 a 75.5 % de As (V). Asimismo, en los estudios realizados por Castañeda-Olivera et al. (2023) obtuvieron un mayor porcentaje de adsorción 96.94 %, al aumentar la dosis de 3 a 7 g/L empleando carbón activado (*Prunus persica* y *Persea americana*) para la eliminación de As (V) en soluciones acuosas. Esto podría atribuirse principalmente a la diferencia

en las concentraciones iniciales. El cual permitió obtener un mayor porcentaje de adsorción.

Sin embargo, basándose en el ANOVA de un solo factor realizado con un nivel de significancia del 5 % y la prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (Anexo 5). Evidenciaron que la dosis de 7 g/L influyó significativamente en la remoción de As (V), alcanzando el porcentaje de adsorción más alto. A partir de estos resultados, se eligió una dosis de 7 g/L de BC900 para llevar a cabo los experimentos relacionados con el efecto del pH.

B. Efecto del pH en la adsorción de As (V)

El efecto del pH en la eficiencia de adsorción de As (V) se estudió a través de experimentos de adsorción a diferentes valores de pH (3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9) cada uno con tres réplicas, tal como se observa en la figura 12, mientras se mantenían los demás parámetros en sus niveles optimizados, las cuales se encuentran detalladas en el anexo 6.

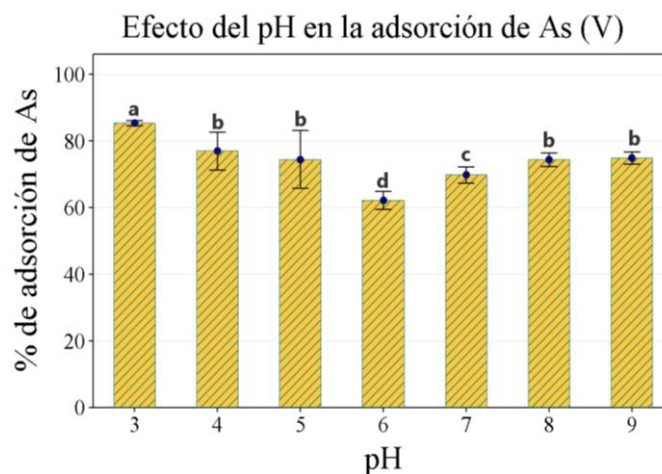


Figura 12. Efecto del pH sobre el porcentaje adsorción de As (V)

Como se puede observar en la figura 12. El porcentaje de adsorción de As (V) se redujo de 85.30 a 62.16 % a medida que el pH de la solución aumentó de 3 a 6 respectivamente, esto indica que el proceso de adsorción es más efectivo bajo condiciones ácidas. En el proceso de adsorción, la variación de pH es uno de los factores más importantes, porque influye en la especiación de As (V) presentes en forma de iones inorgánicos con cargas negativas en el agua y en las propiedades superficiales del adsorbente que promueven la adsorción de As (V) (Alam et al., 2018).

Según Begum et al. (2016), quienes estudiaron el efecto de pH en la eliminación de As (V), obtuvieron un mayor porcentaje de 62 % en condiciones de pH 4 utilizando BC450. Explicaron que las altas concentraciones de iones H^+ favorecieron a la protonación de los grupos funcionales oxigenados presentes en la superficie del BC450, incrementando la cantidad de sitios activos con carga positiva, los cuales promovieron la atracción electrostática hacia los iones As (V). Así mismo Villela-Martínez et al. (2020) demostraron que los huesos carbonizados a 500 y 700 °C, contenían en su superficie dos grupos funcionales como ($\equiv Ca - OH$) y ($\equiv P - OH$) que actuaron como sitios activos, que a medida el pH se reducía estas se protonaban para formar sitios activos con carga positivas en su superficie ($\equiv Ca - OH_2^+$) y ($\equiv P - OH_2^+$). Permitiendo adsorber mediante el mecanismo de atracción electrostática, ya que, el As (V) poseen una carga negativa ($H_2AsO_4^-$) (Cruz-Briano et al., 2023). Por otro lado, a pH mayores de 6, el porcentaje de adsorción de As (V) logra alcanzar a 78.48 %, es decir, a pH básicos se puede promover la formación de precipitados. Según el ANOVA realizado al 5% de nivel de significancia y junto con los resultados de la prueba de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey detallados en el Anexo 7, indica que el pH 3 tiene un efecto significativo en la remoción de As (V). Según estos hallazgos, a pH de 3 y una dosis de adsorbente de 7 g/L de BC900 fueron elegidos para estudiar el efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V).

C. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V)

En la figura 13, se ilustra el comportamiento de la adsorción de As (V) con tiempos de contactos prolongados de 10, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos, con una dosis de 7 g/L de BC900 y a valores de pH 3.

El porcentaje de adsorción de As (V) fue rápido en los primeros 120 minutos, este se atribuyó principalmente a la presencia de gran cantidad de sitios de adsorción disponibles en la superficie del BC900. En cuanto al tiempo de contacto, (Urviola & Vera, 2019) obtuvieron un porcentaje de adsorción de As (V) de 95 % en los primeros 120 min, esto a pH 8 utilizando bioadsorbente que se encuentra constituido por $CaCO_3$.

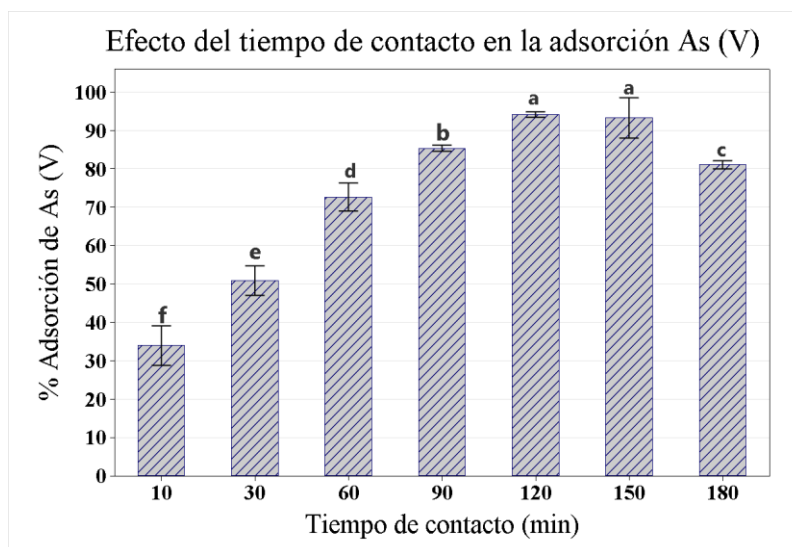


Figura 13. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V)

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) realizado con un nivel de significancia del 5 %, y la prueba de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey (Anexo 9), se demostró que aun tiempo de contacto de 120 minutos tiene un efecto significativo en la remoción de As (V), alcanzando el mayor porcentaje de adsorción de As (V). En función de estos resultados, se determinó que las condiciones óptimas fueron a un tiempo de contacto a 120 min, pH 3, y una dosis de adsorbente de 7 g/L de hueso vacuno carbonizado a 900 °C (BC900).

D. Caracterización del hueso carbonizado mediante la espectrofotometría infrarroja FTIR-ATR

El hueso vacuno carbonizado obtenido mediante tratamiento de pirólisis a 900 °C, fue analizado estructuralmente antes y después de la adsorción de As (V), mediante un espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier con Reflectancia Total Atenuada (PERKIN ELMER, FRONTIER) para identificar los grupos funcionales en un rango de barrido de 400 a 4000 1/cm (Anexo 16).

Los espectros detectados en el hueso carbonizado antes de ser sometido al proceso de adsorción se ilustran en la figura 14. Las bandas de absorción que aparecen a 3661.93 y 3082.36 1/cm pueden atribuirse a los grupos funcionales hidroxilo (OH), presentes tanto de alcohol como del fenol dentro del hueso carbonizado (Aaddouz et al., 2023). Mientras que las bandas observadas a 1089.76 (ν_3), 1042.58 (ν_3), 961.79(ν_1), 604.84(ν_4), 566.43 (ν_4) y 460.72(ν_2) 1/cm corresponden a vibraciones

de enlaces simétricas y asimétricas del grupo fosfato (PO_4^{3-}) (Alkurdi et al., 2020; Hajiahmadi et al., 2024). Asimismo, se identificaron bandas en 1409.28 y 1584.31 $1/cm$, así como otras localizadas cerca de 870 y 460 $1/cm$, que se relacionan con la vibración de grupos funcionales de carbonato (CO_3^{2-}), este tipo de bandas generalmente se encuentra asociada a la fase mineral de la calcita (Cruz-Briano et al., 2023). La detección simultánea de los grupos OH, PO_4^{3-} y CO_3^{2-} en los espectros de FTIR-ATR del hueso vacuno carbonizado a 900 °C, sugiere que se encuentra constituido principalmente por hidroxiapatita (HAp) (Cruz-Briano et al., 2023).

Espectro del hueso vacuno carbonizado antes de la adsorción de As (V)

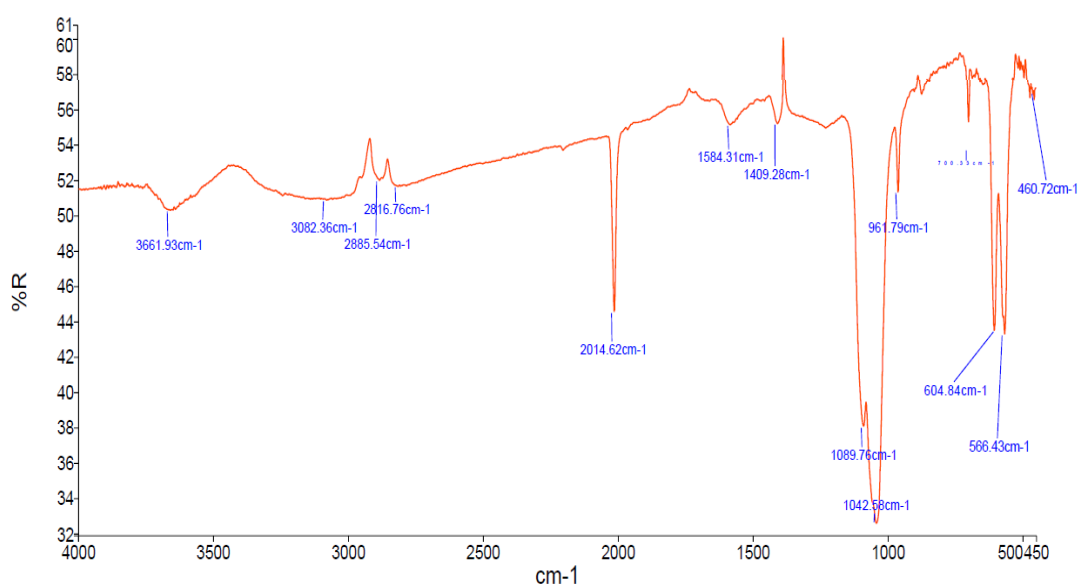


Figura 14. Espectro infrarrojo del hueso carbonizado a 900 °C antes de la adsorción

Como se aprecia en la tabla 9, las bandas situadas en 2885.54 y 2816.76 $1/cm$ se encuentran asociadas a grupos C-H simétricas y asimétricas alifáticas, es decir restos orgánicos parcialmente pirolizado (Alkurdi et al., 2019). La banda de absorción alrededor de 1584.31 $1/cm$ se relaciona con la vibración N-H de grupos de amida II y posible retención de humedad. También se puede notar que la formación de un pico agudo alrededor de 2014.62 $1/cm$, esto se debe probablemente a la formación de grupos isocianato ($-NCO$), tiocianatos ($SCN -$) e isotiocianato ($-N=C=S$), debido a la degradación de la proteína disponible en la estructura ósea (Alkurdi et al., 2021).

Tabla 9

Frecuencias de absorción infrarrojas y grupo funcional del hueso carbonizado a 900 °C

N°	Banda (1/cm)	Asignación de banda	Tipo de vibración
1	3661.93	-OH	Estiramiento
2	3082.36	- OH	Estiramiento
3	2885.54	-C-H	Vibración simétrica
4	2816.76	-C-H	Vibración asimétrica
5	2014.62	-NCO (isocianato), -SCN (tiocianatos) y -N=C=S (isotiocianato)	Estiramiento asimétrico
6	1584.31	-NH + H ₂ O	Flexión asimétrica
7	1409.28	CO ₃ ²⁻	Estiramiento asimétrico
8	1089.76	PO ₄ ³⁻ (ν ₃)	Estiramiento asimétrico
9	1042.58	PO ₄ ³⁻ (ν ₃)	Estiramiento asimétrico
10	961.79	PO ₄ ³⁻ (ν ₁)	Estiramiento simétrico
11	700.33	CO ₃ ²⁻	Flexión en el plano
12	604.84	PO ₄ ³⁻ (ν ₄)	Flexión asimétrica
13	566.43	PO ₄ ³⁻ (ν ₄)	Flexión asimétrica
14	460.72	PO ₄ ³⁻ (ν ₂)	Flexión simétrica

Fuente: Aaddouz et al. (2023); Alkurdi et al. (2020); Cruz-Briano et al. (2023)

Después del proceso de adsorción de arsénico (V) en soluciones acuosas bajo condiciones ácidas (pH 3), los espectros FTIR obtenidos del hueso vacuno carbonizado a 900 °C (Figura 15) evidenciaron modificaciones significativas. Se identificó la desaparición de las bandas correspondientes a los grupos hidroxilo (-OH) y a los grupos alifáticos (C - H) (Alkurdi et al., 2021). No obstante, se observó un desplazamiento de la banda ubicada en 3071.80 1/cm, lo que sugiere la

protonación de los grupos hidroxilos y su posible participación en la formación de enlaces de hidrógeno con el anión $H_2AsO_4^-$ (Cruz-Briano et al., 2023; Villela-Martínez et al., 2020).

Las bandas localizadas en 1095.30, 1039.50 y 962.35 $1/cm$ correspondientes a las vibraciones de estiramiento del grupo PO_4^{3-} , evidenciaron ligeros desplazamientos, lo cual sugiere la ocurrencia de atracción electrostática entre fosfatos y especies arsenicales (Villela-Martínez et al., 2020). Además, las señales ubicadas en 700.82, 606.50 y 567.90 $1/cm$, asociadas a los modos de flexión del grupo fosfato, se mantuvieron presentes, aunque con variaciones en su intensidad, lo que se relaciona con el grado de ocupación de los sitios activos por parte del As(V) (Elvir-Padilla et al., 2022; Muretta et al., 2022). Finalmente, se observó la aparición de una nueva banda a 1472.60 $1/cm$, por lo que se puede deducir que los principales mecanismos de adsorción de las especies de As(V) sobre el hueso vacuno carbonizado corresponden a una quimisorción asociada a la interacción con grupos funcionales oxigenados (Cruz-Briano et al., 2023), los cuales participan directamente en la inmovilización del arsénico mediante la formación de complejos metálicos estables.

Espectro del hueso vacuno carbonizado después de la adsorción de As (V)

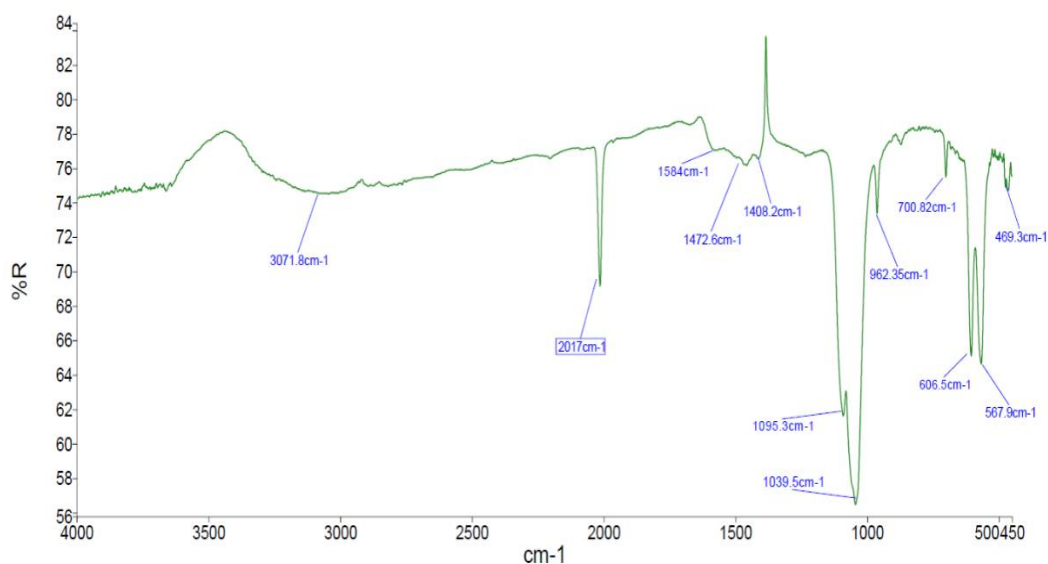


Figura 15. Espectro infrarrojo del hueso carbonizado a 900 °C después de la adsorción de arsénico (V)

4.3. Aplicación de las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

4.3.1. Caracterización de los parámetros físico-químicos de las muestras de aguas subterráneas

La tabla 10 muestra los valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos de las muestras tomadas de agua subterránea de la ciudad de Juliaca.

