



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



**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD
MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DE HUESOS DE DURAZNO
(*Prunus persica*), DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA
COMUNIDAD CAMPESINA DE REQUENA, TARACO - PUNO”**



Bach. Luis Gabriel Quispe Quispe

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

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro



Juliaca, 2025



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



**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD
MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DE HUESOS DE DURAZNO
(*Prunus persica*), DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA
COMUNIDAD CAMPESINA DE REQUENA, TARACO - PUNO”**

Bach. Luis Gabriel Quispe Quispe

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

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro



Juliaca, 2025

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



**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD
MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DE HUESOS DE DURAZNO
(*Prunus persica*), DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA
COMUNIDAD CAMPESINA DE REQUENA, TARACO - PUNO”**

Bach. Luis Gabriel Quispe Quispe

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Quispe, L. G. (2025). *Eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco - Puno.*
(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Luis Gabriel Quispe Quispe

Título: Eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco – Puno

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (141 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca.

Código: 01-000074-01/Q78

Nota: Incluye Bibliografía.

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro.

Palabras clave: Aguas subterráneas, arsénico, carbón activado, *Prunus persica*, remoción, turbiedad.

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

**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD MEDIANTE
CARBÓN ACTIVADO DE HUESOS DE DURAZNO (*Prunus persica*), DE LAS
AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE REQUENA,
TARACO - PUNO”**

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

Presentada por:

Bach. Luis Gabriel Quispe Quispe

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Dr. Eliana Mullisaca Contreras
PRESIDENTE DE JURADO**



**Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita
JURADO (Secretario)**


2° MIEMBRO

**M. Sc. Ebed David Paredes Rodríguez
JURADO (Vocal)**


3° MIEMBRO
**Dr. Wile Mamani Navarro
ASESOR DE TESIS**

LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DE HUESOS DE DURAZNO (Pr...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:585259443

144 páginas

Fecha de entrega

1 may 2026, 6:13 a.m. GMT-5

31.177 palabras

Fecha de descarga

1 may 2026, 6:16 a.m. GMT-5

170.142 caracteres

Nombre del archivo

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DE HUESO....pdf

Tamaño del archivo

2.0 MB






14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada paso hacia mis metas y darme fuerzas para enfrentar los problemas que se me presentaban a diario; a mi madre, María, y a mi padre, Eleuterio, por su apoyo incondicional y por educarme con principios y normas; por último, a mis hermanos, quienes me alentaron de manera constante para lograr lo que me propuse.

AGRADECIMIENTO

Estoy agradecido con Dios por haberme brindado una familia increíble, que siempre me ha respaldado para alcanzar mis metas y que se ha ocupado de mí.

Al Dr. Wile Mamani Navarro, por su orientación y respaldo profesional a lo largo de todo el proceso de realización de la presente investigación.

A los encargados del laboratorio de la sede Capilla, por su apoyo brindado.

Al ingeniero Rolando Rody Jara Huarancca, por sus recomendaciones y sugerencias durante la fase ejecutiva de esta investigación.

Al Blgo. Howard Hector Arcana Guerra, que me asistió y acompañó durante la fase de supervisión de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua subterránea.

A la junta directiva y pobladores de la Comunidad Campesina Requena, por haberme brindado el acceso al uso y monitoreo del agua subterránea de dicho pozo tubular, como también al acceso a su tanque elevado de abastecimiento de agua.

A los miembros del jurado, Mg. Eliana Mullisaca Contreras, Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita, y al M. Sc. Ebed David Paredes Rodríguez, por las correcciones y recomendaciones que me han ayudado a culminar el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xii
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema.....	17
1.1.1. Problema general	19
1.1.2. Problemas específicos.....	19
1.2. Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Hipótesis de la investigación	20
1.3.1. Hipótesis general	20
1.3.2. Hipótesis específicas.....	20
1.4. Justificación de la investigación	21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23

2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	24
2.1.3.	Antecedentes locales.....	25
2.2.	Marco teórico.....	25
2.2.1.	El agua	25
2.2.2.	Calidad del agua	29
2.2.3.	Aguas subterráneas	30
2.2.4.	Arsénico.....	30
2.2.5.	Arsénico en aguas subterráneas	33
2.2.6.	Turbiedad.....	34
2.2.7.	Durazno	34
2.2.8.	Carbón activado.....	36
2.2.9.	Características del carbón activado	37
2.2.10.	Método de activación del carbón activado	39
2.2.11.	Metodología de análisis morfológico	42
2.2.12.	Aplicaciones del carbón activado	42
2.2.13.	Pruebas de adsorción	43
2.2.14.	Mecanismo de adsorción	45
2.2.15.	Factores que influyen en el proceso de pruebas de adsorción.....	48
2.2.16.	Eficiencia de remoción	51
2.2.17.	Normativa ambiental	51
2.2.18.	Análisis estadístico factorial.....	52

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Variables de investigación.....	53
3.1.1.	Variables independientes	53
3.1.2.	Variables dependientes	53
3.2.	Operacionalización de variables	53

3.3. Ámbito de estudio.....	55
3.4. Tipo y diseño de la investigación	55
3.5. Población y muestra de estudio	56
3.5.1. Población	56
3.5.2. Muestra	56
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
3.6.1. Técnicas	57
3.7. Equipos, materiales, reactivos e insumos	57
3.7.1. Equipos	57
3.7.2. Materiales	58
3.7.3. Reactivos	58
3.7.4. Insumos.....	58
3.8. Métodos	58
3.8.1. Obtención de carbón activado mediante residuos de huesos de durazno (<i>Prunus persica</i>).....	58
3.8.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y del arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena	62
3.8.3. Evaluación de los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena	63
3.8.4. Determinación de eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad con carbón activado de huesos de durazno (<i>Prunus persica</i>) en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena	66
3.9. Análisis estadístico	66
3.9.1. Variables.....	66
3.9.2. Diseño experimental.....	67
3.9.3. Procedimiento de prueba de hipótesis	69

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención de carbón activado mediante residuos de huesos de durazno (<i>Prunus persica</i>).....	71
4.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y del arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.....	72
4.3. Evaluación de los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.....	75
4.3.1. Efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico y turbiedad	75
4.3.2. Efecto del pH en la remoción de arsénico y turbiedad	78
4.3.3. Efecto del tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad ...	81
4.4. Eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad con carbón activado de huesos de durazno (<i>Prunus persica</i>) en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.....	83
4.4.1. Eficiencia de la remoción de arsénico	83
4.4.2. Eficiencia de la remoción de turbiedad	86
4.5. Análisis estadístico	89
4.5.1. Análisis de varianza (ANOVA).....	89
4.5.2. Evaluación de efectos en la remoción de arsénico	92
4.5.3. Evaluación de efectos en la remoción de turbiedad	93

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	94
5.2. Recomendaciones	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Diferencias entre adsorción física y química.</i>	48
Tabla 2. <i>Operacionalización de variables.</i>	54
Tabla 3. <i>Punto de muestreo de las aguas subterráneas del pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena.</i>	63
Tabla 4. <i>Variables de estudio, unidades de medida y sus métodos de determinación.</i> .	63
Tabla 5. <i>Diseño factorial de 3 factores con 1 repetición.</i>	68
Tabla 6. <i>ANOVA de diseño factorial de 3 factores (con 1 replicación).</i>	68
Tabla 7. <i>Resultados del análisis de los parámetros físicoquímicos y arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.</i>	73
Tabla 8. <i>Resultados de la eficiencia de remoción de arsénico empleando carbón activado como adsorbente en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.</i>	84
Tabla 9. <i>Resultados de la eficiencia de remoción de turbiedad empleando carbón activado como adsorbente en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.</i>	87
Tabla 10. <i>Análisis de varianza para los efectos principales.</i>	89
Tabla 11. <i>Análisis de varianza para los efectos principales.</i>	91
Tabla 12. <i>Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor A.</i>	131
Tabla 13. <i>Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor B.</i>	132
Tabla 14. <i>Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor C.</i>	133
Tabla 15. <i>Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor B:C.</i>	134
Tabla 16. <i>Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor A:B:C.</i>	135

Tabla 17. <i>Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor A:B:C.</i>	137
Tabla 18. <i>Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, Categoría I, Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.</i>	139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Estructura del agua</i>	26
Figura 2. <i>Ciclo del arsénico en el medio ambiente (A: fuentes antropogénicas; N: fuentes naturales; Flechas punteadas: caminos del arsénico hacia diferentes sistemas ambientales; Flechas continuas: vías de exposición del ser humano al arsénico)</i>	31
Figura 3. <i>Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema As-O₂-H₂O a 25 °C y 1 bar de presión total</i>	32
Figura 4. <i>a) Especies de Arsenito (III) y b) Arseniato (V) en función del pH</i>	32
Figura 5. <i>Partes del fruto de durazno</i>	35
Figura 6. <i>Carbón activado</i>	36
Figura 7. <i>Carbón activado según su ramificación de poros</i>	37
Figura 8. <i>Grupos oxigenados en la superficie de un carbón activado</i>	38
Figura 9. <i>Principales características de las activaciones físicas y químicas</i>	40
Figura 10. <i>Obtención del carbón activado y sus aplicaciones</i>	43
Figura 11. <i>a) Diferentes procesos de sorción y b) Adsorción mediante el carbón activado</i>	44
Figura 12. <i>Adsorción física (fisisorción)</i>	46
Figura 13. <i>Adsorción química (quimisorción)</i>	47
Figura 14. <i>Intercambio iónico</i>	47
Figura 15. <i>Mapa de ubicación de la comunidad de Requena - Taraco - Puno</i>	55
Figura 16. <i>Diagrama de flujo de la recolección de residuos y tratamiento físico de los huesos de durazno (Prunus persica)</i>	60
Figura 17. <i>Diagrama de flujo del proceso de activación química de los huesos de durazno (Prunus Persica)</i>	61
Figura 18. <i>Diagrama de flujo de las pruebas de adsorción con carbón activado obtenido de huesos de durazno (Prunus persica)</i>	65
Figura 19. <i>Morfología superficial del carbón activado de huesos de durazno (Prunus persica)</i>	71

Figura 20. <i>Especiación del arsénico en aguas subterráneas de la comunidad campesina Requena</i>	75
Figura 21. <i>Efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico</i>	76
Figura 22. <i>Efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de turbiedad</i>	77
Figura 23. <i>Efecto del pH en la remoción de arsénico</i>	78
Figura 24. <i>Efecto del pH en la remoción de turbiedad</i>	80
Figura 25. <i>Efecto del tiempo de contacto en la remoción de arsénico</i>	81
Figura 26. <i>Efecto del tiempo de contacto en la remoción de turbiedad</i>	82
Figura 27. <i>Interacción de los factores pH – Tiempo de contacto en cuanto al porcentaje de remoción de arsénico</i>	93
Figura 28. <i>Recolección de residuos de durazno (Prunus persica), en los mercados, viviendas y pastelerías de la ciudad de Juliaca.</i>	117
Figura 29. <i>Tratamiento físico de los huesos de durazno</i>	118
Figura 30. <i>Carbonización de los huesos de durazno (Prunus persica)</i>	118
Figura 31. <i>Carbón de huesos de durazno (Prunus persica)</i>	119
Figura 32. <i>Activación de los huesos de durazno (Prunus persica)</i>	120
Figura 33. <i>Carbón de huesos de durazno (Prunus persica)</i>	120
Figura 34. <i>Determinación de parámetros fisicoquímicos y análisis de concentración inicial de arsénico</i>	121
Figura 35. <i>Pruebas de adsorción</i>	122
Figura 36. <i>Determinación de la turbiedad y la concentración de arsénico en aguas tratadas</i>	123

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo I. <i>Obtención de carbón activado de huesos de durazno (<i>Prunus persica</i>)</i>	117
Anexo II. <i>Proceso de activación química de los huesos de durazno (<i>Prunus persica</i>)</i>	120
Anexo III. <i>Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena</i>	121
Anexo IV. <i>Evaluación de los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas</i>	122
Anexo V. <i>Informe de ensayo de muestras de aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena para la determinación de la dureza, cloruros, sulfatos, nitratos y la concentración inicial de arsénico en agua realizada por “Laboratorios Analíticos del Sur”</i>	124
Anexo VI. <i>Informe de ensayo de muestras tratadas de aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena para la determinación de la concentración final de arsénico en agua realizada por “Laboratorios Analíticos del Sur”</i>	127

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
MINAM	: Ministerio del Ambiente
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
As	: Arsénico
H₃PO₄	: Ácido fosfórico
HCl	: Ácido clorhídrico
HNO₃	: Ácido nítrico
NaOH	: Hidróxido de sodio

RESUMEN

La presencia de arsénico y turbiedad en las aguas subterráneas, y los efectos en la salud, representan uno de los principales problemas que enfrenta la comunidad campesina de Requena, afectando a los habitantes que emplean estas aguas para consumo y diversas actividades, por lo tanto, se requiere el desarrollo de tecnologías efectivas para su remoción. En ese contexto, se tiene por objetivo evaluar la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco-Puno. La metodología implicó obtener el carbon activado a partir de huesos de durazno (*Prunus persica*); seguidamente se caracterizó los parámetros arsénico y turbiedad en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena y finalmente se evaluó la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad según el diseño experimental tipo factorial de 3 factores con 3 niveles: cantidad de carbón activado (1.4, 2 y 2.7 g), pH (5, 6 y 8) y tiempo de contacto (30, 60 y 90 minutos). En los resultados se evidencia la formación del carbón activado a partir del hueso de durazno (*Prunus persica*), además la concentración de arsénico y turbiedad en aguas subterráneas fue de 0.1310 mg/L y 28.07 NTU, los cuales superan los límites de la normativa y finalmente el mejor tratamiento para el arsénico fue el T-9 (1.4 g/200 mL de carbón activado, pH 8 y tiempo 90 minutos) y el T-12 (2 g/200 mL de carbón activado, pH 5 y tiempo 90 minutos) para la turbiedad, fueron los que lograron mayor eficiencia de remoción. Se llega a la conclusión de que el carbón activado hecho huesos de durazno (*Prunus persica*), puede ser aplicado para la remoción de arsénico y turbiedad en aguas subterráneas obteniendo un 84.96 % de remoción de arsénico y un 99.36 % de turbiedad.

Palabras clave: Aguas subterráneas, arsénico, carbón activado, *Prunus persica*, remoción, turbiedad.

ABSTRACT

The presence of arsenic and turbidity in groundwater, and its effects on health, represent one of the main problems facing the rural community of Requena, affecting residents who use this water for consumption and various activities. Therefore, the development of effective removal technologies is required. In this context, the objective is to evaluate the efficiency of arsenic and turbidity removal using activated carbon from peach pits (*Prunus persica*) in the groundwater of the rural community of Requena, Taraco-Puno. The methodology involved obtaining the activated carbon from peach pits (*Prunus persica*); The parameters arsenic and turbidity in the groundwater of the peasant community of Requena were then characterized and finally the efficiency of arsenic and turbidity removal was evaluated according to the experimental design of factorial type of 3 factors with 3 levels: amount of activated carbon (1.4, 2 and 2.7 g), pH (5, 6 and 8) and contact time (30, 60 and 90 minutes). The results show the formation of activated carbon from peach pits (*Prunus persica*). Furthermore, the arsenic concentration and turbidity in groundwater were 0.1310 mg/L and 28.07 NTU, respectively, exceeding regulatory limits. The most efficient treatment for arsenic removal was T-9 (1.4 g/200 mL of activated carbon, pH 8, and 90 minutes), while T-12 (2 g/200 mL of activated carbon, pH 5, and 90 minutes) achieved the highest turbidity removal efficiency. It is concluded that activated carbon made from peach pits (*Prunus persica*) can be applied for the removal of arsenic and turbidity in groundwater, achieving 84.96% arsenic removal and 99.36% turbidity removal.

Key words: Groundwater, arsenic, activated carbon, *Prunus persica*, removal, turbidity.

INTRODUCCIÓN

El agua es vital para la salud y el crecimiento poblacional (Zhao et al., 2024; Chávez, 2018). Es crucial prevenir la contaminación, especialmente de las aguas subterráneas, que son ampliamente utilizadas como agua potable (Jafarzadeh et al., 2022). Los metales pesados, provenientes tanto de la corteza terrestre como de actividades humanas, generan preocupación por su capacidad de bioacumulación y toxicidad, aumentando riesgos para la salud y el medio ambiente. (Ning et al., 2024; Hu et al., 2024).

La contaminación del agua subterránea por arsénico es un problema global grave, afectando a entre 94 y 200 millones de personas (Rahman et al., 2024; Wang et al., 2023). En países como Nicaragua, Chile, Argentina, Perú, Bolivia y El Salvador, más de 4 millones consumen agua con altos niveles de arsénico (Castro, 2004), lo que conlleva riesgos para la salud como diversos tipos de cáncer (a los pulmones, vejiga y piel), problemas cardiovasculares y disfunción cognitiva en los niños (Hasan et al., 2024). Por otro lado, la turbiedad es un indicador crucial de la calidad del agua, reflejando el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, lo que significa su contaminación (Martínez et al., 2020). Altos niveles de turbiedad pueden causar enfermedades gastrointestinales (vómitos y diarreas), contribuyendo a la mortalidad infantil relacionada con diarreas (Muoio et al., 2020), con 2,2 millones de muertes anuales a nivel mundial según el informe 2015 de la OMS (Manzollillo, 2019).

Los métodos convencionales para tratar el arsénico y la turbiedad en aguas subterráneas incluyen floculación, precipitación-filtración, coagulación, intercambio iónico, oxidación-reducción y adsorción (Algieri et al., 2022). La elección de una tecnología es óptima cuando es sencilla, utiliza equipos pequeños, energías renovables y materiales locales, siendo accesible para comunidades con pocos recursos (Bundschuh et al., 2010). La adsorción es un método destacado por su alta eficiencia en la remoción, influenciada por propiedades físico-químicas de los adsorbentes (morfología, el área superficial, la porosidad y los grupos funcionales de la superficie) (Al-Ghouti & Da'ana, 2020; Li et al., 2025), además de que es una operación simple y de bajo costo (Martínez et al., 2018).

Los adsorbentes más comunes y eficaces son los biosorbentes, carbones activados, zeolitas, gel de sílice, alúmina activada, composites, minerales arcillosos, minerales de óxido de hierro, arenas y los adsorbentes artificiales (Mabalane et al., 2024; Yadav et al., 2021). El carbón activado es especialmente notable por su alta capacidad para adsorber sustancias químicas, su bajo costo, su alta porosidad y la facilidad con la que se puede eliminar el medio tratado. (Alouiz et al., 2024; Lamata-Bermejo et al., 2024). El carbón activado elaborado a partir de residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*) es de bajo coste y de fácil acceso, y prometedor para eliminar arsénico y turbiedad del agua (Rajan & Indira, 2022; Berrenechea & Román, 2021; Castaneda et al., 2023).