Tabla 10

Resultado del análisis de los parámetros físico-químicos

Parámetros	Unidad	Agua subterránea			LMP
		MA001	MA002	MA003	DIGESA
Temperatura	°C	11.48	13.72	12.16	
pH	-	7.49	7.06	7.92	6.5 – 8.5
Conductividad eléctrica	μS/cm	2163	2070	1472	2500
Sólido totales disueltos	mg/L	1083	1031	736	500

Los resultados de la temperatura del agua en los pozos de la ciudad Juliaca muestran valores entre 11.48 °C para MA001 y 13.72 °C para MA002. En toda las muestras los valores pH se encontraban dentro de los Límites Máximos Permisibles, sin embargo la mayoría de las muestras tendía a ser ligeramente alcalino (pH>7), esto es consistente con la presencia conocida de minerales de carbonato dentro (Alvan et al., 2012). La conductividad más alta se obtuvo en MA001 de 2163 μS/cm y la más baja en la MA003 de 1472 μS/cm, esto condujo a obtener una concentración de sólidos totales disueltos 1083 mg/L y 736 mg/L. Ambos parámetros son una indicación de la composición iónica del agua. En las las aguas alcalinas, generalmente es un reflejo de las concentraciones de bicarbonato de calcio y magnesio para las aguas dulces.

4.3.2. Concentración de metales pesados en las muestras de agua subterránea

En la tabla 11, se visualiza el resultado obtenido del análisis de los metales pesados, la concentración de arsénico total (As) en las muestras de agua subterránea se encontraba entre los valores de 0.0345 a 0.0966 mg/L para MA-003 y MA-0002. En concordancia con el valor del Límite Máximo Permisible del D.S. N° 031-2010-SA (MINSA, 2011), los valores obtenidos excedieron el límite de 0.01 mg/L de As. Esto implica que pueda causar algunos efectos a la salud de la población local.

Tabla 11

Resultado del análisis de los metales totales en las muestras de agua subterránea

Metales	Unidad	MA0001	MA002	MA003	LMP MINAM
As	mg/L	0.0494^a	0.0966^a	0.0345^a	0.01
Al	mg/L	0.0029 ^b	0.0029 ^b	0.0029 ^b	0.9
B	mg/L	0.1225	0.2823	0.3308	1.5
Ba	mg/L	0.0876	0.1038	0.1466	0.7
Be	mg/L	0.000079 ^b	0.000079 ^b	0.000079 ^b	0.012
Ca	mg/L	214	209	140	-
Cd	mg/L	0.00011 ^b	0.00011 ^b	0.00011 ^b	0.003
Co	mg/L	0.000094 ^b	0.017314	0.000510	-
Cr	mg/L	0.00414	0.00448	0.00526	0.05
Cu	mg/L	0.00020 ^b	0.00020 ^b	0.00020 ^b	2
Fe	mg/L	0.016	0.081	0.035	0.3
K	mg/L	19.9	20.4	17.9	-
Li	mg/L	0.0198	0.04774	0.0772	-
Mg	mg/L	54.77	49.29	36.94	-
Mn	mg/L	0.00085	0.00120	0.00497	0.4
Mo	mg/L	0.00038 ^b	0.00038 ^b	0.00038 ^b	0.07
Na	mg/L	37.3	90.5	42.4	-
Ni	mg/L	0.00164	0.00116	0.00134	0.02
P	mg/L	0.1232	0.0654	0.1247	0.01
Pb	mg/L	0.0338 ^a	0.0328 ^a	0.0115 ^a	0.01
Sb	mg/L	0.00807 ^b	0.00328 ^b	0.00321 ^b	0.020
Se	mg/L	0.0491 ^a	0.0520 ^a	0.00220 ^b	0.010
SiO ₂	mg/L	60.09	58.05	60.17	-
Sn	mg/L	0.00085 ^b	0.00085 ^b	0.00085 ^b	-
Sr	mg/L	2.485	2.529	1.881	-
Ti	mg/L	0.00068 ^b	0.00068 ^b	0.00068 ^b	-
TI	mg/L	0.0013 ^b	0.0013 ^b	0.0013 ^b	-
V	mg/L	0.03888	0.04417	0.03384	-
Zn	mg/L	0.0212	0.0219	0.0141	3

b: Por debajo del límite de detección.

a: Por encima del Límite máximo permisible

4.3.2. Aplicación del hueso carbonizado y parámetros operativos en la adsorción de arsénico en agua subterránea de la ciudad de Juliaca

En base a los resultados en soluciones acuosas, el hueso vacuno carbonizado y parámetros operativos que afectaron significativamente en la adsorción de As (V) se presentan en la tabla 12. Estos demostraron proporcionar las condiciones de operación más favorables al proceso de adsorción.

Tabla 12

Las condiciones de operación más favorables para la adsorción de As (V) en soluciones acuosas

Proceso de adsorción	Discontinuo (lote)
Volumen de la muestra	200 mL
Temperatura	25 °C
Velocidad de agitación	250 rpm
Hueso vacuno carbonizado	900 °C
Dosis de adsorbente	7 g/L
Tiempo de contacto	120 min

En la figura 16 se ilustran los resultados de la adsorción de arsénico para las aguas muestreadas de MA001, MA002 y MA003 de la ciudad de Juliaca, de modo que se logró obtener una adsorción de 37.04, 46.07 y 64.62 % respectivamente, mediante las pruebas experimentales especificadas en la tabla 10. Sin embargo, tal como se muestra en la figura 17, las concentraciones de arsénico obtenidas con el tratamiento, aún se encontraban por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

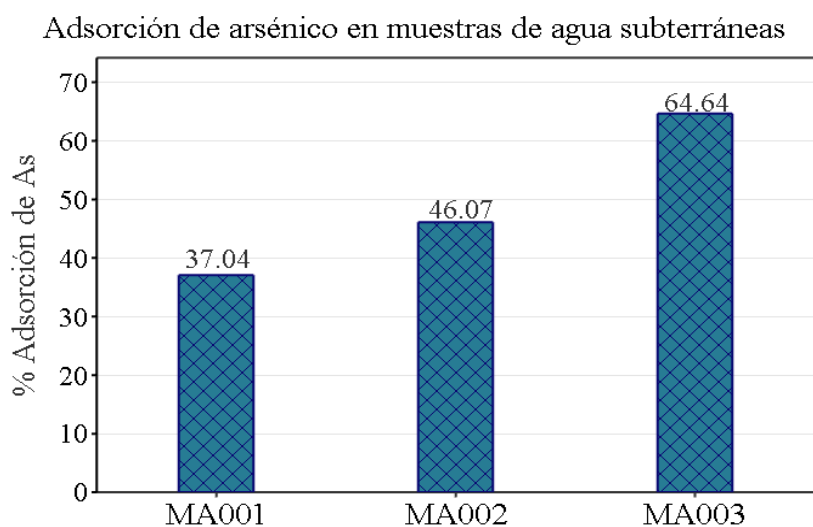


Figura 16. Aplicación del hueso carbonizado y parámetro operativo en la adsorción de arsénico en aguas subterránea

Concentración de arsénico en el agua subterránea tratada

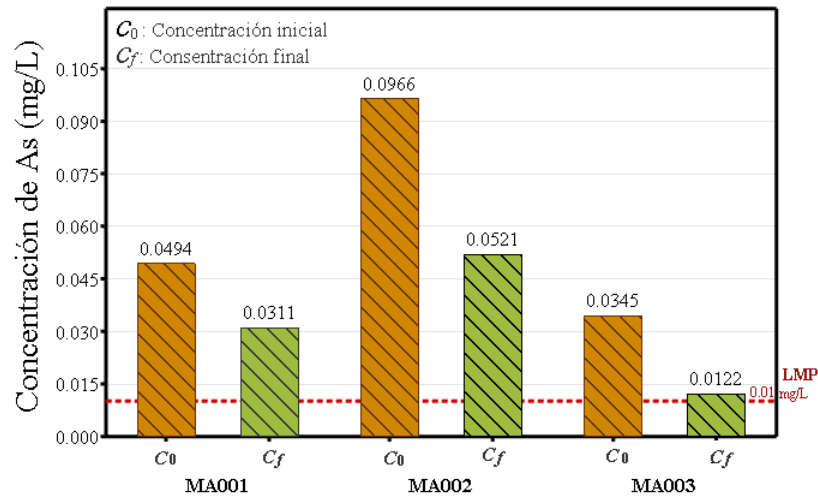


Figura 17. Concentración inicial y final de las muestras de agua subterránea tratada

En lo que respecta a la aplicación de huesos carbonizados para adsorción de As en muestras de agua subterráneas, Villela-Martínez et al. (2020) obtuvieron un porcentaje de adsorción de 55.2 % en una muestra de pozo que inicialmente tenía una concentración de 0.0248 mg/L de As, sin embargo, esta concentración se redujo a 0.011 mg/L. Esto debido a la presencia de otros iones que pudieron modificar la interacción superficial del hueso vacuno carbonizado. De tal forma que, los iones disueltos pueden competir por los sitios activos del hueso carbonizado, haciendo que tenga una menor eficiencia para la eliminación de arsénico en las aguas subterráneas (Cruz-Briano et al., 2023). En comparación con nuestro estudio, la concentración de As fue mayor para las aguas de pozos muestreados en la ciudad de Juliaca. Asimismo, estas muestras se encontraban constituidas por la presencia de otros iones contaminantes (anexo 12).

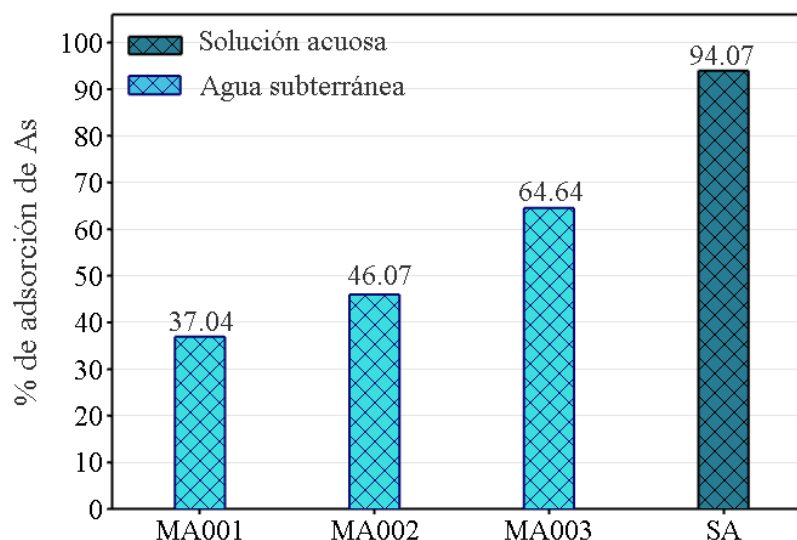


Figura 18. Adsorción de arsénico en muestras de agua subterránea y solución acuosa

En la figura 18, se puede observar que la adsorción de arsénico del BC900 en soluciones acuosas presentó mejores resultados en comparación con las muestras de aguas subterráneas. La tendencia de estos resultados fue consistente con los estudios realizados por Urviola & Vera (2019), demostraron que la aplicación de una dosis 30 g/L de un bioadsorbente constituido CaCO_3 en muestras de agua subterránea, logró disminuir de una concentración de 0.135 mg/L a 0.040 mg/L de arsénico. Alcanzando una adsorción máxima de 70.23 % la cual fue menor a lo obtenido en sus pruebas de soluciones acuosas (97.059 %). Esto se debe a que simultáneamente logró adsorber metales como Pb, Cd, Zn y Al.

Con base en los resultados experimentales y las discusiones mencionadas anteriormente, se procedió a realizar el reajuste de las condiciones operativas para el proceso de adsorción.

4.1.1. Reajuste de las condiciones operativas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

El reajuste de las condiciones operativas para disminuir significativamente la concentración de arsénico. Se detallan en el anexo 14. De manera que se realizaron nuevas pruebas experimentales incorporando una dosis de adsorbente de 2.86 g de BC900 para un volumen de 200 mL de agua de pozo.

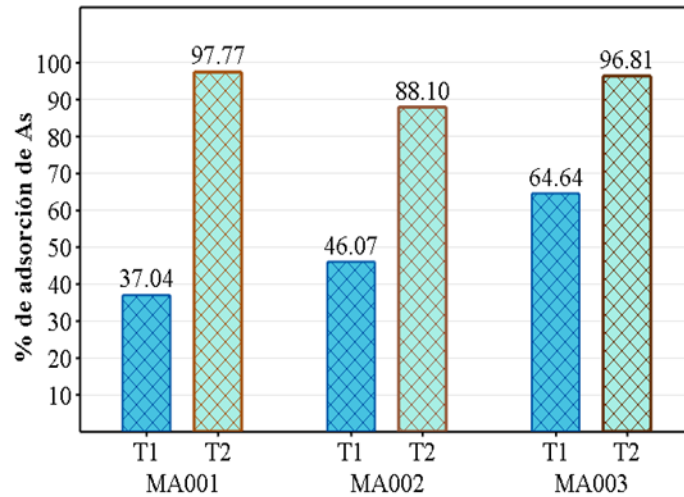


Figura 19. Adsorción de arsénico en agua subterránea empleando el reajuste de la dosis de adsorbente BC900

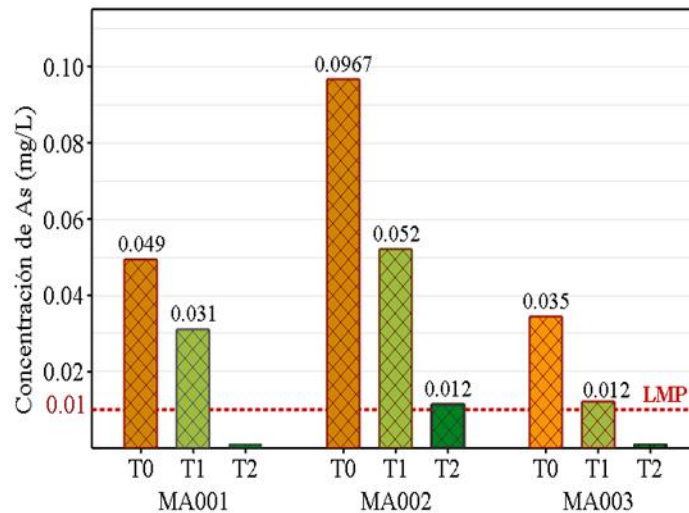


Figura 20. Concentración inicial y final de las muestras de agua subterránea tratadas con la dosis de adsorbente reajustada

En la figura 19 se puede apreciar que el porcentaje de adsorción de arsénico luego del reajuste se incrementó para las tres muestras de agua subterránea de la ciudad de Juliaca, logrando alcanzar una adsorción de 97.8 %, 88.095 % y 96.82 % para MA001, MA002 y MA003. Lo cual reveló, que concentración de arsénico para las muestras MA001 y MA003 se encontraban por debajo de los Límites Máximos Permisibles, tal como se apresia en la figura 20, sin embargo para muestra del pozo MA002 la concentración disminuyó de 0.0966 mg/L a 0.0111 mg/L. De manera que al adicionar una cantidad 0.09 g de BC900 la concentración de arsénico serán menor a 0.010 mg/L.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se consiguió obtener hueso carbonizado a diferentes temperaturas de 500, 700, 800 y 900 °C, utilizando tecnología de conversión termoquímica por pirólisis en ausencia de oxígeno. El proceso se realizó con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, durante 60 minutos, y un flujo constante de gas inerte de argón, empleando residuos óseos de ganado vacuno. A una temperatura de 500 °C, el rendimiento de productividad fue del 75.10 %, mientras que, a 900 °C, el rendimiento fue del 62.30 %. Estas características hacen que el material sea adecuado para su uso como adsorbente.