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco-Puno.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

A nivel mundial, la contaminación por arsénico en las aguas subterráneas ha aumentado, particularmente en países de ingresos medios y bajos (Kumar et al., 2022), es un problema global para salud humana, animal y la agricultura (Patel et al., 2023), los altos niveles de arsénico en el agua subterránea provocan riesgos para la salud (Kanel et al., 202; Mondal & Garg, 2017); además es difícil eliminar del agua sin el tratamiento adecuado, hay muchas tecnologías químicas disponibles, pero son muy costosas y complicadas para una limpieza a gran escala del agua con arsénico (Kumar et al., 2022; Patel et al., 2023), según las estadísticas, a nivel mundial, al menos 140 millones de personas consumen regularmente agua con niveles elevados de arsénico que superan los 10 µg/L, perjudicando la salud humana (Castro, 2004). Por otro lado en países como Nicaragua, Chile, Argentina, Perú, Bolivia y El Salvador, más de 4 millones consumen agua con altos niveles de arsénico (Castro, 2004), En Colima - México, indicaron que 446 personas están en peligro de desarrollar síntomas cancerígenas como resultado del consumo prolongado de agua con arsénico (Mendoza et al., 2017), en cuanto al consumo de agua turbia puede provocar vómitos y diarreas (Slim, 2023).

En Perú, un 9.2 % de la población carece de acceso a sistemas de agua potable y opta por fuentes alternativas, como las aguas subterráneas, lo cual incrementa el riesgo de exposición al arsénico (INEI, 2020). En la parte norte del país, en lugares como Lambayeque, Morrope y Pacora, se han detectado niveles de arsénico que oscilan entre 30 µg/L y 160 µg/L (COEN, 2019). Amazonas y Lima también sobrepasan los límites permitidos, constituyendo así un peligro inminente para la salud de la población (López, 2019). En el sur de Perú, en áreas como Arequipa y Puno, se han registrado altas concentraciones de arsénico en las aguas subterráneas (Apaza & Calcina, 2014). En dos distritos de la región de Tacna, se observó que los adultos presentaban niveles de arsénico en orina superiores a los valores de toxicidad establecidos por la OMS (Ale et al., 2018).

En la región Puno, se han encontrado valores elevados de arsénico en aguas subterráneas en las localidades de Vilque y Pichacani, superando los límites máximos permisibles de arsénico, lo que indica que no es adecuada para consumo humano, y tiene un impacto directo en la salud de las personas de zonas rurales que lo consumen (Ferro et al., 2023), en el sector Ramis – Taraco – Puno, se encontró elevadas concentraciones de arsénico (0.0296 mg/L en agua subterránea) (George et al., 2014). En el distrito de Juliaca, en la urbanización Santa Adriana se encontró arsénico en aguas subterráneas con una concentración de 0.202 mg/L superando los límites permitidos (Turpo et al., 2022), y en las aguas subterráneas de la urbanización Taparachi se encontró que el arsénico supera los límites máximos permisibles lo cual indica que no es adecuado para el consumo humano según el D. S. 031-2010 (Valenzuela & Yucra, 2022), también por el sector de salida Arequipa se reportaron valores altos de concentración de As (0.165 mg/L) con una media de (0.089 mg/L) superando el límite establecido por la OMS (Mamani, 2019), en estos lugares la presencia de arsénico en aguas subterráneas podría atribuirse a la geología o betas de arsénico (George et al., 2014). La ciudad de Juliaca enfrenta el desafío del suministro de agua potable debido al rápido crecimiento demográfico, por lo que se ven forzados a consumir agua subterránea sin ningún tipo de tratamiento, comprometiendo así su salud a futuro.

Así mismo en la comunidad campesina de Requena – Taraco cuentan con un pozo de abastecimiento de agua en tanque elevado, la cual se distribuye a través de piletas a toda la comunidad, según los habitantes, estas aguas contienen niveles de arsénico y turbiedad, además de ser de color amarillento cuando no realizan limpieza del tanque elevado, en muchas oportunidades las personas de tercera edad y niños utilizan para su consumo humano y otras actividades como para el lavado de ropas, utensilios de cocina, bañarse, etc., ya que no tienen otra fuente de disposición de agua potable. Estas aguas no cuentan con ningún tipo de tratamiento lo que genera un problema de falta de agua potable y posiblemente con el pasar del tiempo afecte considerablemente en la salud de los pobladores de la comunidad campesina de Requena.

1.1.1. Problema general

¿Cuál será la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco-Puno?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Se podrá obtener carbón activado mediante residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*)?
- ¿Cuánto son los valores de los parámetros fisicoquímicos y del arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena?
- ¿Tienen efectos los factores de la cantidad de carbón, pH y tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena?
- ¿Cuánto será la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad con carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco-Puno.

1.2.2. Objetivos específicos

- Obtener carbón activado mediante residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*).
- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y el arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.
- Evaluar los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas de la comunidad de Requena.

- Determinar la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

1.3. Hipótesis de la investigación

1.3.1. Hipótesis general

Dado que los carbones activados poseen propiedades que remueven arsénico y turbiedad en el agua (Castaneda et al., 2023; Bayuo et al., 2023; Bibi et al., 2023; Acebedo et al., 2020; Cortez, 2022; Asqui, 2023; Aguirre, 2021), entonces el carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) remueve arsénico y turbiedad en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, Taraco-Puno.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La obtención del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), con características óptimas influyen significativamente en la remoción de arsénico y turbiedad.
- Los parámetros fisicoquímicos y el arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena sobrepasan límites máximos permitidos.
- Los factores cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto son los que influyen significativamente en la remoción de arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.
- La eficiencia de remoción de arsénico fue de 84.96 % y de la turbiedad 99.36 % empleando carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*).

1.4. Justificación de la investigación

En el aspecto ambiental, las técnicas convencionales se utilizan para eliminar el arsénico cuando las concentraciones son inferiores a 100 mg/L, lo que significa que los métodos utilizados tienen ciertas limitaciones. (Abd Elnabi et al., 2023), además estos métodos requieren el uso de recursos adicionales, como productos químicos y una alta demanda de energía (Berrenechea & Román, 2021; Abd et al., 2023); y para la remoción de turbidez existen diversos métodos en donde uno de ellos consiste en el uso de coagulantes químicos (Guzmán et al., 2013); en ambos casos, causando una alteración física y química del agua (Berrenechea & Román, 2021).

Es por ello que la presente investigación es necesario realizarla, debido a que se propone un método para remover el arsénico y turbiedad en aguas subterráneas a través del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*); empleando técnicas ambientalmente amigables y también se pretende reducir los residuos sólidos urbanos y reutilizarlos (Castaneda-Olivera et al., 2023), ya que los desechos de huesos de durazno suelen ser desechados en mercados, calles, contenedores, etc.

En el aspecto social, beneficiaría a la comunidad campesina de Requena porque se busca aumentar el conocimiento sobre las propiedades del carbón activado, sus usos, los materiales utilizados para producirlo y la reutilización de desechos provenientes de los mercados, viviendas y pastelerías de la ciudad de Juliaca (Neolaka et al., 2022), con el objetivo de utilizar el carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) para la remoción de arsénico y turbiedad de las aguas subterráneas del pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena, y así evitar problemas de consumo de agua con altas concentraciones de arsénico y turbiedad, brindando acceso al agua para sus necesidades básicas y una buena calidad de vida (Peralta, 2021; Berrenechea & Román, 2021).

En el aspecto tecnológico, se ha adoptado diferentes tecnologías para la remoción de niveles de arsénico en agua potable, entre las cuales el método de adsorción es el más utilizado debido a su alta eficiencia de remoción, operación simple y bajo costo. (C. Martínez et al., 2018), esta tecnología requiere de adsorbentes eficientes y económicos, como por ejemplo el carbón activado, debido a su alta capacidad de adsorción de diversas sustancias y fácil y rápida eliminación del medio tratado, lo que permite un tratamiento eficiente y económico en diversas aplicaciones. (Sevilla, 2011).

En el aspecto económico, los biosorbentes de carbón activado se han popularizado en las aplicaciones de tratamiento de agua ya que son materiales económicos y sostenibles (Bilal et al., 2021; Zhu et al., 2021), como por ejemplo para la eliminación de arsénico (Mondal & Garg, 2017); siendo beneficiosa realizarla porque el carbón activado creado a partir de residuos del hueso de durazno (*Prunus persica*) es una buena fuente de alternativa para eliminar arsénico y turbiedad (Rajan & Indira, 2022), de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, y son amigables con el medio ambiente (Yao & Yang, 2020).

Asimismo, los desechos de huesos de durazno (*Prunus persica*) se pueden obtener fácilmente de los mercados, viviendas y pastelerías de la ciudad de Juliaca sin ningún costo alguno, lo que les otorga un valor adicional.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bayuo et al. (2023), realizaron un modelado y optimización de la remoción de arsénico (As^{3+}) de aguas residuales mediante carbón activado de plantas de maíz, teniendo como resultados de remoción de 93.14%, con una dosis de 0.5 g/L, en un tiempo de 90 minutos y una velocidad de agitación constante de 120 rpm.

Duyoner et al. (2023), hicieron el proceso de remoción de Pb^{2+} de aguas residuales industriales con carbón activado de semillas de *Persea americana*. Los experimentos mostraron una eliminación de 65% plomo, 57.6% de turbidez, utilizando 0.2 g de carbón activado en 50 mL a una temperatura ambiente y velocidad continua; este material vegetal, podría utilizarse como adsorbente de metales como el plomo, arsénico, cadmio, etc.

Racancoj (2022), realizó la evaluación de eficiencia de la semilla de durazno *Prunus persica* S “Salcajá” como coagulante natural en la remoción de turbidez de aguas de río y aguas de grifo + arcilla, mostrándose en sus resultados eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 71.92 % adicionando 30 mg/L de coagulante natural.

Giri et al. (2021), realizaron la eliminación de arsénico mediante bioadsorbentes de semilla de ciruela de Java y semilla de Amaltasa en aguas residuales sintéticas. Los resultados indican que a dosis de 0.08 g/50 mL a pH de 8.8 a una velocidad de agitación de 200 rpm; la semilla de ciruela de Java logro eliminar el 93 % de arsénico, mientras que el bioadsorbente de semilla de Amaltasa logro eliminar el 91 % de arsénico en aguas residuales.

Acebedo et al. (2020), realizaron la adsorción de arsénico (V) mediante carbón activado de cascara de coco, mostrándose en sus resultados una remoción de arsénico superior a 90%, con un pH de 5, 500 ppb de concentración inicial de arsénico, a un tiempo de agitación de 240 minutos y 3 g de adsorbente en 500 mL.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Tarazona (2024), evaluó la reducción del arsénico mediante el método de adsorción, empleando carbón activado de pepas de ciruela (*Spondias purpurea*) en aguas subterráneas de Jayanca. Los resultados indican que la mayor remoción de arsénico fue de 100 % utilizando 0.8 g de carbón activado por cada 100 mL de agua sintética, con un tiempo de contacto de 55 minutos, a un pH de 7 y una velocidad de agitación de 300 rpm.

Berrenechea y Román (2021), evaluaron la remoción de arsénico y plomo en agua proveniente del río Mala-Cañete, utilizando carbón activado de endocarpio de durazno (*Prunus persica*). Los resultados muestran que la tasa de eliminación de arsénico fue de 95,37% y 96,94% con 7 g de carbón activado de *Persea americana* y *Prunus persica* en 1000 mL, a velocidad de agitación de 280 rpm, pH de 7.58 y tiempo de contacto de 30 minutos. También reportaron que el porcentaje de eliminación de la turbiedad que fue de 98.60 %.

Acosta y Dominguez (2021), evaluaron la remoción de la turbiedad presente en aguas superficiales del Río Moche – Trujillo, 2019 empleando *Prunus persica* como complemento del sulfato de aluminio. Los resultados indican que obtuvieron una remoción de turbiedad de 96.75 %.

Fiestas y Millones (2021), evaluaron la influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope. Los resultados muestran que lograron una remoción de 72 % de la carga de contaminante de arsénico adicionando 6 g/L de carbón activado de coco durante 3 horas a un pH 7.

Rosales y Quevedo (2020), investigaron la remoción de plomo y cromo con carbón activado de semillas de aguaje de aguas contaminadas a través de la adsorción. Obtuvieron resultados positivos para la eliminación de plomo y cromo a una velocidad de agitación de 300 rpm y temperatura ambiente, con masas de 1.5 g/500 mL y 0.25 g/500 mL con porcentajes de 97.14% y 72%.

2.1.3. Antecedentes locales

Asqui (2023), evaluó la adsorción de arsénico y plomo en aguas de pozos tubulares empleando carbón activado de tallos de quinua (*Chenopodium quinoa*) del centro poblado Villa Asunción Accaso – Pilcuyo. En los resultados se observó que la mayor remoción de arsénico y plomo, se tuvo a una dosis de 1g en 100 mL, 200 rpm de velocidad de agitación y a una temperatura ambiente, obteniéndose 92.83% y 96.84% de remoción.

Mamani et al. (2020), realizaron la adsorción de metales pesados con carbón activado de lenteja de agua (*Lemna gibba L.*) en aguas residuales de la mina Lunar de Oro. Mostrándose en sus resultados una remoción de arsénico de 91.45 %, con 5 g en 500 mL, pH ácido.

Aguirre (2021), evaluó la adsorción de plomo y arsénico con carbón activado de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) de las aguas de la bahía del lago Titicaca. En los ensayos se muestran remociones de 98.7% de plomo y 70.3% de arsénico con 2 g/500 mL de carbón activado, con velocidad de agitación de 300 rpm, durante 2 horas, pH de 5 y a una temperatura ambiente.

Tapia (2020), evaluó la adsorción de arsénico con Chacko (Hidralgiritita) en aguas subterráneas contaminadas del distrito de Taraco – Puno. Cuyas características fisicoquímicas iniciales fueron: turbidez 2.58 NTU, pH 7.872, conductividad eléctrica 1441 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y arsénico 0.05 mg/L. En los ensayos se muestran que a 0.2 g/100 mL de adsorbente, pH 7.5, a una velocidad de agitación de 200 rpm, durante 90 minutos y a una temperatura de 25 °C se tuvo una favorable adsorción con un porcentaje de 84 %.

2.2. Marco teórico

2.2.1. El agua

El agua es un recurso indispensable para la supervivencia humana y la sociedad, se considera un recurso renovable, sensible, vital para la vida, elemento esencial para las actividades humanas estratégico para el progreso sostenible del país, sin embargo, el aumento de la población, la urbanización, los modos de vida variables.

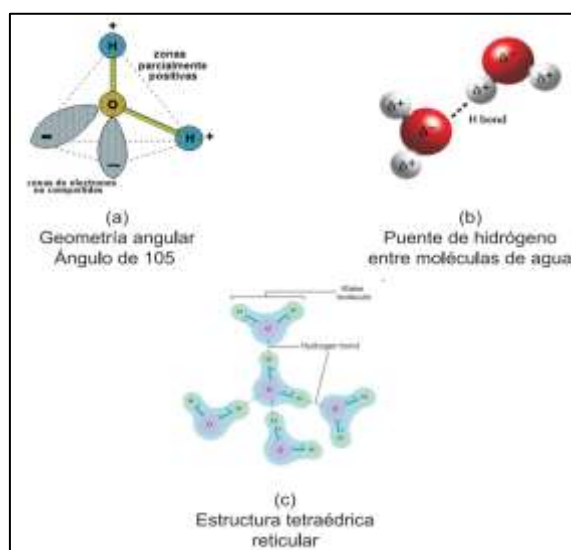
El crecimiento económico y agrícola, y el cambio climático han causado que la necesidad de agua exceda la oferta, provocando una escasez de agua y causando crisis hídricas en la mayor parte del mundo (Warner et al., 2024).

a. Estructura química del agua

El agua es una molécula simple compuesta por átomos diminutos, dos de hidrogeno y uno de oxígeno, que se unen mediante enlaces covalentes altamente resistentes que proporcionan una gran estabilidad a la molécula (Fennema, 2020). Posee un reparto irregular de la densidad electrónica, ya que el oxígeno es uno de los elementos con mayor electronegatividad, atrae hacia si los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor del átomo de oxígeno se concentra la mayor densidad electrónica “carga negativa” y cerca de los hidrógenos la menor “carga positiva” (Azcona & Fernández, 2012).

Figura 1

Estructura del agua



Nota: La figura muestra la composición del agua, tomada de Azcona & Fernández, (2012).

En la figura 1a, la molécula de agua tiene una geometría angular donde los dos átomos de hidrogeno crean un ángulo cercano a 105 °, lo que la convierte en una molécula polar que puede acoplarse a numerosas sustancias polares (Azcona & Fernández, 2012; López et al., 2005).

En la figura 1b, se puede apreciar el puente de hidrogeno que surge debido a la atracción electroestática entre la carga parcial positiva próxima a los átomos de hidrogeno de una molécula de agua y la carga parcial negativa próxima al oxigeno de otra, permite la unión de moléculas de agua a través de un enlace químico muy particular y de gran relevancia para la vida, lo que explica el extenso espectro de sus características físicas y químicas (Azcona & Fernández, 2012; López et al., 2005).

En la figura 1c, se observa que cada molécula tiene la capacidad de formar 4 puentes de hidrogeno con igual cantidad de moléculas de agua, resultando en una estructura tetraédrica reticular bastante organizada, responsable de sus características físico-químicas únicas (Azcona & Fernández, 2012).

b. Propiedades físicas del agua

- **Estado físico y apariencia:** En su estado puro, el agua carece de color, olor o sabores perceptibles, además, muestra tres estados que dependen de las condiciones del entorno, estos son solido (hielo), líquido (agua) y gas (vapor) (Azcona & Fernández, 2012).
- **Puntos de fusión y ebullición:** El punto de congelación del agua a nivel mar se da a los 0 °C, mientras que su punto de ebullición se conserva a una temperatura de 100 °C bajo condiciones de presión atmosférica estándar (López et al., 2005).
- **Densidad:** Según García (2005) a una temperatura de 4 °C, el agua llega a su densidad máxima, lo que ocasiona que el hielo se desplace sobre el agua líquida.
- **Tensión superficial:** Según Azcona y Fernández (2012) a una alta tensión superficial posibilita que algunos insectos se desplacen sobre la superficie del agua y promueve fenómenos como la capilaridad en las plantas.

- **Calor específico:** Según López et al. (2005) una elevada especificidad de calor en el agua puede retener grandes volúmenes de calor con una variación mínima de su temperatura, favoreciendo la regulación del calor en seres vivos y ecosistemas.
- **Constante dieléctrica y conductividad térmica:** La elevada constante dieléctrica permite la disociación de sales y la conducción eléctrica en soluciones de agua, mientras que una conductividad térmica eficaz reparte el calor de forma homogénea, lo cual es crucial para mantener las temperaturas constantes en sistemas biológicos (López et al., 2005).

c. Propiedades químicas del agua

- **Polaridad:** La molécula hídrica es polar debido a la superior electronegatividad del oxígeno en relación al hidrogeno lo cual provoca una distribución desequilibrada de cargas con una ligera carga negativa cerca del oxígeno y una positiva cerca de los hidrógenos, y esto facilita la creación de enlaces de hidrógenos entre las moléculas de agua (Azcona & Fernández, 2012).
- **El agua como disolvente:** El agua posee una habilidad extraordinaria para disolver biomoléculas presentes en los seres vivos, es capaz de disolver sustancias iónicas, polares y también las que carecen de carga, así mismo, diversas biomoléculas sin carga se disuelven con facilidad en agua debido a que posee grupos funcionales polares que generan interacciones dipolo-dipolo beneficiosas, también solubiliza a todos los metales pesados (Fennema, 2020). Se les denomina como hidrofílicas porque las moléculas de agua dan preferencia a compuestos iónicos y polares, por otro lado, los compuestos no polares son insolubles en agua ya que carecen de iones o grupos funcionales polares, cuyos compuestos se denominan hidrófobos (García, 2005).