Se determinó que el hueso vacuno carbonizado a 900 °C, y los parámetros operativos de una dosis de adsorbente de 7 g/L, un valor de pH de 3 y un tiempo de contacto de 120 minutos, influyeron significativamente en el porcentaje de adsorción de As (V) en soluciones acuosas mediante el proceso de adsorción discontinuo (batch). Bajo estas condiciones, se logró un porcentaje de adsorción del 94 % para una concentración inicial de 1 mg/L de arsénico (V), esto debido al mecanismo de adsorción de quimiosorción, demostrando que los huesos carbonizados a altas temperaturas son materiales adsorbentes eficientes para la remoción de As(V).

La adsorción de arsénico con hueso vacuno carbonizado a 900 °C se evaluó en muestras de agua subterránea de la ciudad de Juliaca, que contenían concentraciones iniciales de arsénico de 0.049, 0.097 y 0.035 mg/L para las muestras MA001, MA002 y MA003, respectivamente. Los resultados iniciales mostraron una reducción significativa en la eficiencia de adsorción, alcanzando valores de 37.04, 46.07 y 64.64 %. Sin embargo, al reajustar la dosis de adsorbente, la eficiencia aumentó significativamente, logrando un 88.10 % para la muestra MA002, reduciendo su concentración a 0.011 mg/L. En el caso de las muestras MA001 y MA003, se lograron porcentajes de adsorción de 97.77 % y 96.81 %, respectivamente, disminuyendo las concentraciones de arsénico a menos de 0.0012 mg/L, cumpliendo así con los LMP.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda relizar experimento con huesos vacunos carbonizados a temperatura menores de 900 °C por medio de tratamiento termoquímico de pirólisis para mejoara la eficiencia de adsorción de arsénico en soluciones acuosas y la aplicación en agua subterránea.

En futuras investigaciones se recomienda estudiar, cómo influyen los huesos de ganado vacuno carbonizados por pirólisis y los parámetros operativos en la remoción de As (III) de muestras sintéticas.

Se recomienda investigar la capacidad de adsorción del hueso vacuno carbonizado a 900 °C para eliminar otros contaminantes del agua, basándose en los resultados de este estudio, con el objetivo de mejorar la eficiencia de la tecnología de adsorción

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aaddouz, M., Azzaoui, K., Akartasse, N., Mejdoubi, E., Hammouti, B., Taleb, M., Sabbahi, R., & Alshahateet, S. F. (2023). Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto hydroxyapatite nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1288. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135807>
- Adhikara, A. G., Maharani, A. P., Puspitasari, A., Nuswantoro, N. F., Juliadmi, D., Maras, M. A. J., Nugroho, D. B., Saksono, B., & Gunawarman. (2024). Bovine hydroxyapatite for bone tissue engineering: Preparation, characterization, challenges, and future perspectives. *European Polymer Journal*, 214(December 2023), 113171. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113171>
- Afraz, M., Muhammad, F., Nisar, J., Shah, A., Munir, S., Ali, G., & Ahmad, A. (2024). Production of value added products from biomass waste by pyrolysis: An updated review. *Waste Management Bulletin*, 1(4), 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.08.004>
- Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades/ATSDR. (2007). *Toxicological Profile for Arsenic* (. CAS # 7440, 1–2. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts2.pdf>
- Ahmad, S., Zhang, M., Li, Y., Yang, X., Gao, F., & Tang, J. (2023). Pyrolyzed bone char for nitrobenzene adsorption: Insight into the physicochemical characterizations and adsorption mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111597>
- Alam, M., Shaikh, W., Alam, M., Bhattacharya, T., Chakraborty, S., Show, B., & Saha, I. (2018). Adsorption of As (III) and As (V) from aqueous solution by modified Cassia fistula (golden shower) biochar. *Applied Water Science*, 8(7). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0839-y>
- Alkurdi, S., Al-Juboori, R., Bundschuh, J., Bowtell, L., & Marchuk, A. (2021). Inorganic arsenic species removal from water using bone char: A detailed study on adsorption kinetic and isotherm models using error functions analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 405(July 2020), 124112. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124112>
- Alkurdi, S., Al-Juboori, R., Bundschuh, J., Bowtell, L., & McKnight, S. (2020). Effect of pyrolysis conditions on bone char characterization and its ability for arsenic and fluoride removal. *Environmental Pollution*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114221>

- Alkurdi, S., Herath, I., Bundschuh, J., Al-Juboori, R., Vithanage, M., & Mohan, D. (2019). Biochar versus bone char for a sustainable inorganic arsenic mitigation in water: What needs to be done in future research? *Environment International*, 127(February), 52–69. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.012>
- ANA. (2018). Ley de Recursos Hídricos Ley N°29338. *Autoridad Nacional Del Agua*.
- Apaza, R. (2018). Adsorción de plomo y cadmio con carbon activdo de hueso de alpaca en aguas residuales de la laguna Espinar -Puno. *Tesis de Maestria*, Universidad Nacional del Altiplano. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Asqui, N. (2023). Adsorción de metales As y pb en aguas de pozos tubulares del centro poblado Villa Asunción Accaso – Pilcuyo con carbón activado obtenido de tallos de Quinoa (*chenopodium quinoa*). *Tesis de Pregrado*, Universidad Nacional del Altiplano.
- Avila-Sandoval, C., Júnez-Ferreira, H., González-Trinidad, J., Bautista-Capetillo, C., Pacheco-Guerrero, A., & Olmos-Trujillo, E. (2018). Spatio-temporal analysis of natural and anthropogenic arsenic sources in groundwater flow systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph15112374>
- Ayala. (2023). *Adsorción de cadmio y cromo en solución acuosa mediante nanopartículas de hidroxiapatita*.
- Azeem, M., Shaheen, S., Ali, A., Jeyasundar, P., Latif, A., Abdelrahman, H., Li, R., Almazroui, M., Niazi, N., Sarmah, A., Li, G., Rinklebe, J., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2022). Removal of potentially toxic elements from contaminated soil and water using bone char compared to plant- and bone-derived biochars: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 427(June 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128131>
- Begum, S., Golam, A., & Vahdat, N. (2016). Adsorption isotherm and kinetic studies of As(V) removal from aqueous solution using cattle bone char. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 65(3), 244–252. <https://doi.org/10.2166/aqua.2016.089>
- Biswas, P., Liang, B., Turner-Walker, G., Rathod, J., Lee, Y., Wang, C., & Chang, C. (2021). Systematic changes of bone hydroxyapatite along a charring temperature gradient: An integrative study with dissolution behavior. *Science of the Total Environment*, 766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142601>

- Bravo, P., & Quispe, S. (2019). Metales pesados: fuentes y su toxicidad sobre la salud humana. *Ciencias*, 2, 20–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.33326/27066320.2018.1.842>
- Callo, A., & Flores, N. (2020). Caracterización del carbón activado de huesos de Alpaca (Vicugna pacos) por activación química con hidróxido de sodio, ácido fosfórico y tiempo de pirólisis. *Universidad Peruana Unión*, 1–93. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2038/Gloria_Trabajo_Academico_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castañeda-Olivera, C., Pérez, H., Barrenechea, R., Benites, E., Rojas, R., & Gutiérrez, A. (2023). Use of activated carbon from *Prunus persica* and *Persea americana* for the removal of arsenic and lead in contaminated water. *Chemical Engineering Transactions*, 100(February), 1–6. <https://doi.org/10.3303/CET23100001>
- Castillo, K., & Toribio, Y. (2021). Producción y caracterización de biochar a partir de la biomasa residual de huesos de aves aplicado a un cultivo de hortalizas. *Universidad Cesar Vallejo*, 1–118. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ccallocunto, Y. (2022). Grado de adsorción de arsénico en aguas superficiales empleando minerales de óxido de hierro soportado sobre carbón modificado. *Tesis de Pregrado*, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6013>
- Chen, W., Biswas, P., Kwon, E., Lin, K., Rajendran, S., & Chang, J. (2024). Optimizing bone and biomass co-torrefaction parameters: High-performance arsenic removal from wastewater via co-torrefied bone char. *Environmental Research*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118990>
- Choque, D., Froehner, S., Ligarda, C., Ramos, B., Peralta, D., Palomino, H., Choque, Y., Solano, A., Barboza, G., Taípe, F., & Zamilloa, L. (2021). Insights from water quality of high andean springs for human consumption in Peru. *Water (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/w13192650>
- Choquenaira-Quispe, C., Villanueva-Salas, J., Yucra-Condori, H., Angulo Vargas, S., Rojas Tamata, K., & Gonzales-Condori, E. (2024). “Chacco” clay from the Peruvian highlands as a potential adsorbent of heavy metals in water. *Energy Nexus*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100330>

- Collazo, M., & Montaña, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (Denad Internacional S.A., Ed.; 1st ed.).
- COSUDE. (2023). Metales pesados en agua para consumo humano: Una propuesta para su remoción. *Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación COSUDE*, 1–28. https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2023/07/PUBLICACION_AGUA-EMP-final.pdf
- Cruzado, E., Bierla, K., Torró, L., & Szpunar, J. (2021). Accumulation of as, ag, cd, cu, pb, and zn by native plants growing in soils contaminated by mining environmental liabilities in the peruvian andes. *Plants*, 10(2), 1–23. <https://doi.org/10.3390/plants10020241>
- Cruz-Briano, S., Medellín-Castillo, N., Delgado-Sánchez, P., Castro-Larragoitia, G., Leyva-Ramos, R., Cortina-Rangel, M., Labrada-Delgado, G., Villela-Martínez, D., Flores-Rojas, A. I., González-Fernández, L. A., & Cisneros-Ontiveros, H. G. (2023). Binary fluoride and As(V) adsorption in water using pleco fish bone chars. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(28), 40156–40173. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29101-8>
- Elvir-Padilla, L., Mendoza-Castillo, D., Reynel-Ávila, H., & Bonilla-Petriciolet, A. (2022). Adsorption of dental clinic pollutants using bone char: Adsorbent preparation, assessment and mechanism analysis. *Chemical Engineering Research and Design*, 183, 192–202. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.05.003>
- EPA. (1994). METHOD 200.7 - Determination of elements and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. *US Environmental Protection Agency, EPA/600/4-*, 31–82.
- Escarcena, R. (2023). Capacidad de remoción del arsénico en el agua de pozo de la comunidad Escuri Corihuata empleando filtros de zeolita natural (clinoptilolita) en condiciones controladas. *Tesis*, 1–168. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ferguson, J., & Gavis, J. (1972). A review of the arsenic cycle in natural waters. *Water Research*, 6(11), 1259–1274. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(72\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(72)90052-8)
- Fernández, Y., Benavides, E., Dávila, C., Gonsebatt, M., & Del Razo, L. (2022). Evaluación de la exposición a arsénico y factores de riesgo de aterogénesis en una población Altoandina en Perú. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 419–430. <https://doi.org/10.20937/rica.54436>

- Francisca, F., & Carro, M. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2), 177–190.
- Gil-Marin, J., Vizcaino, C., & Veliz, C. (2019). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de Estudio: Acuíferos de Maturín, Estado Monagas, Venezuela. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(3), 9. <https://doi.org/10.25127/aps.20193.488>
- González-Martínez, F., Johnson-Restrepo, B., & Quiñones, L. (2024). Arsenic inorganic exposure, metabolism, genetic biomarkers and its impact on human health: A mini-review. In *Toxicology Letters* (Vol. 398, pp. 105–117). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2024.06.008>
- Hajiahmadi, Z., Moheb, A., Mohammadi, M., Marzban, N., & Scheufele, F. (2024). Surface and mass transfer kinetic and equilibrium modeling of Pb(II) ions adsorption on hydroxyapatite scaffold: Batch and fixed-bed column studies. *Separation and Purification Technology*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127141>
- Hart, A., Ebiundu, K., Peretomode, E., Onyeaka, H., Nwabor, O., & Obileke, K. (2022). Value-added materials recovered from waste bone biomass: technologies and applications. *RSC Advances*, 12(34), 22302–22330. <https://doi.org/10.1039/d2ra03557j>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. 714.
- Hussain, M., Khatoon, S., Nizami, G., Fatma, U., Ali, M., Singh, B., Quraishi, A., Assiri, M., Ahamad, S., & Saquib, M. (2024). Unleashing the power of bio-adsorbents: Efficient heavy metal removal for sustainable water purification. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 64). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105705>
- INEI. (2022). Puno compendio estadístico 2022. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4438533/Compendio%20Estad%20C3%20ADstico%20C%20Puno%202022.pdf>
- Jagadeesh, N., & Sundaram, B. (2023). Adsorption of Pollutants from Wastewater by Biochar: A Review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9(May 2022), 100226. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100226>
- Jiang, J., Shi, Y., Ma, N., Ye, H., Verma, M., Ng, H., & Ge, S. (2024). Utilizing adsorption of wood and its derivatives as an emerging strategy for the treatment of heavy metal-

- contaminated wastewater. In *Environmental Pollution* (Vol. 340). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122830>
- Kayastha, V., Patel, J., Kathrani, N., Varjani, S., Bilal, M., Show, P., Kim, S., Bontempi, E., Bhatia, S., & Bui, X. (2022). New Insights in factors affecting ground water quality with focus on health risk assessment and remediation techniques. *Environmental Research*, 212(PA), 113171. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113171>
- Kumar, R., Patel, M., Singh, P., Bundschuh, J., Pittman, C., Trakal, L., & Mohan, D. (2019). Emerging technologies for arsenic removal from drinking water in rural and peri-urban areas: Methods, experience from, and options for Latin America. *Science of the Total Environment*, 694. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.233>
- Kurniawan, T., Lo, W., Liang, X., Goh, H., Othman, M., Chong, K., & Chew, K. (2023). Remediation technologies for contaminated groundwater due to arsenic (As), mercury (Hg), and/or fluoride (F): A critical review and way forward to contribute to carbon neutrality. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 314). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123474>
- Lapworth, D., Boving, T., Kremer, D., Kebede, S., & Smedley, P. (2022). Groundwater quality: Global threats, opportunities and realising the potential of groundwater. *Science of the Total Environment*, 811, 152471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152471>
- Levizzani, V., & Cattani, E. (2019). Satellite remote sensing of precipitation and the terrestrial water cycle in a changing climate. *Remote Sensing*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/rs11192301>
- Li, Y., Liu, J., Wei, B., Zhang, X., Liu, X., & Han, L. (2024). A comprehensive review of bone char: Fabrication procedures, physicochemical properties, and environmental application. In *Science of the Total Environment* (Vol. 954). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176375>
- Litter, M., Morgada, M., & Bundschuh, J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. *Environmental Pollution*, 158(5), 1105–1118. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.01.028>
- Liu, J., Huang, X., Liu, J., Wang, W., Zhang, W., & Dong, F. (2014). Adsorption of arsenic(V) on bone char: Batch, column and modeling studies. *Environmental Earth Sciences*, 72(6), 2081–2090. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3116-x>
- Liu, J., Jia, H., Xu, Z., Wang, T., Mei, M., Chen, S., Li, J., & Zhang, W. (2023). An impressive pristine biochar from food waste digestate for arsenic(V) removal from

- water: Performance, optimization, and mechanism. *Bioresource Technology*, 387(July), 129586. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129586>
- Malaga, J. (2023). Contenido de arsénico, conocimiento y actitud en el consumo del agua de pozo familiar. *Vive Revista de Salud*, 6(18), 802–814. <https://doi.org/10.33996/revistavive.v6i18.264>
- Mamani, W. (2019). Determinación de la concentración de arsénico (As) total en las aguas subterráneas de pozos tubulares en el distrito de Juliaca y medidas de mitigación. *Tesis de Maestría*, Universidad Nacional de San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8865>
- M.C. de Meyer, C., Rodríguez, J., Carpio, E., García, P., Stengel, C., & Berg, M. (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>
- Medellín, N., Cruz, S., Leyva, R., Moreno, J., Torres, A., Giraldo, L., Labrada, G., Pérez, R., Rodríguez, J., Reyes, S., & Berber, M. (2020). Use of bone char prepared from an invasive species, pleco fish (*Pterygoplichthys* spp.), to remove fluoride and Cadmium(II) in water. *Journal of Environmental Management*, 256(May 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109956>
- Medellín, N., González, L., Thiodjio-Sendja, B., Aguilera-Flores, M., Leyva-Ramos, R., Reyes-López, S., de León-Martínez, L., & Dias, J. (2023). Bone char for water treatment and environmental applications: A review. In *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (Vol. 175). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106161>
- MINSA. (2011). Decreto Supremo N° 031-2010-SA Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Dirección General de Salud Ambiental - Lima: Ministerio de Salud*, 1–46. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Mishra, R., Kumar, D., Narula, A., & Chistie, S. (2023). Production and beneficial impact of biochar for environmental application : A review on types of feedstocks , chemical compositions , operating parameters , techno-economic study , and life cycle assessment. *Fuel*, 343(March), 127968. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127968>
- Mlilo, T., Brunson, L., & Sabatini, D. (2010). *Arsenic and fluoride removal using simple materials*. <https://doi.org/10.1061/ASCEEE.1943-7870.0000154>
- Mukherjee, A., Sarkar, S., Coomar, P., & Bhattacharya, P. (2023). Towards clean water: Managing risk of arsenic-contaminated groundwater for human consumption. In

- Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 36, p. 2486). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100509>
- Muretta, J., Prieto-Centurion, D., LaDouceur, R., & Kirtley, J. (2022). Unique Chemistry and Structure of Pyrolyzed Bovine Bone for Enhanced Aqueous Metals Adsorption. *Waste and Biomass Valorization*, *14*(3), 703–722. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01895-7>
- Pardo, M., Arruda, S., & Ulson, A. (2014). Study of lead (II) adsorption onto activated carbon originating from cow bone. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.020>
- Patel, S., Han, J., Qiu, W., & Gao, W. (2015). Synthesis and characterisation of mesoporous bone char obtained by pyrolysis of animal bones, for environmental application. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *3*(4), 2368–2377. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.07.031>
- Peukert, W., Mehler, C., & Götzinger, M. (2001). Application of adsorption and adhesion measurements for particle surface characterization. *Particle and Particle Systems Characterization*, *18*(5–6), 229–234. [https://doi.org/10.1002/1521-4117\(200112\)18:5/6<229::aid-ppsc229>3.3.co;2-g](https://doi.org/10.1002/1521-4117(200112)18:5/6<229::aid-ppsc229>3.3.co;2-g)
- Pinto, J., Boavida, R., Matos, H., & Azevedo, J. (2022). Analysis of the Food Loss and Waste Valorisation of Animal By-Products from the Retail Sector. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(5), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su14052830>
- Quille, Y. (2022). Evaluación de la calidad de aguas subterráneas para su potabilización unifamiliar en zonas de expansion noreste dela ciudad de Juiaca. *Tesis*, 1–168. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quispe, I., Ccama, J., Turpo, R., Vigo, J., Lozada, R., Argota, G., & Prada, S. (2022). Ingeniería de tratamiento para la filtración y remoción del arsénico en las aguas subterráneas mediante zeolitas naturales. *Campus*, *27*(33), 43–56. <https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n33.03>
- Ramanan, S., Mkongo, G., Zhang, Q., Wen, H., Mtaló, F., & Shen, J. (2022). Assessing the environmental impact of bone char production by in-situ emission monitoring and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132974>
- Ratnayake, J., Ross, E., Dias, G., Shanafelt, K., Taylor, S., Gould, M., Guan, G., & Cathro, P. (2020). Preparation, characterisation and in-vitro biocompatibility study of a bone

- graft developed from waste bovine teeth for bone regeneration. *Materials Today Communications*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100732>
- Ray, S., & Das, G. (2020). *Equipos de Proceso y Diseño de Plantas_Adsorción*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814885-3.00012-9>
- Rodrigues, F., Rezende, V., Guimarães, R., Moser, P., & Santos, A. (2024). Arsenic in natural waters of Latin-American countries: Occurrence, risk assessment, low-cost methods, and technologies for remediation. *Process Safety and Environmental Protection*, 184(August 2023), 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.11.075>
- Schweitzer, L., & Noblet, J. (2018). Water Contamination and Pollution. *Green Chemistry: An Inclusive Approach*, 261–290. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X>
- Selvamuthu, D., & Das, D. (2018). Introduction to statistical methods, design of experiments and statistical quality control. *Singapore: Springer Singapore*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-1736-1>
- Sevak, P., & Pushkar, B. (2024). Arsenic pollution cycle, toxicity and sustainable remediation technologies: A comprehensive review and bibliometric analysis. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 349). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119504>
- Shahid, M., Kim, J., Shin, G., & Choi, Y. (2020). Effect of pyrolysis conditions on characteristics and fluoride adsorptive performance of bone char derived from bone residue. *Journal of Water Process Engineering*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101499>
- Shakoor, M., Niazi, N., Bibi, I., Shahid, M., Saqib, Z., Nawaz, M., Shaheen, S., Wang, H., Tsang, D., Bundschuh, J., Ok, Y., & Rinklebe, J. (2019). Exploring the arsenic removal potential of various biosorbents from water. *Environment International*, 123(January), 567–579. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.049>
- Sharma, G., Verma, Y., Lai, C., Naushad, M., Iqbal, J., Kumar, A., & Dhiman, P. (2024). Biochar and biosorbents derived from biomass for arsenic remediation. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 17). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36288>
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Taylor, J., & Masoudi, S. (2023). Carbonaceous adsorbents in the removal of aquaculture pollutants: A technical review of methods and mechanisms. In *Ecotoxicology and*

- Environmental Safety* (Vol. 266). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115552>
- Tito, J., Quispe, R., Contreras, A., Casani, M., Huayhua, E., & Zegarra, J. (2020). Nivel de satisfacción del servicio de agua potable en la ciudad de Juliaca, el caso de la urbanización Jorge Chávez. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 3(Vol. 3, Num. 1), 97–102. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.131>
- Torregroza, A., Mera, E., Valbuena, D., Márquez, L., & Bejarano, F. (2018). Contamination Level and Spatial Distribution of Heavy Metals in Water and Sediments of El Guájaro Reservoir, Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 101(1), 61–67. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2365-x>
- Trick, J., Stuart, M., & Reeder, S. (2024). Contaminated groundwater sampling and quality control of water analyses. In *Environmental Geochemistry: Site Characterization, Data Analysis, Case Histories, and Associated Health Issues* (pp. 35–62). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13801-0.00024-4>
- UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la C. y la C. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ed.; Vol. 385).
- Urviola, A., & Vera, L. (2019). Determinación de las condiciones óptimas de adsorción de arsénico sobre cáscara de huevo en una solución sintética para su aplicación en aguas del río Tambo evaluando el efecto de la matriz de composición. *Tesis de Pregrado*, Universidad Nacional de San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/11425>
- U.S. EPA. (1982). Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 4.4. *U. S. Environmental Protection Agency-Cincinnati*, 1–58. <https://www.epa.gov/esam/method-2007-determination-metals-and-trace-elements-water-and-wastes-inductively-coupled>
- U.S. EPA. (2013). Groundwater Sampling. *Science and Ecosystem Support Division*, 1–31. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/Groundwater-Sampling.pdf>
- Valskys, V., Hassan, H., Wołkowicz, S., Satkūnas, J., Kibirkštis, G., & Ignatavičius, G. (2022). A Review on detection techniques, health hazards and human health risk assessment of arsenic pollution in soil and groundwater. *Minerals*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/min12101326>

- Velásquez, A. (2019). Eficiencia de la electrocoagulación para aguas contaminadas por residuales. *Universidad Científica Del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental.*, 1–126.
- Vilca, K., Rodríguez, S., Atarama, U., Cueva, C., Concha, W., Atausupa, M., & Gosgot, W. (2022). Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1), 43. <https://doi.org/10.25127/aps.20221.854>
- Villela-Martínez, D., Leyva-Ramos, R., Aragón-Piña, A., & Navarro-Tovar, R. (2020). Arsenic Elimination from Water Solutions by Adsorption on Bone Char. Effect of Operating Conditions and Removal from Actual Drinking Water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(5). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04596-w>
- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390(January), 122156. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122156>
- Wei, B., Yin, S., Yu, J., Yang, L., Wen, Q., Wang, T., & Yuan, X. (2023). Monthly variations of groundwater arsenic risk under future climate scenarios in 2081–2100. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(58), 122230–122244. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30965-z>
- Yernaïdu, J., & Tripathi, A. (2021). Experimental investigation on the proneness of coal samples to spontaneous heating using proximate analysis and crossing point temperature method. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3387–3391. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.165>

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 1. Recolección del material precursor



Figura 2. Limpieza del material precursor



Figura 3. Huesos vacunos reducidos a segmentos pequeño y secado en la estufa eléctrica a 105 °C



Figura 4. Tratamiento de las soluciones acuosas y con los huesos vacunos carbonizado a diferentes temperaturas



Figura 5. Tratamiento de las soluciones a través de procesos de adsorción discontinua



Figura 6. Filtración de la muestras tratadas y envío al laboratoeio analiticos del sur



Figura 7. Muestreo de las aguas subterráneas MA001 y MA003

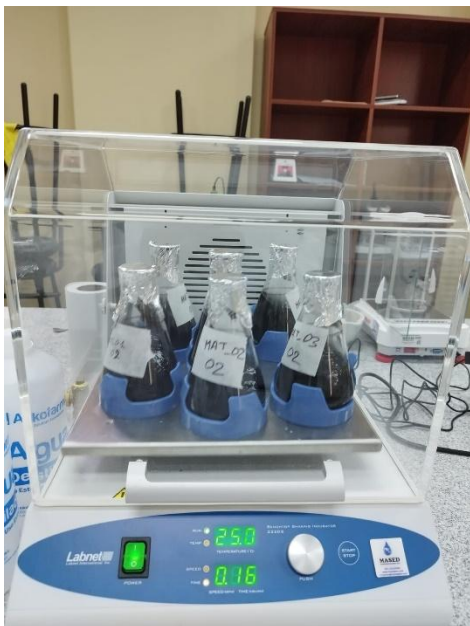


Figura 8. Tratamiento de las muestras de agua subterráneas y envío al laboratorio analíticos del sur

Anexo 2. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes huesos carbonizados.

El cálculo del porcentaje de adsorción de As (V) influenciado por el hueso carbonizado BC500, BC700, BC800 y BC900, se ha determinado mediante ecuación 6. Empleando los resultados de la concentración residual ($C_{\text{solución}}$) del anexo 12.

- Ecuación para determinar el porcentaje de As (V) adsorbido

$$\% \text{ Ads de As (V)} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} * 100 \quad (6)$$

Tabla A1.

Cálculo del porcentaje de adsorción As (V)

Corridas experimentales N.º	Hueso Carbonizado	C_{inicial} (mg/L)	$C_{\text{solución}}$ (mg/L)	$C_{\text{adsorbido}}$ (mg/L)	y_{ij}	Adsorción (%)
1	BC500	1.00	0.6783	0.3217	$y_{11} =$	32.17
2	BC500	1.00	0.6961	0.3039	$y_{12} =$	30.39
3	BC500	1.00	0.6697	0.3303	$y_{13} =$	33.03
4	BC700	1.00	0.7255	0.2745	$y_{21} =$	27.45
5	BC700	1.00	0.7076	0.2924	$y_{22} =$	29.24
6	BC700	1.00	0.7080	0.2920	$y_{23} =$	29.20
7	BC800	1.00	0.7350	0.2650	$y_{31} =$	26.50
8	BC800	1.00	0.7590	0.2410	$y_{32} =$	24.10
9	BC800	1.00	0.7015	0.2985	$y_{33} =$	29.85
10	BC900	1.00	0.3571	0.6429	$y_{41} =$	64.29
11	BC900	1.00	0.3168	0.6832	$y_{42} =$	68.32
12	BC900	1.00	0.314	0.6858	$y_{43} =$	68.58

Anexo 3. Análisis de varianza de un solo factor efecto de hueso vacuno carbonizado en la adopción de As (V).

3.1. Prueba de hipótesis para el efecto del hueso carbonizado a diferentes temperaturas en la adsorción de As (V)

3.1.1. Enunciado de las hipótesis

H_0 : El hueso carbonizado a cuatro diferentes temperaturas de pirólisis (BC500, BC700, BC800 y BC900) no tiene efecto en la eficiencia de adsorción de As (V).

H_A : Al menos uno de los huesos carbonizados (BC500, BC700, BC800 y BC900) tiene efecto en la adsorción de As (V)

3.1.2. Criterios de rechazo de la hipótesis nula (H_0)

- Para estadístico de prueba (F_0) contra el valor crítico ($F_{\alpha, a-1, N-a}$)

Se rechaza la H_0 : $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$

- Para el valor de probabilidad (valor-p) contra el nivel de significancia prefijada ($\alpha = 0.05$)

Se rechaza la H_0 : Valor-p $< \alpha = 0.05$

3.2. Análisis de varianza de un solo factor: Efecto del hueso vacuno carbonizado

Tabla A2

Análisis de varianza para el efecto del hueso vacuno carbonizado en la adsorción de As (V)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F_0	Valor -p	$F_{\text{Crítico}}$
Hueso carbonizado	3281.38	3	1093.79	257.61	2.7E-8 *	4.07
Error	33.97	8	4.25			
Total	3315.34	11				

* Existe un efecto significativo (valor $p < 0.01$)

Según el análisis estadístico de la tabla A2, realizado con nivel de significancia del 5 %, se rechaza la hipótesis nula (H_0), debido a que el estadístico de prueba fue mayor que el valor crítico, tal como se puede apreciar en la figura A1, por lo que se concluye de que, al menos uno de los huesos carbonizados (BC500, BC700, BC800 y BC900) tiene un efecto en la adsorción de As (V). Por lo tanto, se realizó la prueba Tukey post hoc.

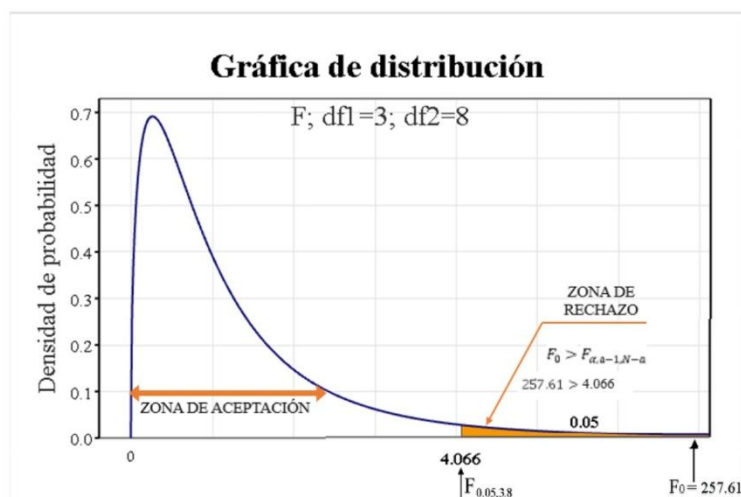


Figura A1: Gráfica de distribución F

3.3. Prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD de Tukey)

En la tabla A3 se muestra el análisis de la prueba Tukey para el efecto del hueso carbonizado a diferentes temperaturas de pirólisis en el porcentaje de adsorción de As (V). Los valores -p para el BC900 y BC500, BC700, BC800, son menores a 0.05, por lo tanto, representa una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia de adsorción de As (V).

Tabla A3

Prueba simultanea de Tukey para la diferencia de medias

Diferencia	Diferencia de las medias	Error estándar	IC del 95%		Valor -p	Decisión
			Inferior	superior		
BC700- BC500	-3.23	1.68	(-8.62	2.16)	0.292	No significativo
BC800-BC500	-5.05	1.68	(-10.44	0.34)	0.067	No significativo
BC900 -BC500	35.20	1.68	(29.81	40.59)	9.920e ⁻⁶	significativo
BC800-BC700	-1.81	1.68	(-7.20	3.58)	0.712	No significativo
BC900-BC700	38.43	1.68	(33.04	43.82)	9.906e ⁻⁶	significativo
BC900-BC800	40.25	1.68	(34.86	45.64)	9.904e ⁻⁶	significativo

Asimismo, los intervalos de confianza de los demás pares medias incluyen el cero, lo que indica que las diferencias no son estadísticamente significativas. Él también se puede apreciar en la tabla A4. El hueso vacuno carbonizado a 900 °C (BC900) no comparte una letra, lo que indica que la BC900 posee un efecto significativamente mayor en la adsorción de As (V), que a diferencia de los demás huesos carbonizados.