- **Constante dieléctrica elevada:** Según Azcona y Fernández (2012) el agua tiene una elevada constante dieléctrica, lo que favorece la disociación de elementos con carga eléctrica en disolución y la transforma en un excelente aislante eléctrico en estado puro.
- **Reactividad química:** El agua se destaca como uno de los reactivos químicos más potentes, interactuando con iones y moléculas, en reacciones con metales, se relaciona con metales alcalinos y alcalinotérreos para formar hidróxidos y liberar hidrogeno gaseoso y para la creación de ácidos y bases, interactúa con óxidos no metálicos para generar oxácidos y con óxidos metálicos para generar hidróxidos (López et al., 2005).
- **Autoionización:** El agua tiene la capacidad de autoionizarse de manera leve, generando iones hidronio (H_3O^+) e hidróxido (OH^-), lo que otorga un pH neutro de 7 bajo condiciones estándar, siendo importante esta característica para preservar el balance ácido-base en sistemas biológicos (Azcona & Fernández, 2012).

2.2.2. Calidad del agua

El término "calidad del agua potable" se usa para describir las condiciones necesarias para que el agua sea considerada adecuada para el consumo humano, se divide en parámetros físicos, químicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua (Baloitcha et al., 2022), es importante para consumo, agricultura, acuicultura y manufactura (Dey et al., 2021), y como valor ecológico, es esencial para el crecimiento económico y la salud (Chávez, 2018). A nivel mundial hay problemas con la calidad del agua debido a la urbanización, la industrialización, la eliminación de desechos y las actividades humanas, los parámetros de calidad del agua se han deteriorado en áreas densamente pobladas (Fikadu, 2022), por lo tanto, es necesario examinar los parámetros de la calidad del agua, las cuales son químicos (amoníaco, cloruros, sulfatos, pH, y sólidos disueltos), físicos (sabor, olor, color, turbidez, conductividad eléctrica, entre otras) (Franco et al., 2023), y inorgánicos (metales pesados como el plomo, cadmio, arsénico, mercurio, entre otros) (Ferro et al., 2023).

2.2.3. Aguas subterráneas

El agua subterránea es un recurso esencial para el desarrollo urbano, donde el problema radica en la cantidad y calidad de este recurso de agua dulce (Schmidlin et al., 2023), principalmente utilizadas como fuente primaria de agua potable, agrícola, doméstica y no doméstica (Demelash et al., 2023).

También se encuentran elementos, iones, compuestos y rocas las cuales se pueden disolverse entre sí en el agua subterránea formando compuestos disueltos (Mukate et al., 2020).

2.2.4. Arsénico

El arsénico es un elemento que forma parte del grupo V-A en la tabla periódica, con un peso atómico de 74.92 y un número atómico de 33.

Además, muestra características que oscilan entre metales y no metales, siendo considerado metaloide. Sin embargo, debido a su energía de ionización y electronegatividad, predominan las características de no metal y posee la capacidad de generar más aniones que los cationes. Es un metal pesado altamente tóxico, ha generado una gran preocupación debido a sus efectos perjudiciales en el medio ambiente (Ding et al., 2023).

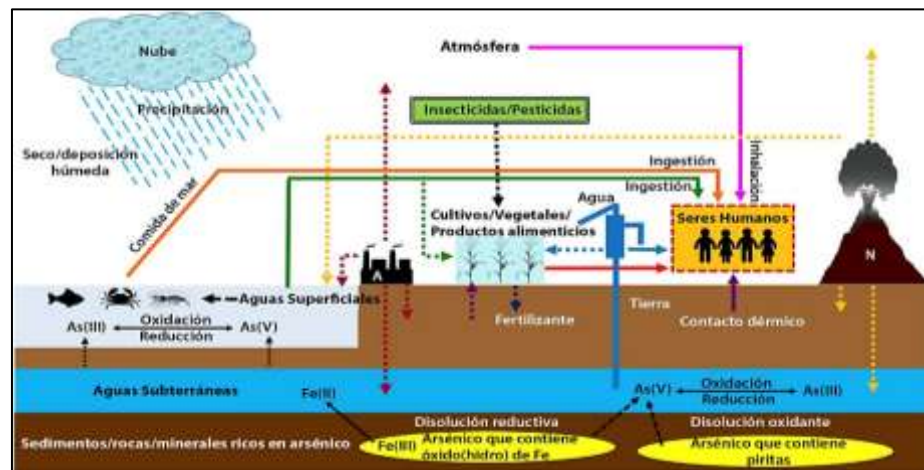
a. Fuentes de arsénico

- **Fuentes naturales:** Este metaloide se genera de manera natural, representa el elemento 20 más prevalente en la corteza de la tierra y forma parte de más de 245 minerales. Los minerales son los principales generadores de arsénico en el agua y se combina con un átomo de azufre, de tal manera se forman la arsenopirita (FeAsS), el orpimento (As_2S_3) y el realgar (As_2S_2) o (As_4S_4). Asimismo, las actividades volcánicas y la volatilización a bajas temperaturas son también fuentes de arsénico (Rahman et al., 2024).
- **Fuentes antropogénicas:** Las principales causas antropogénicas de As abarcan el uso de pesticidas, herbicidas, riego con agua contaminada, pintado o tinte, minería, fundiciones, tratamientos de madera, baños, vitamínicos, aditivos para aves y cerdos, productos farmacéuticos y cigarrillos (Phat & Le, 2023).

En la figura 2 se muestra el ciclo del arsénico en el medio ambiente y sus fuentes de arsénico.

Figura 2

Ciclo del arsénico en el medio ambiente (A: fuentes antropogénicas; N: fuentes naturales; Flechas punteadas: caminos del arsénico hacia diferentes sistemas ambientales; Flechas continuas: vías de exposición del ser humano al arsénico)



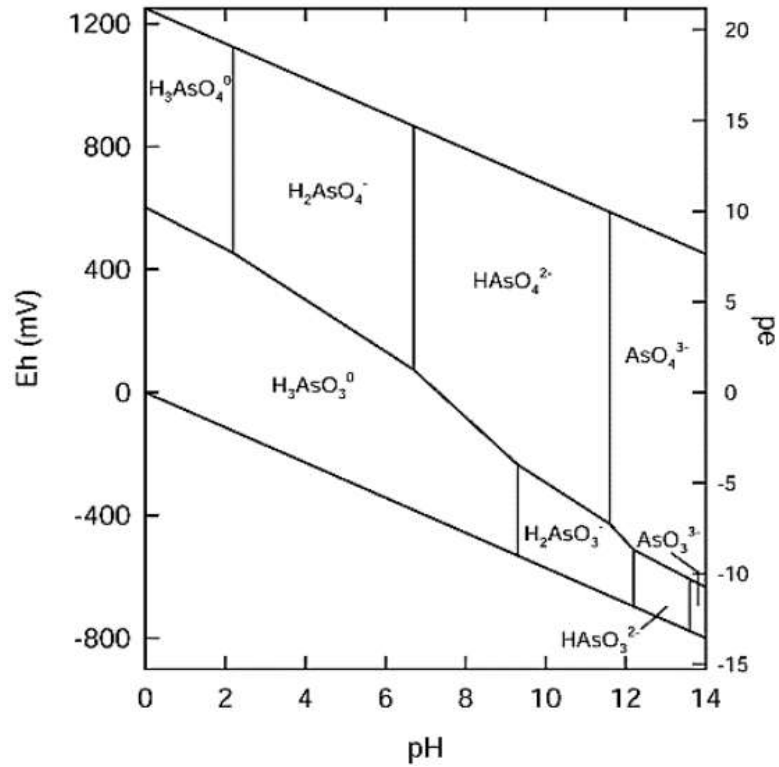
Nota: En la imagen se evidencia el arsénico en el medio ambiente, tomada de Yadav et al., (2021).

b. Especiación del arsénico en agua y movilidad según el pH

En aguas naturales, se presenta abundantes especies de arsénico, debido al pH y al potencial redox (Eh). El arsénico pentavalente predomina en condiciones oxidantes, que ocurren en aguas superficiales; en cambio, en condiciones reductoras (aguas subterráneas) el arsénico trivalente tiene una mayor concentración en aguas subterráneas (figura 3). En condiciones altas y moderadas de potenciales redox, el arsénico se puede estabilizar como una serie de oxianiones pentavalentes (V) o de arsenato como: AsO_4^{-3} , HAsO_4^{-2} , $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$ y H_3AsO_4 (figura 3 y figura 4b); mientras que en condiciones reductoras (ácidas y levemente alcalinas) y con menor potencial redox, predominan las especies trivalentes (III) o de arsenito como AsO_3^{-3} , HAsO_3^{-2} , $\text{H}_2\text{AsO}_3^{-1}$, y H_3AsO_3 , considerado el más tóxico (figura 3 y figura 4a) (Kowalski, 2014).

Figura 3

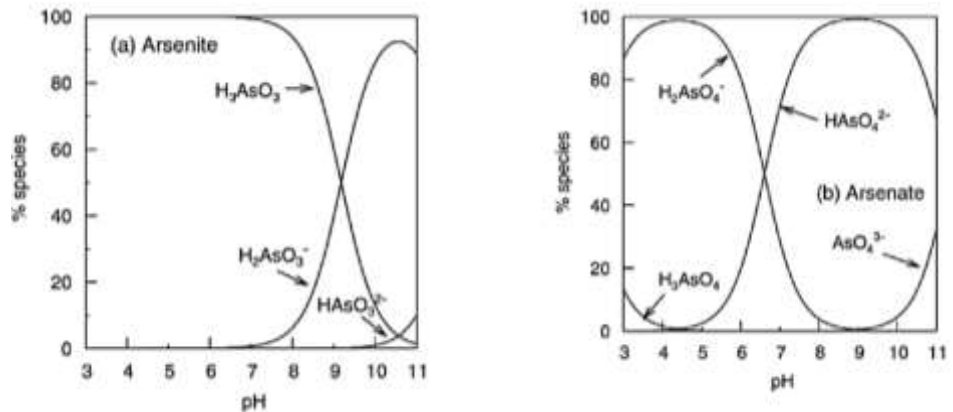
Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema As-O₂-H₂O a 25 °C y 1 bar de presión total



Nota: La figura muestra las especies acuosas de arsénico, tomada de Kowalski, (2014).