Tabla A4.

Agrupamiento de las medias del porcentaje de adsorción A_s (V) para los huesos vacunos carbonizados

Método		: Tukey con un 95 % de confianza	
Hueso carbonizado	N	Media $\bar{y}_{i\bullet}$	Agrupación
BC900	3	67.06	a
BC500	3	31.86	b
BC700	3	28.63	b
BC800	3	26.82	b

Las medias del porcentaje de adsorción de arsénico en los huesos vacunos carbonizados que no comparten una letra son significativamente diferentes entre sí.

3.4. Validación de los datos

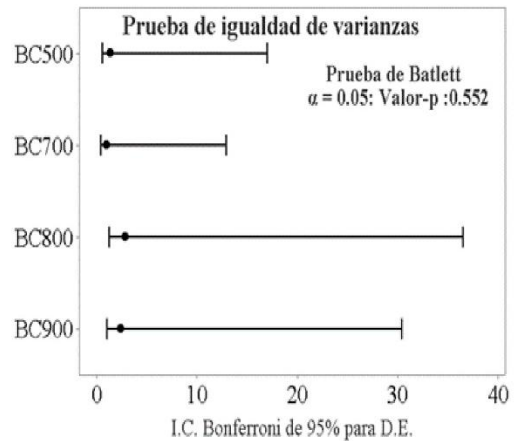
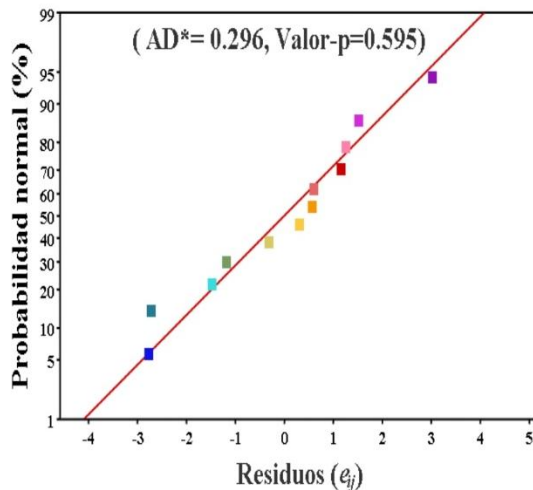


Figura A2: Gráfico de probabilidad normal de los residuos (e_{ij})

Figura A3: Gráfico de la prueba de Bartlett

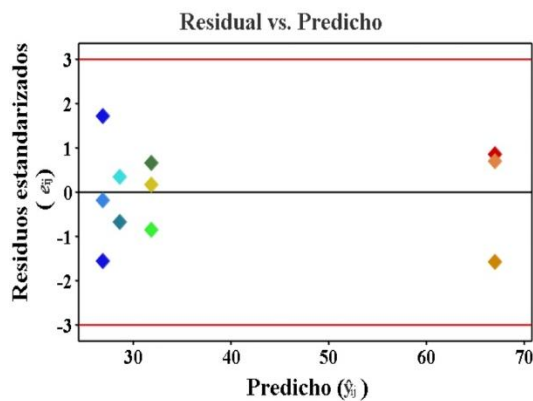


Figura A4: Gráfico de los residuos estandarizados

Anexo 4. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes dosis de adsorbente.

Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción de As (V)

El cálculo del porcentaje de adsorción de As (V) influenciado por dosis de adsorbente, se ha determinado mediante ecuación 7. Empleando los resultados de la concentración residual ($C_{\text{solución}}$) del anexo 13.

- Ecuación para determinar el porcentaje de As (V) adsorbido

$$\% \text{ Ads de As (V)} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} * 100 \quad (7)$$

Tabla A5.

Cálculo de la variable de respuesta (y_{ij}) % de adsorción As (V)

Corridas experimentales Nº	Dosis de adsorbente (g/L)	C_{inicial} (mg/L)	$C_{\text{solución}}$ (mg/L)	$C_{\text{adsorbido}}$ (mg/L)	y_{ij}	Adsorción (%)
1	2	1.00	0.6296	0.3704	$y_{11} =$	37.04
2	2	1.00	0.6247	0.3753	$y_{12} =$	37.53
3	2	1.00	0.6272	0.3728	$y_{13} =$	37.28
4	3	1.00	0.4878	0.5122	$y_{21} =$	51.22
5	3	1.00	0.4800	0.5200	$y_{22} =$	52.00
6	3	1.00	0.4791	0.5209	$y_{23} =$	52.09
7	4	1.00	0.4753	0.5247	$y_{31} =$	52.47
8	4	1.00	0.4735	0.5265	$y_{32} =$	52.65
9	4	1.00	0.4557	0.5443	$y_{33} =$	54.43
10	5	1.00	0.3571	0.6429	$y_{41} =$	64.29
11	5	1.00	0.3168	0.6832	$y_{42} =$	68.32
12	5	1.00	0.3142	0.6858	$y_{43} =$	68.58
13	6	1.00	0.3413	0.6587	$y_{51} =$	65.87
14	6	1.00	0.3259	0.6741	$y_{52} =$	67.41
15	6	1.00	0.3330	0.6670	$y_{53} =$	66.70
16	7	1.00	0.3124	0.6876	$y_{61} =$	68.76
17	7	1.00	0.2927	0.7073	$y_{62} =$	70.73
18	7	1.00	0.3027	0.6973	$y_{63} =$	69.73
19	8	1.00	0.3843	0.6157	$y_{71} =$	61.57
20	8	1.00	0.3964	0.6036	$y_{72} =$	60.36
21	8	1.00	0.4722	0.5778	$y_{73} =$	57.78

Anexo 5. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción de As (V).

5.1. Prueba de hipótesis para el efecto de la dosis adsorbente en la adsorción de As (V)

5.1.1. Enunciado de las hipótesis

H₀: El aumento de la dosis de adsorbente (2 a 8 g/L) no efecto en el porcentaje de adsorción de As (V).

H_A: Al menos uno de las dosis de adsorbente tiene efecto en la adsorción de As (V)

5.1.2. Criterios de rechazo de la hipótesis nula (H₀)

- Para estadístico de prueba (F_0) contra el valor crítico ($F_{\alpha, a-1, N-a}$)

Se rechaza la H_0 : $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$

- Para el valor de probabilidad (valor-p) contra el nivel significancia prefijada ($\alpha = 0.05$)

Se rechaza la H_0 : Valor-p $< \alpha = 0.05$

5.2. Análisis de varianza de un solo factor: Efecto de la dosis de adsorbente

Tabla A6

Análisis de varianza para el efecto de dosis de adsorbente en la adsorción de As (V)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F ₀	Valor -p	F _{Crítico}
Dosis de adsorbente	2369.28	6	394.880	220.08	4.94e ⁻¹³	2.85
Error	25.12	14	1.794			
Total	2394.40	20				

* Existe un efecto significativas (valor-p<0.01)

Los resultados de la prueba ANOVA , presentados en la tabla A6, indican que el porcentaje de adsorción de As (V) se ve afectado significativamente por las diferentes dosis de adsorbentes de hueso carbonizado a 900 °C, debido a que el Valor -p $< \alpha = 0.05$, por lo que se rechaza la H_0 . En figura A5, se observa que el valor estadístico de prueba ($F_0 = 220.08$) es considerablemente mayor que el valor crítico ($F_{0.05,6,14} = 2.85$) lo que refuerza la conclusión de que existen un efecto significativo. Por lo tanto, se realizó la prueba Tukey post hoc.

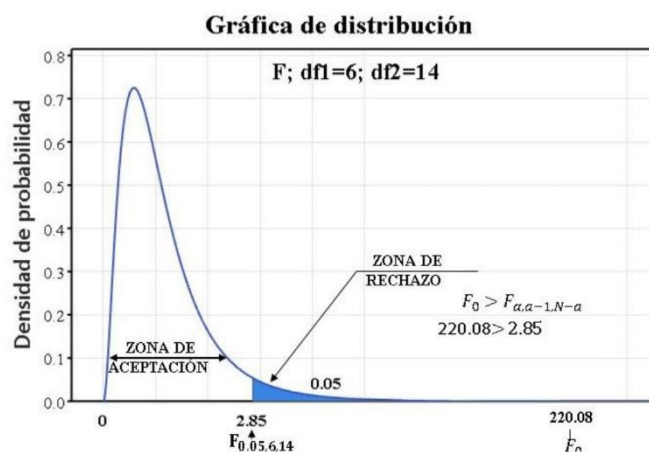


Figura A5: Grafica de distribución F

5.3. Prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD de Tukey)

Al realizar la prueba HSD de Tukey se observó que con un nivel de confianza de 95%, el porcentaje de adsorción de As (V), no son estadísticamente significativos para las dosis de 5 g/L, 6g/L y 7 g/L, debido a que las letras sobrepuestas son iguales, tal como se muestra en la tabla A7, sin embargo para las dosis 8 g/L y 7g/L, son significativamente diferentes, Con base en estos resultados, se seleccionó que la dosis de 7 g/L de BC900 resultó ser más favorables para las siguientes pruebas experimentales.

Tabla A7.

Agrupamiento de las medias del porcentaje de adsorción As (V) para las dosis de adsorbente

Método		Tukey con un 95 % de confianza	
Dosis de adsorbente	N	Media	Agrupación
		\bar{y}_i	
7 g/L	3	69.74	a
5 g/L	3	67.06	a
6 g/L	3	66.66	a
8 g/L	3	59.90	b
4 g/L	3	53.18	c
3 g/L	3	51.77	c
2 g/L	3	37.28	d

Las medias del porcentaje de adsorción de arsénico para las distintas dosis de adsorbente que no comparten una letra son significativamente diferentes entre sí

5.4. Validación de los datos

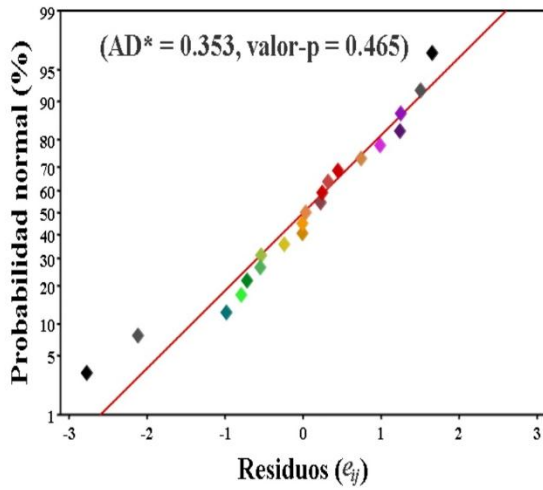


Figura A6: Gráfico de probabilidad normal de los residuos (e_{ij})

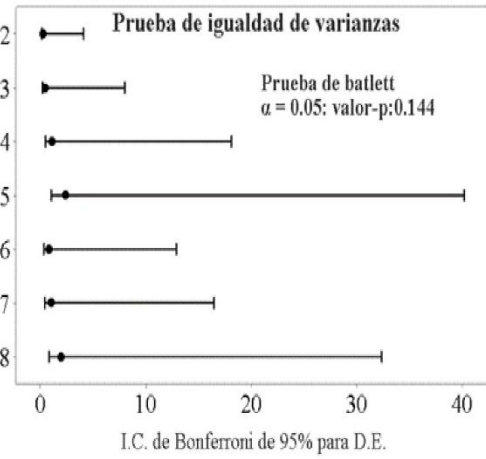


Figura A7: Gráfico de la prueba de Bartlett

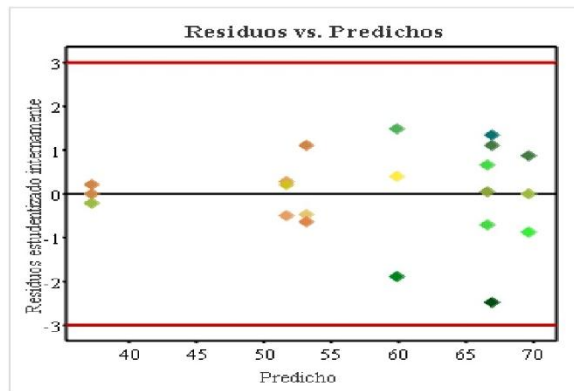


Figura A8: Gráfico de los residuos estandarizados

Anexo 6. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes pH.

Efecto del pH en la adsorción de As (V)

El cálculo del porcentaje de adsorción de As (V) influido por el pH, se ha determinado mediante ecuación 8. Empleando los resultados de la concentración residual ($C_{\text{solución}}$) del anexo 14.

- Ecuación para determinar el porcentaje de As (V) adsorbido

$$\% \text{ Ads de As (V)} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} * 100 \quad (8)$$

Tabla A8.

Cálculo de la variable de respuesta (y_{ij}) % de adsorción As (V)

Corridas experimentales Nº	pH	C_{inicial} (mg/L)	$C_{\text{solución}}$ (mg/L)	$C_{\text{adsorbido}}$ (mg/L)	y_{ij}	Adsorción (%)
1	3	1.00	0.1481	0.8519	$y_{11} =$	85.19
2	3	1.00	0.1495	0.8505	$y_{12} =$	85.05
3	3	1.00	0.1434	0.8566	$y_{13} =$	85.66
4	4	1.00	0.2086	0.7914	$y_{21} =$	79.14
5	4	1.00	0.2302	0.7698	$y_{22} =$	76.98
6	4	1.00	0.2543	0.7457	$y_{23} =$	74.57
7	5	1.00	0.2379	0.7621	$y_{31} =$	76.21
8	5	1.00	0.2331	0.7669	$y_{32} =$	76.69
9	5	1.00	0.2958	0.7042	$y_{33} =$	70.42
10	6	1.00	0.3716	0.6284	$y_{41} =$	62.84
11	6	1.00	0.3726	0.6274	$y_{42} =$	62.74
12	6	1.00	0.3910	0.6090	$y_{43} =$	60.9
13	7	1.00	0.3124	0.6876	$y_{51} =$	68.76
14	7	1.00	0.2927	0.7073	$y_{52} =$	70.73
15	7	1.00	0.3027	0.6973	$y_{53} =$	69.73
16	8	1.00	0.2551	0.7449	$y_{61} =$	74.49
17	8	1.00	0.2654	0.7346	$y_{62} =$	73.46
18	8	1.00	0.2494	0.7506	$y_{63} =$	75.06
19	9	1.00	0.2512	0.7488	$y_{71} =$	74.88
20	9	1.00	0.2444	0.7556	$y_{72} =$	75.56
21	9	1.00	0.2591	0.7409	$y_{73} =$	74.09

Anexo 7. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto del pH en la adsorción de As (V).

7.1. Prueba de hipótesis para el efecto del pH en la adsorción de As (V)

7.1.1. Enunciado de las hipótesis

H₀: La variación de pH en los valores de 3 a 9 no efecto en el porcentaje de adsorción de As (V).

H_A: Al menos uno de los valores de pH tiene efecto en la adsorción de As (V)

7.1.2. Criterios de rechazo de la hipótesis nula (H₀)

- Para estadístico de prueba (F_0) contra el valor crítico ($F_{\alpha, a-1, N-a}$)

Se rechaza la H_0 : $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$

- Para el valor de probabilidad (valor-p) contra el nivel significancia prefijada ($\alpha = 0.05$)

Se rechaza la H_0 : Valor-p $< \alpha = 0.05$

7.2. Análisis de varianza de un solo factor: Efecto del pH

Tabla A9.

Análisis de varianza de los resultados del efecto del pH de la solución en la Adsorción de As (V)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F ₀	Valor -p	F _{Crítico}
pH	88.265	6	147.710	49.55	1.24e ⁻⁸	4.07
Error	41.74	14	2.981			
Total	928.00	20				

* Existen diferencias significativas (p<0.05)

La tabla A9, muestra los resultados del análisis de varianza del efecto del pH de solución en el porcentaje de adsorción de As (V), en que se demostró que la interacción entre media del porcentaje de adsorción fue significativamente diferente para los pH de la solución (valor p<0.05).

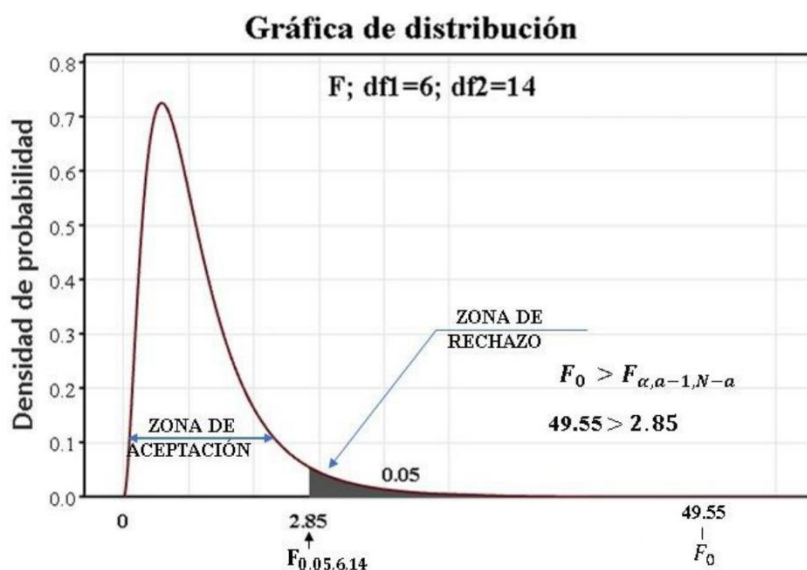


Figura A9: Gráfica de distribución F

5.3. Prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD de Tukey)

La prueba HSD de Tukey, como se muestra en Tabla A10, el porcentaje de eliminación de As (V) fue significativamente diferente entre los valores de pH, excepto entre 5-4, 8-4, 9-4, 8-5, 9-5 y 9-8. Dando que el porcentaje de adsorción mayor a pH 3, Begum et al. (2016) también señalaron el efecto significativo del pH de solución (Valor $-p < 0.05$) en el porcentaje de adsorción As (V), logrando obtener una mayor adsorción a pH de 4.

Tabla A10.

Agrupamiento de las medias del porcentaje de adsorción As (V) para pH de la solución

Método	Tukey con un 95 % de confianza		
pH de la solución	N	Media $\bar{y}_{i\bullet}$	Agrupación
3	3	85.30	a
4	3	76.90	b
9	3	74.84	b
5	3	74.44	b c
8	3	74.34	b c
7	3	69.74	c
6	3	62.16	d

Las medias del porcentaje de adsorción de arsénico para los diferentes pH de la solución que no comparten una letra son significativamente diferentes entre sí

5.4. Validación de los datos

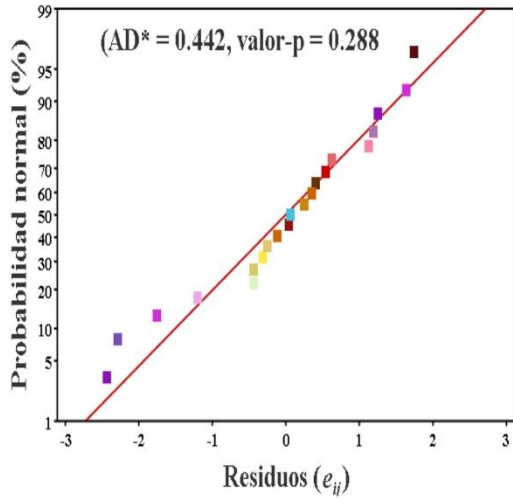


Figura A10: Gráfico de probabilidad normal de los residuos (e_{ij})

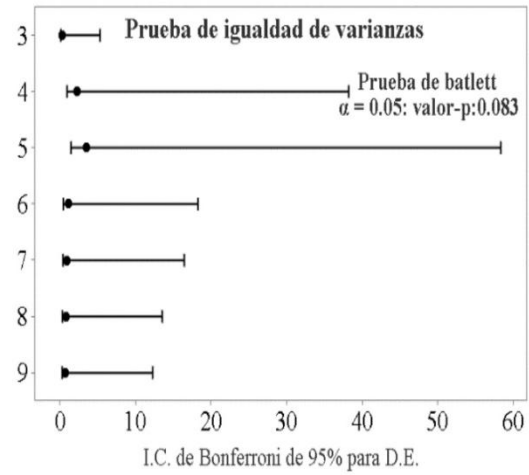


Figura A11. Gráfico de la prueba de Bartlett

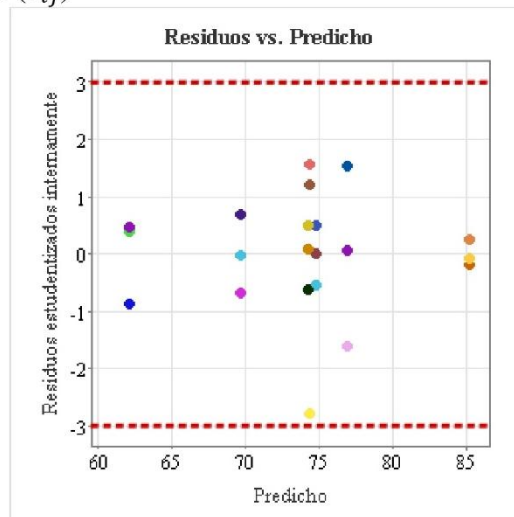


Figura A12: Gráfico de los residuos estandarizados

Anexo 8. Cálculo del porcentaje de adsorción del As (V) a diferentes tiempos de contactos.

Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V)

El cálculo del porcentaje de adsorción de As (V) a diferentes tiempos de contacto, se ha determinado mediante ecuación 9. Empleando los resultados de la concentración residual ($C_{\text{solución}}$) del anexo 15.

- Ecuación para determinar el porcentaje de As (V) adsorbido

$$\% \text{ Ads de As (V)} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{solución}}}{C_{\text{inicial}}} * 100 \quad (9)$$

Tabla A11.

Cálculo de la variable del porcentaje de adsorción de As (V)

Corridas experimentales Nº	Tiempo de contacto (min)	C_{inicial} (mg/L)	$C_{\text{solución}}$ (mg/L)	$C_{\text{adsorbido}}$ (mg/L)	y_{ij}	Adsorción (%)
1	10	1.00	0.684	0.3160	$y_{11} =$	31.60
2	10	1.00	0.6556	0.3444	$y_{12} =$	34.44
3	10	1.00	0.6436	0.3564	$y_{13} =$	35.64
4	30	1.00	0.5092	0.4908	$y_{21} =$	49.08
5	30	1.00	0.4854	0.5146	$y_{22} =$	51.46
6	30	1.00	0.4803	0.5197	$y_{23} =$	51.97
7	60	1.00	0.2577	0.7423	$y_{31} =$	74.23
8	60	1.00	0.2862	0.7138	$y_{32} =$	71.38
9	60	1.00	0.2785	0.7215	$y_{33} =$	72.15
10	90	1.00	0.1481	0.8519	$y_{41} =$	85.19
11	90	1.00	0.1495	0.8505	$y_{42} =$	85.05
12	90	1.00	0.1434	0.8566	$y_{43} =$	85.66
13	120	1.00	0.0587	0.9413	$y_{51} =$	94.13
14	120	1.00	0.0568	0.9432	$y_{52} =$	94.32
15	120	1.00	0.0624	0.9376	$y_{53} =$	93.76
16	150	1.00	0.0555	0.9445	$y_{61} =$	94.45
17	150	1.00	0.0561	0.9439	$y_{62} =$	94.39
18	150	1.00	0.0924	0.9076	$y_{63} =$	90.76
19	180	1.00	0.1897	0.8103	$y_{71} =$	81.03
20	180	1.00	0.1945	0.8055	$y_{72} =$	80.55
21	180	1.00	0.186	0.8140	$y_{73} =$	81.40

Anexo 9. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V).

9.1. Prueba de hipótesis para el efecto del tiempo de contacto en la adsorción de As (V)

9.1.1. Enunciado de las hipótesis

- H₀:** El tiempo de contacto a diferentes intervalos (10, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos) no influye en el porcentaje de adsorción de As (V).
- H_A:** Al menos uno de los tiempos de contacto (10, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos) tiene un efecto significativo en el porcentaje de adsorción de As (V).

9.1.2. Criterios de rechazo de la hipótesis nula (H₀)

- Para estadístico de prueba (F_0) contra el valor crítico ($F_{\alpha, a-1, N-a}$)
Se rechaza la H_0 : $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$
- Para el valor de probabilidad (valor-p) contra el nivel de significancia prefijada ($\alpha = 0.05$)
Se rechaza la H_0 : Valor-p $< \alpha = 0.05$

9.2. Análisis de varianza de un solo factor: Efecto del tiempo de contacto

Tabla A12.

Análisis de varianza para el efecto de tiempo de contacto en la adsorción de As (V)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F ₀	Valor- p	F _{Crítico}
Tiempo de contacto	9263.65	6	1543.94	789.54	1.00e ⁻¹⁶	4.07
Error	27.38	14	1.96			
Total	9291.02	20				

* Existen diferencias significativas (p<0.05)

La tabla A12 muestra los resultados de la prueba ANOVA, con el nivel de significancia del 5%, valor-p es menor que 0.05, por lo que la hipótesis nula se rechaza, y se acepta la hipótesis alterna H_A, es decir, de que al menos uno de los tiempos de contacto (10, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos) tiene un efecto significativo en el porcentaje de adsorción de As (V). Además, el valor estadístico de prueba ($F_0 = 789.54$) es considerablemente mayor que el valor crítico ($F_{0.05, 3, 8} = 4.066$) lo cual se concluye que si existen diferencias significativas. Tal como se muestra en figura A13.

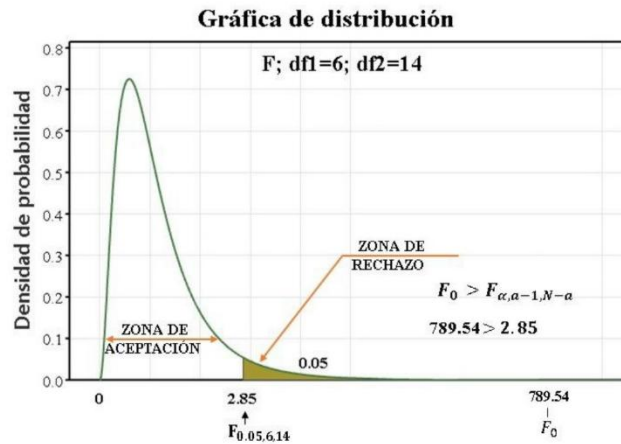


Figura A13: Grafica de distribución F

5.3. Prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD de Tukey)

Se realizó la prueba HSD de Tukey, como se muestra en la Tabla A13, y con un 95% de confianza se determinó que el tiempo de contacto 120 min tiene una media significativamente distinta y mayor que a los demás tiempos de contacto.

Tabla A13.

Agrupamiento de las medias del porcentaje de adsorción A_s (V) para tiempos de contactos

Método Tukey con un 95 % de confianza			
Tiempo de contacto	N	Media $\bar{y}_{i\bullet}$	Agrupación
120	3	94.07	a
150	3	93.20	a
90	3	85.30	b
180	3	80.99	c
60	3	72.59	d
30	3	50.84	e
10	3	33.89	f

Las medias del porcentaje de adsorción de arsénico para los diferentes tiempos de contacto que no comparten una letra son significativamente diferentes entre sí.

5.4. Validación de los datos

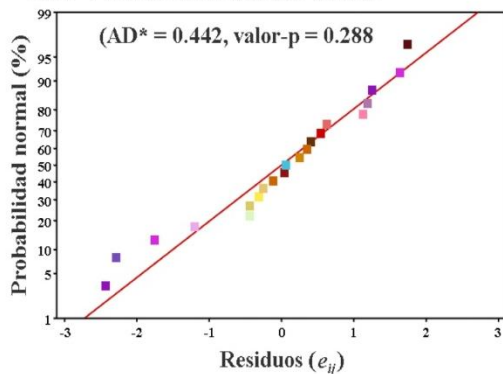


Figura A14: Gráfico de probabilidad normal de los residuos (e_{ij})

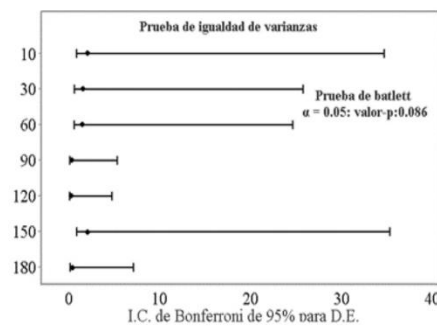


Figura A15. Gráfico de la prueba de Bartlett

Anexo 10. Informe de la producción del hueso vacuno carbonizado

Proceso de pirólisis realizado en el laboratorio de Ciencias Naturales de la Universidad Católica San Pablo de Arequipa

PROTOCOLO DE PIRÓLISIS DE HUESOS VACUNOS MOLIDOS

Fecha: 23/10/2023
Solicita: Persona natural
Atención: Kenyn Joel Paricoto León
Domicilio: Puno
Teléfono: +51 943 412 643
RUC: No aplica
Referencia: Cotización 018.INDECSO.DCN.2023
Muestra: Huesos vacunos molidos
Prueba: Pirólisis

Condiciones de ensayo:

- **Temperatura:** 500 °C, 700 °C, 800 °C y 900°C
- **Velocidad de calentamiento:** 10 °C/min
- **Isoterma:** 1 hora
- **Atmósfera:** Argón
- **N.º de corridas:** 2

Procedimiento

Las muestras de hueso de vacuno molido fueron depositadas por cada 100 gramos, en crisoles nuevos de alúmina de alta pureza para evitar contaminantes y cambios en la composición. Luego, las muestras se introdujeron en un horno tubular de alta temperatura de la marca XINKYO MODELO: SK2-12TPR SERIES 1200°C N° SERIE: D220514-10, el tubo del horno es de una composición de cuarzo con 10 mm de diámetro interno. El sistema fue cerrado herméticamente con un juego de bridas y juntas tóricas, para pasar un flujo continuo de argón de 0.2 LPM en el recinto y de esta manera barrer todo el oxígeno en el interior. Posterior al montaje y barrido de argón, se procedió con la configuración del controlador térmico de marca YUDIEN, según los parámetros indicados en "Condiciones de ensayo"



Fig. 1 Pesaje de la muestra



Fig. 2 Pesaje total de la muestra en un crisol



Fig. 3 Montaje de crisol en el horno

El perfil térmico que se siguió para la configuración, fue el siguiente:

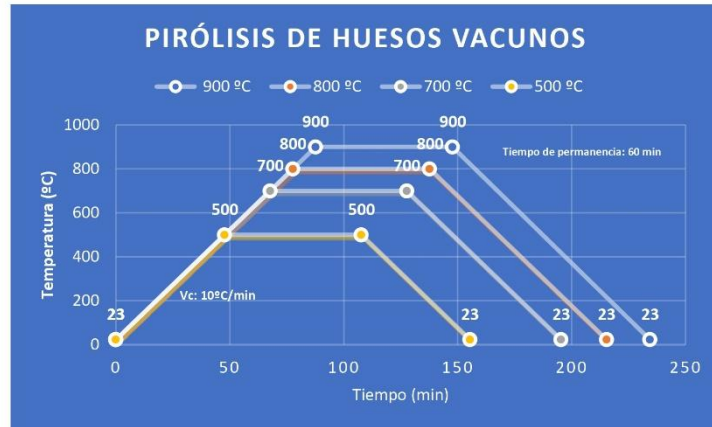


Fig. 6 Perfil térmico de las pirólisis efectuadas.

Características de la muestra después de la pirólisis

Luego de la pirólisis, se obtuvo una muestra con características carbonáceas.



Fig. 7 Hueso vacuno molido pirolizado.

Anexo 11. Informe de la preparación de la solución acuosa de arsénico realizado por Laboratorios Analíticos de Sur E.I.R. Ltda

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

CARTA LAS N° 24-025

Arequipa. 17 de julio de 2024

Señores: KENYN JOEL PARICOTO LEON

Dirección: PUNO

Presente.-

REFERENCIA: COTIZACION 23-PE-00076-01

De nuestra consideración:

Mediante la presente hago llegar un cordial saludo, a la vez hacer de su conocimiento que según la cotización de la referencia, se realizó la preparación de la solución de arsénico el día 07 de agosto del 2023 en la siguiente concentración:

Concentración = 1 mg/L de As: Cantidad 15 litros.

Realizando la solución en agua ultrapura y medio nítrico.

Es todo cuanto podemos informar sobre el servicio realizado.