Figura 4

a) Especies de Arsenito (III) y b) Arseniato (V) en función del pH



Nota: En la figura se muestra las especies de arsenito y arseniato según el pH, tomada de Kowalski, (2014).

c. Toxicidad y efectos del arsénico sobre la salud

Más de 200 millones de personas en todo el mundo están expuestas a niveles peligrosos de arsénico, un tóxico ambiental, a través del agua potable contaminada, lo que plantea importantes riesgos para la salud pública (Wang et al., 2023), este elemento se encuentra en el agua en forma de arsénico inorgánico, presentando sus formas más dañinas como As (III) y As (V), en donde el As (III) es 10 veces más tóxico que el As (V) en consecuencia es más complicado su remoción. El arsénico contribuye a muchos problemas de trastornos humanos (Kakavandi et al., 2023). Según estudios epidemiológicos la exposición al arsénico inorgánico está relacionada con el desarrollo de muchas enfermedades, como el deterioro cognitivo, la insuficiencia cardiovascular y el cáncer (Su et al., 2023).

2.2.5. Arsénico en aguas subterráneas

La contaminación por arsénico de las aguas subterráneas es un peligro natural para la salud humana en todo el mundo (Meyer et al., 2023), más de 500 millones de personas en 107 países han sido afectadas por la amenaza de la contaminación por arsénico de las aguas subterráneas (Ansari et al., 2023). Uno de los contaminantes geogénicos que se encuentran naturalmente en el agua es el arsénico, que se encuentra en minerales como la pirita (FeS_2), la arsenopirita (FeAsS) y otros, al erosionar estos minerales, se libera arsénico soluble en el agua natural en cuanto a las actividades antropogénicas, el arsénico pueden provenir de la minería, los productos farmacéuticos, la agricultura, los aditivos alimentarios, los pesticidas y otras actividades (Phat & Le, 2023). El arseniato " As^{+5} " es más común en aguas superficiales con alto contenido de oxígeno y el arsenito trivalente (As^{+3}) predomina en condiciones reductoras, con frecuencia en sedimentos de lagos o aguas subterráneas " As^{+3} " (Zapana, 2022).

2.2.6. Turbiedad

La turbidez del agua describe las propiedades ópticas o los efectos que se producen cuando los rayos de luz se dispersan o interfieren a través de una muestra de agua, se mide por la cantidad de agua que pierde su pureza como resultado del equilibrio de partículas coloidales, aumenta conforme a la cantidad de materias suspendidas en ella, estas pueden ser organismo diminutos o arcilla (Dey et al., 2021).

Las mediciones de turbidez son cruciales para el agua potable de los seres humanos y para una variedad de industrias de procesamiento de alimentos y bebidas (Maldonado, 2023), su consumo con concentraciones altas de turbidez, puede provocar vómitos y diarreas (Slim, 2023).

a. Efecto del consumo de agua turbia en la salud

La turbiedad del agua puede causar enfermedades gastrointestinales “diarrea”, fiebre, dolores de cabeza hasta pueden llegar a tener hepatitis las personas que tienen deficiencia inmunológica, además de ello la sequedad en la piel y el cuero cabelludo sería consecuencias del consumo de agua turbia (Muoio et al., 2020).

2.2.7. Durazno

El durazno (*Prunus persica*), es un árbol caducifolio con frutos de la región de Pérsico; su textura, aroma, sabor y su color que presenta lo convierten en una fruta comercial importante, con mayor producción en Lima, seguido de Ayacucho y Ancash en el año 2017 (Requena, 2022), y sus especies más cultivadas son el huayco rojo, nectarina, huayco crema, dixie red y fortaleza (Velásquez, 2014). Según Julca y Tolentino (2016), presenta la siguiente clasificación taxonómica:

División: Antófitas.

Subdivisión: Angiosperma.

Clase: Dicotiledóneas.

Orden: Rosales.

Familia: Rosáceas.

Subfamilia: Prunoideae.

Género: Prunus.

Subgénero: Amygdalus.

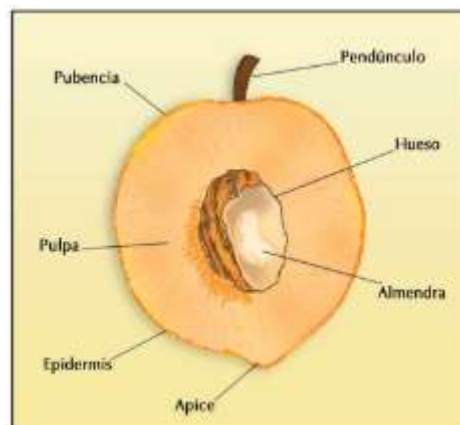
Especie: *Prunus persica* L.

a. Huesos de durazno

Los huesos de durazno se considera un ovulo fecundado y maduro que se encuentra encerrado dentro del ovario desarrollado y maduro, conocido como fruto y es de color marrón e impermeable al agua (Canchari, 2018). Los huesos de durazno puede ser una buena opción para la separación de contaminantes de suspensiones acuosas y otras sustancias solubles (Pruchniak et al., 2020).

Figura 5

Partes del fruto de durazno



Nota: La figura muestra la composición del fruto de durazno, tomada de Baíza, (2004).

2.2.8. Carbón activado

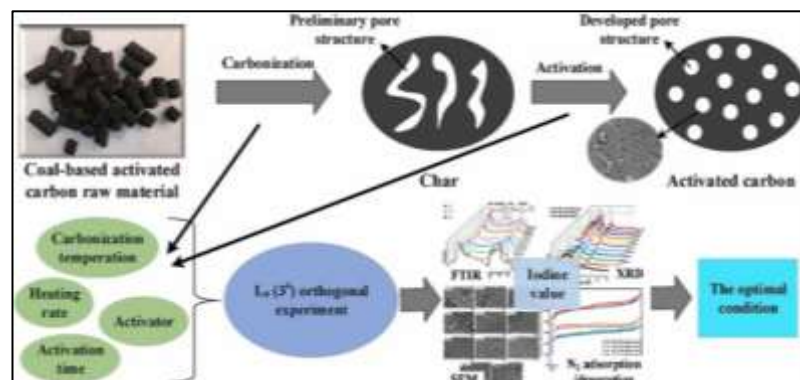
Es un producto adquirido a partir de carbones sin forma, tras ser sometidas a un tratamiento de activación logra desarrollar áreas superficiales de 1200 hasta 1,500 m²/ gramo de carbón considerado excepcionalmente alta (Sevilla, 2011). Los carbones muy porosos producidos a partir de materiales ricos en carbono se denominan "carbón activado" (Vasiraja et al., 2023), producidos a partir de materiales carbonosos naturales como huesos de frutas, lignitos, carbón de hulla, turba, mediante diferentes procesos como carbonización y activación, también por métodos de bioregeneración y modificación de la superficie (Zhang et al., 2017; Vilca, 2022).

Debido a su alta capacidad de adsorción de varios metales pesados y contaminantes orgánicos, es utilizado ampliamente para controlar y remediar una variedad de problemas ambientales, gracias a su amplia superficie y estructuras porosas bien desarrolladas. (Wang et al., 2020).

- La capacidad de adsorción no se ve influenciada por la humedad, que se incrementa al reducirse el tamaño de las partículas de carbón. (Barreto, 2013).
- La adsorción y algunas propiedades del carbón activado pueden verse afectadas por la ceniza y el material volátil, el contenido y la composición (Barreto, 2013)
- El carbón fijo, se determina mediante el método ASTM (2021), restando 100 a los porcentajes humedad más volátiles y cenizas.

Figura 6

Carbón activado



Nota: La figura muestra el proceso de elaboración de carbón activado, su estructura física y química, tomada de Zhao et al., (2023).

2.2.9. Características del carbón activado

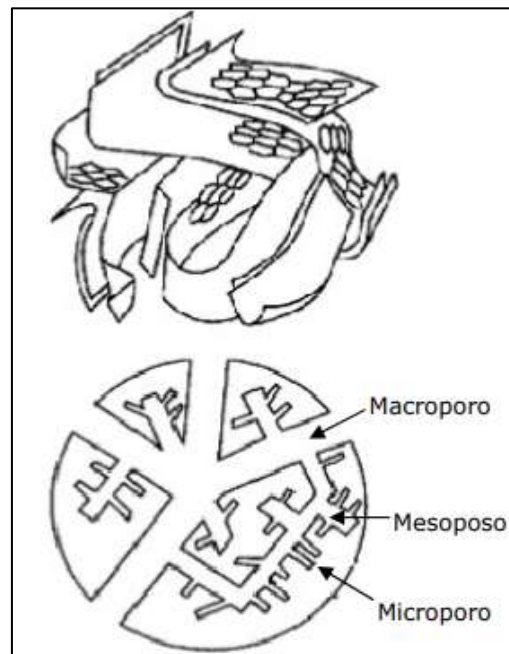
Las características del carbón activo final, están sujetas tanto al tipo de materia prima y al método de activación utilizada (Julián, 2011).

a. Estructura del carbón activado (porosidad)

La estructura jerárquicamente porosa de los carbones activados incluye macroporos, microporos y mesoporos (Zhu et al., 2023), de acuerdo a su radio se distinguen tres tipos de poros: los macroporos son mayores que 25 nm, mesoporos son mayores a 1 nm y los microporos son menores a 1 nm (Asqui, 2023), y se clasifican en dos tipos: granular y polvo, esto depende del tamaño de grano del mismo (grano grueso o grano fino) (Sevilla, 2011). El tamaño de los poros es crucial porque de ello dependerá el rendimiento de la adsorción (Liu et al., 2022).

Figura 7

Carbón activado según su ramificación de poros



Nota: En la figura se muestra los diferentes tipos de poros que contiene el carbón activado, tomada de Gonzáles, (2017).

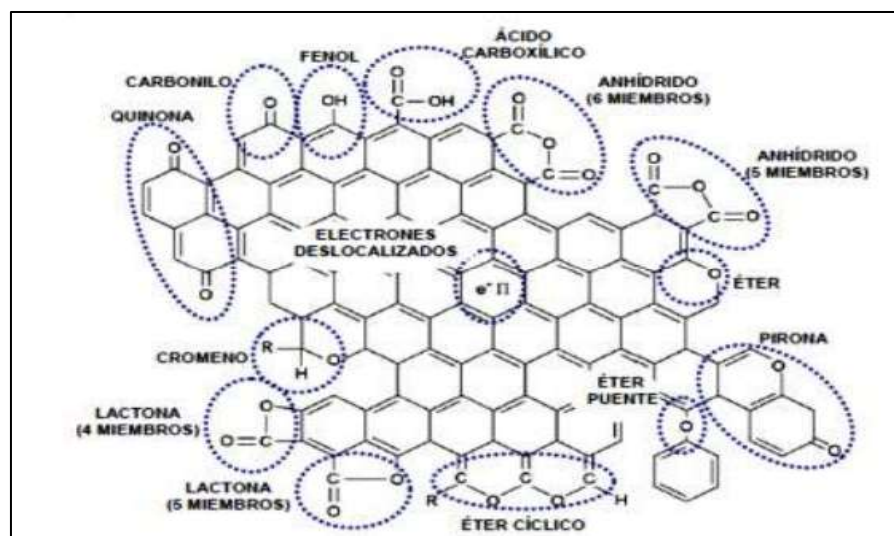
b. Composición química

La carbón activado tiene una composición química pura, como el diamante, el negro de humo, grafito, diversos carbones, minerales o de leña, además de ello tienen la propiedad de adsorber (Alvarado, 2023), con una aproximaciones de 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno (Sevilla, 2011).

Estos grupos mediante reacciones químicas en los centros activos del carbón con oxígeno procedente del material precursor, la cantidad y naturaleza de estos grupos suele variar según al grado de oxidación, los grupos superficiales tipo ácidos carboxílicos, lactonas, anhídridos o fenoles confieren carácter ácido a los carbones activos (Asqui, 2023). El carbón activado contiene grupos funcionales como hidroxilo (-OH), carboxilo (-COOH), amino (-NH₂) y fosfato (-PO₄), estos pueden interactuar con el arsénico a través de enlaces químicos (González, 2017).

Figura 8

Grupos oxigenados en la superficie de un carbón activado



Nota: La figura muestra la composición química del carbón activado, tomada de González, (2017).

c. Carga superficial

En la superficie del carbón activado predominan las cargas negativas, lo que resulta más favorable para la adsorción de cationes, mientras que las superficies con una carga neta positiva lo harán para la adsorción de aniones (Radovic et al., 2021).

d. pH de punto cero de carga

El pH de punto cero de carga (pHPZC) del carbón activado se aproxima a 7, lo que señala que este carbón posee una carga negativa a pH que supera los 7 (Tiryaki et al., 2014).

e. Contenido de oxígeno

El carbón activado posee un alto contenido de oxígeno, lo que favorece la oxidación de arsenito a arseniato (Tiryaki et al., 2014).

f. Presencia de iones fosfato

La presencia de iones fosfato en el carbón activado contribuye a la creación de complejos con el arsénico, mejorando así la eficacia de la adsorción (Tiryaki et al., 2014).

g. Materia prima

La elaboración de carbón activado puede utilizar cualquier ingrediente rico en carbono ya sea de origen animal, vegetal o mineral, usualmente se emplean carbones grasos o bituminosos, por ejemplo el coque de petróleo, turba, madera, cáscara de nuez, coco o almendra, huesos, entre otros productos residuales de naturaleza lignocelulósica, sus características estructurales dependerán del material seleccionado (Asqui, 2023; Tiryaki et al., 2014).

2.2.10. Método de activación del carbón activado

La activación física o química son los dos métodos principales para la producción de carbones activados (Serafin et al., 2023), para convertir el material carbonáceo en un material altamente adsorbente aumentando su porosidad interna y creando grupos funcionales específicos (Rincón et al., 2015).

a. Activación física o térmica

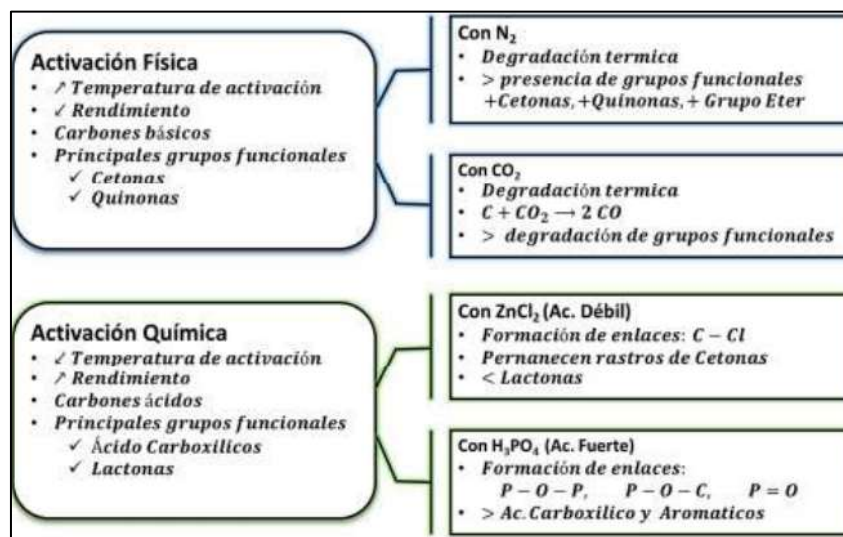
La activación física puede realizarse en uno o dos pasos, esto implica que primero la materia prima se puede carbonizar primero y luego activar, o también después de la carbonización se recolecta y se somete al proceso de activación con gases oxidantes como vapor, CO_2 u O_2 a temperaturas que estén en el rango de 600 y 1000 °C (Andia et al., 2020; Serafin et al., 2023), la activación física no es tan efectiva para ajustar la porosidad del carbón activado como la activación química (Korkalo et al., 2023).

b. Activación química

En la activación química, el agente activador se mezcla físicamente o se impregna con el material de partida, luego se calienta en una atmósfera inerte a temperatura de 400 a 950 °C (Alsulaili et al., 2023). Los activadores más comunes son el HNO_3 , FeCl_3 , H_3PO_4 , K_2CO_3 , KOH , NaOH y el ZnCl_2 , estos agentes activadores se eliminan lavándolo con agua alcalina, ácido o agua (Serafin et al., 2023), el tratamiento ácido produce biocarbón activado; elimina las impurezas, agrega grupos funcionales ácidos a la superficie del biocarbón, aumenta la retención de carbono durante la pirólisis, crea nuevos poros y aumenta la cantidad de poros existentes, mejora la superficie específica y mejora la capacidad de sorción (Salimi et al., 2021).

Figura 9

Principales características de las activaciones físicas y químicas



Nota: La figura muestra los tipos de activación del carbón activado, tomada de Gonzáles, (2017).

- **Activación química con H_3PO_4**

El proceso de activación con ácido fosfórico (H_3PO_4 al 85% se emplea mayormente para activar residuos orgánicos, tiene un efecto muy fuerte en la modificación de la superficie, antes de la pirólisis mejora el rendimiento de carbón mediante la reticulación y la retención de especies de bajo peso molecular en la fase sólida y estabiliza la estructura de la celulosa (Duyoner et al., 2023), se forman puentes fosfato y polifosfato que conectan los fragmentos del biopolímero, también indican que con el activador H_3PO_4 y NaOH se desarrolla una estructura porosa uniforme o microporos, mientras que con los otros activadores se observan una captación de nitrógeno en exceso (Bibi et al., 2023), además facilita la adsorción de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos debido a la presencia de nuevos grupos funcionales que contienen oxígeno/fósforo (Salimi et al., 2021). Las proporciones de impregnación es variable y esto da lugar a carbones con distintas propiedades, en cuanto al rendimiento en carbón activado suele ser del 50 % (Sevilla, 2011).

- **Ventajas de la activación química**

Requiere menores temperaturas de pirólisis, solo se realiza en una etapa, el rendimiento del carbón activado es mayor en comparación de una activación física, se desarrolla satisfactoriamente la microporosidad, se produce un importante descenso en contenido mineral de la muestra, se obtiene carbón activado de superficie específica muy elevada (Lillo-Ródenas et al., 2003).

- **Desventajas de la activación química**

Requiere de una etapa de lavado y también el proceso es corrosivo (Teng & Lin, 2017).

2.2.11. Metodología de análisis morfológico

a. Microscopio Raman

Un microscopio Raman es un dispositivo que fusiona un microscopio óptico y un espectrómetro Raman, facilitando la adquisición de datos químicos y estructurales de muestras de casi cualquier material o compuesto orgánico y inorgánico permitiendo así su identificación a microescala a través de la espectroscopia Raman, este equipo se emplea para caracterizar materiales de carbón activado, principalmente para analizar la estructura molecular, área superficial y el grado de orden o desorden del material, más que en determinar directamente el tamaño de los poros (Gutiérrez & Otero, 2015).