Atentamente,


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 050

Clave generada : 9BB6C9F5

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00340

Fecha de emisión: 14/10/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG23000833	M0001	0,9933

Firmado por: JUANEF SOTO OMAH ALFREDO GERHARTE DE CONFIANCIAS ALBO Ingeniero Químico CIP 114426. Emisor de certificado: LAMAR, 14/10/2023 18:15:19


Laboratorios Analíticos del Sur EIRL
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 050

Clave generada : 9BB6C9F5

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00340

Fecha de emisión: 14/10/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
708	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Versión 4.6, Anexos Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) -Aa	[>0.0012 - 50] mg/L

• Límite de detección • Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JIMENEZ, SOTO OSOBA ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.S. Ingerente Química CIP 114276, Firmado digitalizado: LAMIA M. 14/10/2023 18:15:09

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>, Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

Validar el informe
vía WEB





Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 050

Clave generada : AD2BE796

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00339

Fecha de emisión: 14/10/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG23000621	BC500_01	0,6783
AG23000622	BC500_02	0,6961
AG23000623	BC500_03	0,6697
AG23000624	BC700_01	0,7255
AG23000625	BC700_02	0,7076
AG23000626	BC700_03	0,7080
AG23000627	BC800_01	0,7350
AG23000628	BC800_02	0,7590
AG23000629	BC800_03	0,7015
AG23000630	BC900_01	0,3571
AG23000631	BC900_02	0,3168
AG23000632	BC900_03	0,3142

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426; Emisor de certificado: LLAMA PE - 14/10/2023 18:14:53



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 050

Clave generada : AD2BE796

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00339

Fecha de emisión: 14/10/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[> 0.0012 - 50] mg/L

a : Límite de detección b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 14/10/2023 18:14:53

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 13. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto de la dosis de adsorbente



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 85C03CAD

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00354

Fecha de emisión: 2/11/2023

Página 1 de 3

Señores : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Dirección : JR J J CALLE 995 LAMPA - LAMPA - PUNO
Atención : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Proyecto : EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 226-23
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 24/10/2023
Fecha de ensayo : 24/10/2023
Nro de muestras : 18

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000692	T1-001	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	20/10/2023	10:48
AG23000693	T1-002	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	20/10/2023	10:51
AG23000694	T1-003	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	20/10/2023	10:55
AG23000695	T2-001	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	20/10/2023	11:01
AG23000696	T2-002	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	20/10/2023	11:07
AG23000697	T2-003	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	10:51
AG23000698	T3-001	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	10:56
AG23000699	T3-002	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:02
AG23000700	T3-003	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:09
AG23000701	T4-001	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:13
AG23000702	T4-002	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:20
AG23000703	T4-003	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	16/10/2023	11:27
AG23000704	T5-001	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	16/10/2023	11:30
AG23000705	T5-002	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:33
AG23000706	T5-003	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:39
AG23000707	T6-001	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:46
AG23000708	T6-002	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:50
AG23000709	T6-003	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	23/10/2023	11:53

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
-

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico OIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 2/11/2023 15:22:44

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a-Valor numérico"=Limite de detección del método, "b-Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Via web



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 85C03CAD

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00354

Fecha de emisión: 2/11/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG23000692	T1-001	0,6296
AG23000693	T1-002	0,6247
AG23000694	T1-003	0,6272
AG23000695	T2-001	0,4878
AG23000696	T2-002	0,4800
AG23000697	T2-003	0,4791
AG23000698	T3-001	0,4753
AG23000699	T3-002	0,4735
AG23000700	T3-003	0,4557
AG23000701	T4-001	0,3413
AG23000702	T4-002	0,3259
AG23000703	T4-003	0,3330
AG23000704	T5-001	0,3124
AG23000705	T5-002	0,2927
AG23000706	T5-003	0,3027
AG23000707	T6-001	0,3843
AG23000708	T6-002	0,3964
AG23000709	T6-003	0,4222

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA.PE. 2/11/2023 15:22:44



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe via web



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 85C03CAD

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00354

Fecha de emisión: 2/11/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[^a 0.0012 - 50] mg/L

^a : Límite detección

^b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA PE: 2/11/2023 15:22:44

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^a<Valor numérico>=Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico>=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 14. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto de pH de la solución



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**

Laboratorios Analíticos del Sur



Registro N° LC - 050

Clave generada : 2EFF0F95

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00377

Fecha de emisión: 24/11/2023

Página 1 de 3

Señores : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Dirección : JR J CALLE 995 LAMPA - LAMPA - PUNO
Atención : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Proyecto : EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 255-23
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 22/11/2023
Fecha de ensayo : 22/11/2023
Nro de muestras : 18

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000785	T1-001 (pH3)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:30
AG23000786	T1-002 (pH3)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:31
AG23000787	T1-003 (pH3)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:35
AG23000788	T2-001 (pH4)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:40
AG23000789	T2-002 (pH4)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:43
AG23000790	T2-003 (pH4)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:48
AG23000791	T3-001 (pH5)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:50
AG23000792	T3-002 (pH5)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	10:55
AG23000793	T3-003 (pH5)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	11:05
AG23000794	T4-001 (pH6)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	13:05
AG23000795	T4-002 (pH6)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	15:33
AG23000796	T4-003 (pH6)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	15:38
AG23000797	T5-001 (pH8)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	16:05
AG23000798	T5-002 (pH8)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	16:11
AG23000799	T5-003 (pH8)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	20/11/2023	16:12
AG23000800	T6-001 (pH9)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	21/11/2023	11:41
AG23000801	T6-002 (pH9)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	21/11/2023	11:48
AG23000802	T6-003 (pH9)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING AMBIENTAL Y FORESTAL	21/11/2023	11:51
Condiciones de recepción de la muestra						
Contenedor no refrigerado						
Observación						

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico, CIP 114426, Emisor de certificado: LUAMA PE, 24/11/2023, 16:22:51

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 2EFF0F95

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00377

Fecha de emisión: 24/11/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG23000785	T1-001 (pH.3)	0,1481
AG23000786	T1-002 (pH.3)	0,1495
AG23000787	T1-003 (pH.3)	0,1434
AG23000788	T2-001 (pH.4)	0,2086
AG23000789	T2-002 (pH.4)	0,2302
AG23000790	T2-003 (pH.4)	0,2543
AG23000791	T3-001 (pH.5)	0,2379
AG23000792	T3-002 (pH.5)	0,2331
AG23000793	T3-003 (pH.5)	0,2958
AG23000794	T4-001 (pH.6)	0,3716
AG23000795	T4-002 (pH.6)	0,3726
AG23000796	T4-003 (pH.6)	0,3910
AG23000797	T5-001 (pH.8)	0,2551
AG23000798	T5-002 (pH.8)	0,2654
AG23000799	T5-003 (pH.8)	0,2494
AG23000800	T8-001 (pH.9)	0,2512
AG23000801	T8-002 (pH.9)	0,2444
AG23000802	T8-003 (pH.9)	0,2591

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426. Emisor de certificado: LLAMA PE, 24/11/2023 16:22:51


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 050

Clave generada : 2EFF0F95

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00377

Fecha de emisión: 24/11/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[0.0012 - 50] mg/L

a : Limite detección

b : Limite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114428, Emisor de certificado: LLAMA PE, 24/11/2023 16:22:51

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 15. Informe de ensayo de las pruebas experimentales para determinar el efecto del tiempo de contacto



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Laboratorios Analíticos del Sur

Registro N.LC - 050

Clave generada : C77B128D

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00396

Fecha de emisión: 14/12/2023

Página 1 de 3

Señores : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Dirección : JR J J CALLE 995 LAMPA - LAMPA - PUNO
Atención : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Proyecto : EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : KENYN JOEL PARICOTO LEON **Fecha de recepción** : 11/12/2023
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 269-23 **Fecha de ensayo** : 11/12/2023
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente **Nro de muestras** : 18

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000837	T1-001 (TC:10)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	9:26
AG23000838	T1-002 (TC:10)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	9:27
AG23000839	T1-003 (TC:10)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	9:29
AG23000840	T2-001 (TC:30)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	9:45
AG23000841	T2-002 (TC:30)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	9:46
AG23000842	T2-003 (TC:30)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	9:51
AG23000843	T3-001 (TC:60)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	10:05
AG23000844	T3-002 (TC:60)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	10:08
AG23000845	T3-003 (TC:60)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	10:10
AG23000846	T4-001 (TC:120)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	10:32
AG23000847	T4-002 (TC:120)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	10:33
AG23000848	T4-003 (TC:120)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	6/12/2023	10:34
AG23000849	T5-001 (TC:150)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	7/12/2023	11:17
AG23000850	T5-002 (TC:150)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	7/12/2023	11:18
AG23000851	T5-003 (TC:150)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	7/12/2023	11:20
AG23000852	T6-001 (TC:180)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	7/12/2023	13:01
AG23000853	T6-002 (TC:180)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	7/12/2023	13:03
AG23000854	T6-003 (TC:180)	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNAJ SEDE AYABACAS / SAN MIGUEL / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE ING. AMBIENTAL Y FORESTAL	7/12/2023	13:05
Condiciones de recepción de la muestra						
Cooler refrigerado						
Observación						
-						

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico. CIP 114426. Emisor de certificado: LLAMA PE. 14/12/2023 15:23:02

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado

Clave generada : C77B128D

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00396


Fecha de emisión: 14/12/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG23000837	T1-001 (TC:10)	0,6840
AG23000838	T1-002 (TC:10)	0,6556
AG23000839	T1-003 (TC:10)	0,6436
AG23000840	T2-001 (TC:30)	0,5092
AG23000841	T2-002 (TC:30)	0,4854
AG23000842	T2-003 (TC:30)	0,4803
AG23000843	T3-001 (TC:60)	0,2577
AG23000844	T3-002 (TC:60)	0,2862
AG23000845	T3-003 (TC:60)	0,2785
AG23000846	T4-001 (TC:120)	0,0587
AG23000847	T4-002 (TC:120)	0,0568
AG23000848	T4-003 (TC:120)	0,0624
AG23000849	T5-001 (TC:150)	0,0555
AG23000850	T5-002 (TC:150)	0,0561
AG23000851	T5-003 (TC:150)	0,0924
AG23000852	T6-001 (TC:180)	0,1897
AG23000853	T6-002 (TC:180)	0,1945
AG23000854	T6-003 (TC:180)	0,1860

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES, M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 14/12/2023 15:23:02


Laboratorios Analíticos del Sur ELRL
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : C77B128D

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00396

Fecha de emisión: 14/12/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[0.0012 - 50] mg/L

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114428, Emisor de certificado: LLAMA PE, 14/12/2023 15:23:02

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 16. Informe de ensayo del análisis de espectrofotometría infrarroja antes y después del proceso de adsorción



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

INFORME DE ENSAYO N° 1276 - 24 - LABICER

1. **DATOS DEL CLIENTE**
 - 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : KENYN JOEL PARICOTO LEON
 - 1.2. D.N.I / R.U.C. : 72479238
 - 1.3. DIRECCIÓN : -
 - 1.4. PERSONA DE CONTACTO : Kenyn Joel Paricoto Leon
 - 1.5. CORREO ELECTRÓNICO : kj.paricotol@unaj.edu.pe
2. **FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME** : 16 / 12 / 2024
3. **ENSAYO SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA
4. **DATOS DE LA MUESTRA**
 - 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ⁽¹⁾

MUESTRA/CÓDIGO LABORATORIO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	TIPO DE MUESTRA/ MATRIZ	PROCEDENCIA	PRESENTACIÓN / CONDICIÓN
M1 / 1541-24	Hueso carbonizado antes de ser sometida a un proceso de adsorción de arsénico(V) (codificación: BC900)	PRODUCTOS NATURALES	-	01 unidad en recipiente de plástico a temp. ambiente.

⁽¹⁾ Ver Nota 2 al final del documento.

- 4.2. OBSERVACIONES (SI APLICA) :
5. **CONDICIONES DEL MUESTREO**
 - 5.1. MUESTREO POR : *No aplica*
 - 5.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : *No aplica*
 - 5.3. PLAN DE MUESTREO : *No aplica*
 - 5.4. FECHA Y HORA DE MUESTREO : *No aplica*
 - 5.5. LUGAR / COORDENADAS DE MUESTREO : *No aplica*
 - 5.6. ESTACIÓN DE MUESTREO : *No aplica*
 - 5.7. FECHA Y HORA DE ENSAYO EN CAMPO : *No aplica*
 - 5.8. LUGAR DE ENSAYO EN CAMPO : *No aplica*
6. **CONDICIONES DE ENSAYO EN LABORATORIO**
 - 6.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 04 / 12 / 24
 - 6.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 10 / 12 / 24
 - 6.3. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ENSAYO : LABORATORIO LABICER-UNI
Primer piso del Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias. Pabellón R3-UNI.
 - 6.4. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.4 °C; Humedad relativa: 60 %

7. MÉTODOS DE ENSAYO

N°	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾	TÍTULO / OBSERVACIONES (Si aplica)
1	Análisis de espectrofotometría infrarroja	Espectrofotometría infrarroja (FTIR-DRS)	Espectrofotometría Infrarroja de Transformadas de Fourier de Reflectancia difusa (FTIR-DRS)

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



8. RESULTADOS
8.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA

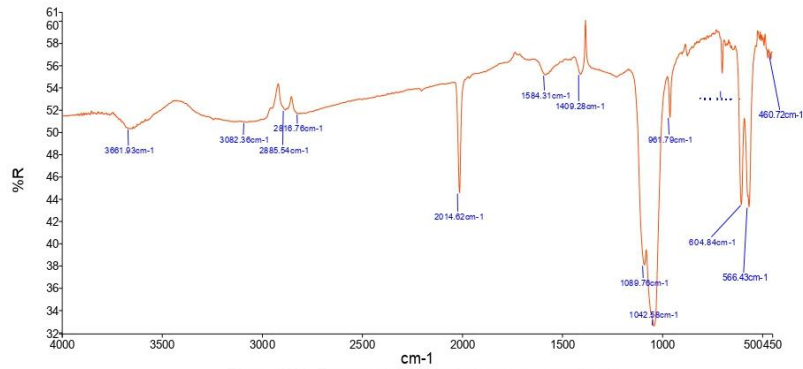


Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

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

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3661.93
2	3082.36
3	2885.54
4	2816.76
5	2014.62
6	1584.31
7	1409.28
8	1089.76
9	1042.58
10	961.79
11	700.33
12	604.84
13	566.43
14	460.72

9. VALIDEZ DEL INFORME DE ENSAYO

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

Analista Responsable:



Bach. David Rojas Morales
Analista
LABICER –UNI

Persona que autoriza el informe:



Firmado digitalmente por:
MAZAMEJIA ILY MARILU FIR
10509227 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 16/12/2024 20:17:34-0500

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



INFORME DE ENSAYO N° 1277 - 24 - LABICER

- 1. DATOS DEL CLIENTE**
- 1.1. NOMBRE / RAZÓN SOCIAL : KENYN JOEL PARICOTO LEON
 1.2. D.N.I / R.U.C. : 72479238
 1.3. DIRECCIÓN : -
 1.4. PERSONA DE CONTACTO : Kenyn Joel Paricoto Leon
 1.5. CORREO ELECTRÓNICO : kj.paricotol@unaj.edu.pe
- 2. FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME** : 16 / 12 / 2024
- 3. ENSAYO SOLICITADO** : ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA
- 4. DATOS DE LA MUESTRA**
- 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ⁽¹⁾

MUESTRA/CÓDIGO LABORATORIO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	TIPO DE MUESTRA/MATRIZ	PROCEDENCIA	PRESENTACIÓN / CONDICIÓN
M1 / 1542-24	Hueso carbonizado después de ser sometida a un proceso de adsorción de arsénico(V) (codificación: BC900_As)	PRODUCTOS NATURALES	-	01 unidad en recipiente de plástico a temp. ambiente.

⁽¹⁾ Ver Nota 2 al final del documento.

- 4.2. OBSERVACIONES (SI APLICA) :
- 5. CONDICIONES DEL MUESTREO**
- 5.1. MUESTREO POR : No aplica
 5.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No aplica
 5.3. PLAN DE MUESTREO : No aplica
 5.4. FECHA Y HORA DE MUESTREO : No aplica
 5.5. LUGAR / COORDENADAS DE MUESTREO : No aplica
 5.6. ESTACIÓN DE MUESTREO : No aplica
 5.7. FECHA Y HORA DE ENSAYO EN CAMPO : No aplica
 5.8. LUGAR DE ENSAYO EN CAMPO : No aplica
- 6. CONDICIONES DE ENSAYO EN LABORATORIO**
- 6.1. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : 04 / 12 / 24
 6.2. FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO : 10 / 12 / 24
 6.3. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ENSAYO : LABORATORIO LABICER-UNI
 Primer piso del Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias. Pabellón R3-UNI.
 6.4. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.4 °C; Humedad relativa: 60 %
- 7. MÉTODOS DE ENSAYO**

N°	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾	TÍTULO / OBSERVACIONES (Si aplica)
1	Análisis de espectrofotometría infrarroja	Espectrofotometría infrarroja (FTIR-DRS)	Espectrofotometría Infrarroja de Transformadas de Fourier de Reflectancia difusa (FTIR-DRS)

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



8. RESULTADOS
8.1. ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA

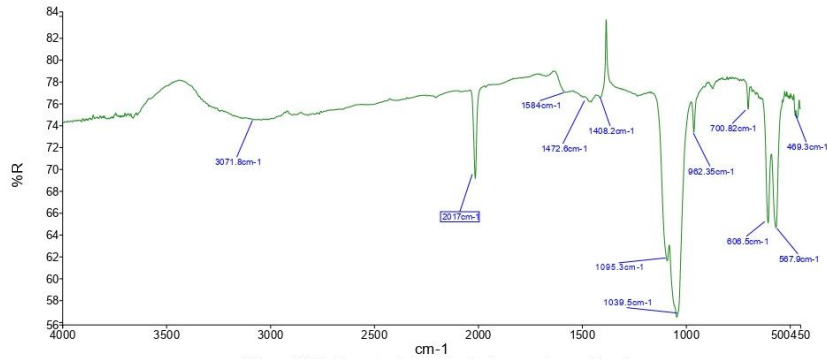


Figura N°1. Espectro infrarrojo de la muestra analizada

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

N°	Frecuencias de absorción del espectro (cm ⁻¹)
1	3071.80
2	2017.00
3	1584.00
4	1472.60
5	1408.20
6	1095.30
7	1039.50
8	962.35
9	700.82
10	606.50
11	567.90
12	469.30

9. VALIDEZ DEL INFORME DE ENSAYO

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

Analista Responsable:

Persona que autoriza el informe:

Bach. David Rojas Morales
Analista
LABICER-UNI



Firmado digitalmente por:
MAZAMEJIA ILY MARILU FIR
10509227 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 16/12/2024 20:19:20-0500

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



Anexo 17. Informe de ensayo de la concentración de arsénico y otros metales en muestras de agua subterránea de la ciudad de Juliaca



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 64F18FD7

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00407

Fecha de emisión: 26/12/2023

Página 1 de 3

Señores : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Dirección : JR J J CALLE 995 LAMPA - LAMPA - PUNO
Atención : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Proyecto : EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 280-23
Plan de muestreo : Muestreo por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreo por el cliente
Fecha de recepción : 20/12/2023
Fecha de ensayo : 20/12/2023
Nro de muestras : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000880	MA-001	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	ESCURI CORIHUATA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	377868.15 m E ; 8290230.89 m N	18/12/2023	10:35
AG23000881	MA-002	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	SANTA ADRIANA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	376296.90 m E ; 8288477.05 m N	18/12/2023	11:45
AG23000882	MA-003	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	SAN ADRIAN / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	374080.30 m E ; 8289229.15 m N	18/12/2023	12:05
Condiciones de recepción de la muestra						
Cooler refrigerado						
Observación						
-						

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico. CIP 114426. Emisor de certificado: LLAMA PE, 26/12/2023 15:23:00

Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^a«Valor numérico»=«Limite de detección del método», ^b«Valor Numérico»=«Limite de cuantificación del método»

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía WEB



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 64F18FD7

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00407

Fecha de emisión: 26/12/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		As	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000880	MA-001	0,0494	b<0,0024	b<0,029	0,1625	0,08764	b<0,000079	214	b<0,00011	b<0,000094	0,00414	b<0,0020
AG23000881	MA-002	0,0966	b<0,0024	b<0,029	0,2823	0,10375	b<0,000079	209	b<0,00011	0,017314	0,00448	b<0,0020
AG23000882	MA-003	0,0345	b<0,0024	b<0,029	0,3308	0,14658	b<0,000079	140	b<0,00011	0,000510	0,00526	b<0,0020

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802												
		Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO ₂
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000880	MA-001	b<0,016	19,9	0,01980	54,77	0,00085	b<0,00038	37,3	0,00164	0,1232	0,0338	0,00807	0,0491	60,09
AG23000881	MA-002	0,081	20,4	0,04774	49,29	0,00120	b<0,00038	90,5	0,00116	0,0654	0,0326	0,00328	0,0520	58,05
AG23000882	MA-003	0,035	17,9	0,00772	36,94	0,00497	b<0,00038	42,4	0,00134	0,1247	0,0115	0,00321	b<0,0020	60,17

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802					
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG23000880	MA-001	b<0,00085	2,485	b<0,00068	b<0,0013	0,03888	0,0212
AG23000881	MA-002	b<0,00085	2,529	b<0,00068	b<0,0013	0,04417	0,0219
AG23000882	MA-003	b<0,00085	1,881	b<0,00068	b<0,0013	0,03384	0,0141

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 26/12/2023 15:23:00


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú,(054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : 64F18FD7

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00407

Fecha de emisión: 26/12/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
798	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[ρ 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ag	[ρ 0.0024 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Al	[ρ 0.029 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - B	[ρ 0.0053 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ba	[ρ 0.00066 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Be	[ρ 0.000079 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ca	[ρ 0.016 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cd	[ρ 0.00011 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Co	[ρ 0.00009 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cr	[ρ 0.00039 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cu	[ρ 0.002 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Fe	[ρ 0.016 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - K	[ρ 0.036 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Li	[ρ 0.00021 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mg	[ρ 0.0051 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mn	[ρ 0.0003 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mo	[ρ 0.00038 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Na	[ρ 0.053 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ni	[ρ 0.00051 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - P	[ρ 0.0054 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Pb	[ρ 0.005 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sb	[ρ 0.00049 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Se	[ρ 0.002 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - SiQ	[0.0005 - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sn	[ρ 0.00085 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sr	[ρ 0.0013 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ti	[ρ 0.00068 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Tl	[ρ 0.0013 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - V	[ρ 0.00014 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Zn	[ρ 0.0031 - 10] mg/L

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

Fin del informe

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 26/12/2023 15:23:00

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 18. Informe de ensayo de la aplicación de hueso vacuno carbonizado a 900 °C y parámetros operativos en agua subterránea de la ciudad de Juliaca



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**

Laboratorios Analíticos del Sur



Registro N° LC - 050

Clave generada : F44E9246

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00408

Fecha de emisión: 26/12/2023

Página 1 de 3

Señores : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Dirección : JR J J CALLE 995 LAMPA - LAMPA - PUNO
Atención : KENYN JOEL PARICOTO LEON
Proyecto : EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : KENYN JOEL PARICOTO LEON **Fecha de recepción** : 20/12/2023
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 280-23 **Fecha de ensayo** : 20/12/2023
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente **Nro de muestras** : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000883	MAT-001	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	ESCURI CORIHUATA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	377868.15 m E ; 8290230.89 m N	19/12/2023	14:12
AG23000884	MAT-002	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	SANTA ADRIANA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	376296.90 m E ; 8288477.05 m N	19/12/2023	14:08
AG23000885	MAT-003	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	SAN ADRIAN / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	374080.30 m E ; 8289229.15 m N	19/12/2023	14:03
Condiciones de recepción de la muestra						
Cooler refrigerado						
Observación						
-						

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 26/12/2023 15:23:40

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 050

Clave generada : F44E9246

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00408

Fecha de emisión: 26/12/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG23000883	MAT-001	0,0311
AG23000884	MAT-002	0,0521
AG23000885	MAT-003	0,0122

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 26/12/2023 15:23:40

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú,(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 050

Clave generada : F44E9246

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00408

Fecha de emisión: 26/12/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
798	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[0.0012 - 50] mg/L

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114428, Emisor de certificado: LLAMA PE, 26/12/2023 15:23:40

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 19. Cálculo del reajuste de las condiciones operativas

Cálculo del reajuste de las condiciones operativas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca

El cálculo de reajuste de las condiciones operativas se realizó con en función de la dosis de adsorbente y los resultados de la muestra del pozo MA002, que mostró una concentración de arsénico evidentemente mayor que las demás muestras, al aplicar 1.4 g de BC900, se obtuvo un porcentaje de adsorción del 46.07 %. Sin embargo, en soluciones acuosas se logró alcanzar una adsorción de 94.04 % de arsénico.

$$D_{\%SA-\%MA} = 94.04 \% - 46.07\%$$

$$D_{\%SA-\%MA} = 48 \%$$

La diferencia ($D_{\%SA-\%MA}$) entre el porcentaje de adsorción en la solución acuosa y la muestra de agua subterránea refleja la presencia de otros iones metálicos adsorbidos por el BC900 del agua subterránea. Basado en este porcentaje, se calculó el reajuste de la dosis de adsorbente, para proporcionar mayores sitios activos y reducir la competencia entre el arsénico y otros metales por los sitios activos del BC900. Esto se hizo con el objetivo de alcanzar una concentración de As inferiores a los LMP establecidos por el MINAM (2017) y DIGESA (2011).

La cantidad adicional de huesos de vacuno carbonizados a 900 °C que debe agregarse para obtener un mayor porcentaje de ~ 94 %, se determinó mediante los siguientes cálculos.

$$\begin{array}{ccc} 1.4 \text{ g BC900} & \xleftarrow{\text{adsorvio}} & 46.07 \% \text{ de As en agua subterránea} \\ X \text{ g Cantidad de BC900} & \xleftarrow{\text{para adsorber}} & 48.00 \% \text{ de As en agua subterráneas} \\ \text{que se añadirá} & & \end{array}$$

$$X = \frac{1.4 \text{ g} \cdot 48.00 \%}{46.07 \%} = 1.459 \text{ g}$$

$$\begin{array}{l} \text{Cantidad de BC900} \\ \text{re-ajustado} \end{array} = 1.4 \text{ g} + 1.459 \text{ g}$$

Cantidad de BC900 re-ajustado = 2.859 g

De acuerdo con los cálculos realizados para el reajuste de la dosis de adsorbente, se debe emplear una cantidad de 2.87 g de BC900.

La cantidad adicional de huesos de vacuno carbonizados a 900 °C que debe agregarse para obtener una concentración de As < LMP (0.01 mg/L).

Tal como se logró determinar, la concentración inicial para MA002 fue de 0.0966 mg/L de As. Sin embargo, para que esta concentración sea menor que los LMP, se espera obtener una concentración final de alrededor de 0.009 mg/L. Logrando así un porcentaje de adsorción de aproximadamente 90.68%.

Durante las pruebas experimentales con muestras de agua subterránea, se logró una adsorción del 46.07%. No obstante, para alcanzar un 90.68 %. Se determinó que es necesario que el BC900 absorba un 44.61% adicional.

$$\begin{array}{l}
 1.4 \text{ g BC900} \quad \xleftarrow{\text{se adsorvio}} \quad 46.07 \% \text{ de As en agua subterráneas} \\
 X \text{ g Cantidad de BC900} \quad \xleftarrow{\text{para adsorber}} \quad 44.61 \% \text{ de As en agua subterráneas} \\
 \text{que se añadirá}
 \end{array}$$

$$X = \frac{1.4 \text{ g} \cdot 44.61 \%}{46.07 \%} = 1.37 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de BC900 re-ajustado} = 1.4 \text{ g} + 1.37 \text{ g}$$

$\text{Cantidad de BC900 re-ajustado} = 2.77 \text{ g}$

De acuerdo a los cálculos realizados para lograr obtener ~ 90.68 % de arsénico adsorbido se debe emplear 2.76 g de BC900 , pero debido a la presencia de otros iones metálicos en el agua subterránea de la ciudad de juliaca se empleó 2.87 g de BC900 para un volumen de 200 mL , esto con fin cumplir con los estándares de calidad ambiental.

Anexo 20. Informe de ensayo del reajuste de las condiciones operativas para la adopción de arsénico en agua subterránea



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Clave generada : 7D0ADE32

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00021

Fecha de emisión: 12/02/2024

Página 1 de 3

Señores : KENYN JOEL PARICOTO LEON
 Dirección : JR J J CALLE 995 LAMPA - LAMPA - PUNO
 Atención : KENYN JOEL PARICOTO LEON
 Proyecto : EFECTO DEL HUESO CARBONIZADO CON PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SOLUCIONES ACUOSAS Y APLICACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE JULIACA

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : KENYN JOEL PARICOTO LEON
 Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 016-24
 Plan de muestreo : Muestreo por el cliente
 Procedimiento Aplicado : Muestreo por el cliente
 Fecha de recepción : 26/01/2024
 Fecha de ensayo : 26/01/2024
 Nro de muestras : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG24000027	MAT_01	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	ESCURI CORIHUATA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	377868 15 m E, 8290230.89 m N	24/01/2024	13:04
AG24000028	MAT_02	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	SANTA ADRIANA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	376296 90 m E, 8288477.05 m N	24/01/2024	13:10
AG24000029	MAT_03	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	SAN ADRIAN / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	374080 30 m E, 8289229.15 m N	24/01/2024	13:11

Condiciones de recepción de la muestra
 Cooler refrigerado

Observación
 -

Sixto Vicente Juárez Neira
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P.19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"^aValor numérico"=Limite de detección del método, "^bValor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : 7D0ADE32

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00021

Fecha de emisión: 12/02/2024

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As
		mg/L
AG24000027	MAT_01	≤<0,0012
AG24000028	MAT_02	0,0115
AG24000029	MAT_03	≤<0,0012


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"s<Valor numérico"=Limite de detección del método, "><Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Laboratorios Analíticos del Sur

Clave generada : 7D0ADE32

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00021

Fecha de emisión: 12/02/2024

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[> 0.0012 - 50] mg/L

a : Limite detección

b : Limite de cuantificación

Fin del informe


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Limite de detección del método, ">Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 21. Operacionalización de variables

Tema: Efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	indicadores	Unidad de medida	Metodología
<p>Problema General ¿Cuáles serán el efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca?</p> <p>Problemas específicos ¿Cuál es el efecto que tiene el hueso carbonizado con los parámetros operativos de dosis de adsorbente, pH inicial y tiempo de contacto en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas?</p>	<p>Objetivo general Evaluar el efecto del hueso carbonizado con parámetros operativos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Objetivos específicos Determinar el efecto que tiene el hueso carbonizado con los parámetros operativos de dosis de adsorbente, pH inicial y tiempo de contacto en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas.</p>	<p>Hipótesis general El hueso carbonizado con parámetros operativos si tiene efectos en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aplicación en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Hipótesis específicas EL hueso carbonizado con los parámetros operativos de dosis de adsorbente, pH inicial y tiempo de contacto no tienen efecto en la adsorción de arsénico en soluciones acuosas.</p>	<p>Variable independiente Huesos carbonizados y parámetros operativos</p>	<p>Huesos carbonizados</p> <p>Dosis de adsorbente</p> <p>Parámetros operativos</p>	<p>Temperatura de pirólisis</p> <p>pH inicial</p> <p>Tiempo de contacto</p> <p>Porcentaje de producción</p> <p>Porcentaje de adsorción</p>	<p>°C</p> <p>g/L</p> <p>-</p> <p>min</p> <p>%</p> <p>%</p>	<p>Enfoque - Cuantitativo</p> <p>Tipo - Experimental</p> <p>Nivel - Explicativo</p> <p>Diseño experimental Pruebas experimentales se realizará mediante el método discontinuo (batch) de un diseño unifactorial</p> <p>Población Soluciones acuosas y Aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca</p> <p>Muestra El muestreo será no probabilístico (3 pozos tubulares de zonas urbana)</p> <p>Instrumentos Ficha de recolección de datos</p> <p>Análisis estadístico Análisis de varianza ANOVA de un solo factor y la prueba significativa honesta de Tukey</p>
<p>¿Cuál será la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, con las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Aplicar las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca</p>	<p>Las condiciones significativamente favorables obtenidas a través de las pruebas experimentales en soluciones acuosas son aplicables para la adsorción de arsénico en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Variable dependiente Adsorción de arsénico en soluciones acuosas y aguas subterráneas</p>	<p>Soluciones acuosas</p>	<p>Porcentaje de adsorción</p>	<p>%</p>	

UNW

UWU