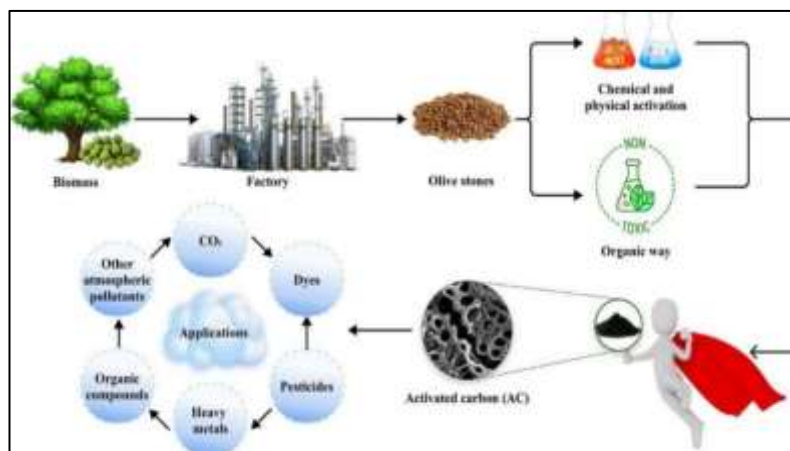
2.2.12. Aplicaciones del carbón activado

El carbón activado en polvo (medio líquido) y granular, se puede utilizar para:

- Eliminar las impurezas del agua potable (mejora las propiedades organolépticas del agua).
- Tratamiento de aguas residuales.
- Tratamiento de aguas en procesos industriales.
- Filtración de aguas subterráneas, filtración de aguas de piscinas, aguas residuales tratadas y aire.
- Tratamiento de gases.
- Decoloración de vino, jugo y vinagre.
- Filtración de productos de industria alimentaria.
- Limpiar agua superficial y agua de pozo.
- Desodorizar suelas de calzados.
- Eliminar cloro libre en agua potable, entre otras aplicaciones (Zapana, 2022).

Figura 10

Obtención del carbón activado y sus aplicaciones



Nota: Se muestra en la figura el ciclo del carbón activado, tomada de Serafin et al., (2023).

2.2.13. Pruebas de adsorción

Es una tecnología de remoción veloz, con costes relativamente baratos y accesibles a diferencia de otras técnicas (Abrill & Cerna, 2024).

El fenómeno de adsorción ocurre cuando átomos o moléculas de una sustancia en una fase se retiene en la superficie de otra sustancia en otra fase, en la cual este proceso genera una capa de líquido o gas en la superficie de una sustancia sólida o líquida (González, 2010).

La adsorción contempla dos tipos de fuerzas, las cuales son las físicas que implican ser momentos dipolo, fuerzas de polarización, fuerzas de dispersión o interacciones repulsivas de corto alcance; también están las químicas que son fuerzas de valencia derivadas de la redistribución de los electrones entre la superficie solidad y los átomos adsorbidos (Abrill & Cerna, 2024).

El proceso de adsorción contempla 3 etapas, la primera cuando se da la difusión externa, en la cual el adsorbato se acerca a la superficie externa del sólido, venciendo la resistencia de la interface sólido-líquido, la segunda etapa toma lugar la difusión interna, debido a que la superficie externa tiende a ser menor a 1 % del total, por lo tanto, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido para finalmente producirse la adsorción en la tercera etapa (Asqui, 2023).

Este método se utiliza con mayor frecuencia en tratamientos de contaminantes disueltos, en general contaminantes orgánicos o inorgánicos (Figuroa et al., 2015). El carbón activado, la alúmina activada, los minerales arcillosos “como la caolinita y la montmorillonita”, los minerales de óxido de hierro y los adsorbentes artificiales son los más utilizados para eliminar arsénico (Yadav et al., 2021).

a. Adsorbente

Es el material sólido sobre el cual se produce la adsorción (Tubert & Talanquer, 2018).

b. Adsorbato

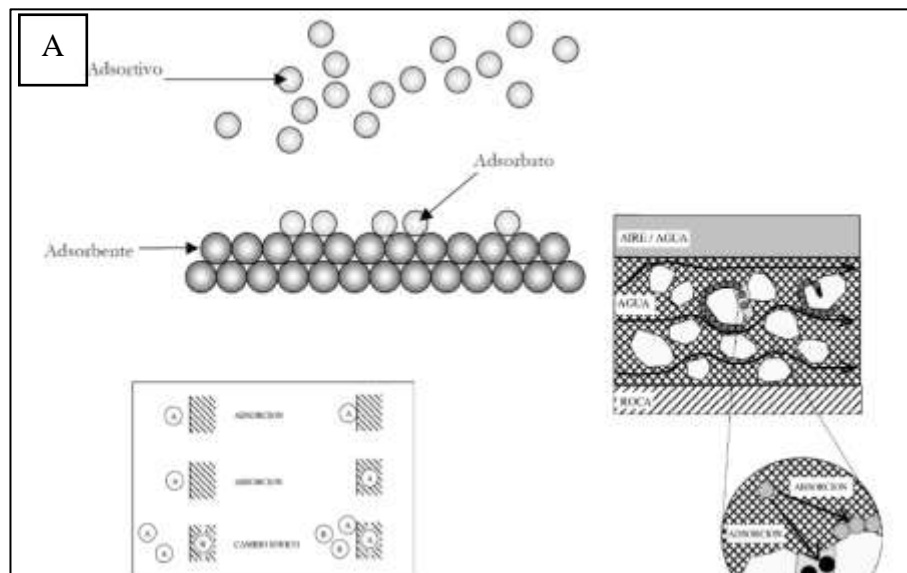
La sustancia que se adsorbe en la superficie del adsorbente (Tubert & Talanquer, 2018).

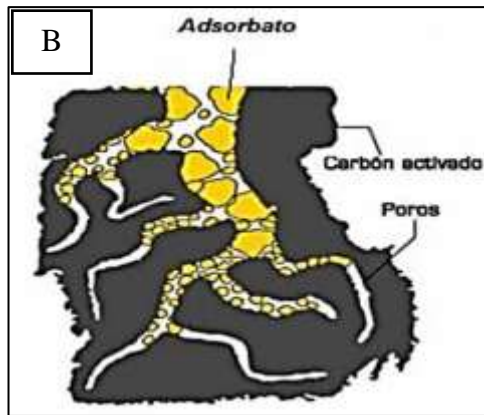
c. Adsorbtivo

Es el ion o molécula que se va a adsorber (Coronas, 2013).

Figura 11

a) Diferentes procesos de sorción y b) Adsorción mediante el carbón activado





Nota: En la figura a, se muestran los diferentes tipos de adsorción empleando el carbón activado, además de ello en la figura b, se evidencia el proceso de adsorción, tomadas de Coronas, (2013) y Fiestas & Millones, (2021).

d. Procesos de adsorción

Existen dos procesos de adsorción la cual se puede llevar de forma continua o discontinua.

- De manera discontinua o por contacto: el adsorbente se incorpora a la disolución en forma pulverizada (≤ 200 mallas), agitando y aumentando la temperatura al grado que sea de interés y posteriormente se separa el adsorbente del líquido mediante procesos como la decantación, centrifugación, filtración, entre otros (Julián, 2011).
- De manera continua o por percolación usualmente se realiza a través de una columna, donde el adsorbente tiene forma granular (40 a 80 malla), resulta más asequible que la operación discontinua y ha descubierto más usos (Julián, 2011).

2.2.14. Mecanismo de adsorción

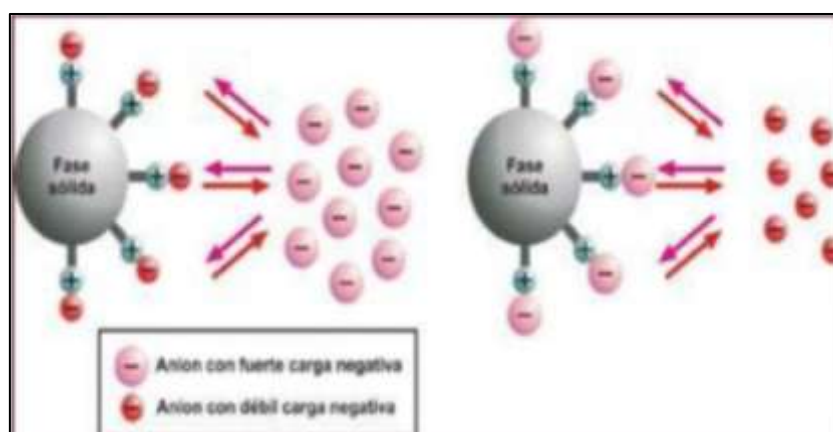
La unión del adsorbato y el adsorbente en el proceso de adsorción es sumamente compleja y lleva a cabo mediante diferentes mecanismos, por ejemplo: adsorción física (fisisorción), adsorción química (quimisorción), intercambio iónico y complejación; el tipo dependerá de los aspectos de la fuerza con la que se interrelacionen entre sustancias gaseosa o químicas, y la etapa sólida (Abrill & Cerna, 2024).

a. Adsorción física (fisisorción)

La fisisorción se da cuando el adsorbente y el adsorbato se unen mediante fuerzas de van der Waals, esta molécula, cuando se adsorbe, no se queda en un lugar específico de la superficie; más bien, tiene la capacidad de moverse a lo largo de la interfase, además produce una adsorción en multicapas y se da a bajas temperaturas. En síntesis, la adsorción física mediante los poros del carbón activado es un proceso esencial que aprovecha la estructura porosa y la amplia superficie del material para capturar eficazmente diversas moléculas (Gökırmak & Gülcan, 2023; Asqui, 2023). En la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química (Barreto, 2013).

Figura 12

Adsorción física (fisisorción)



Nota: En la figura se muestra la fisisorción, tomada de Porras & Martínez, (2019).

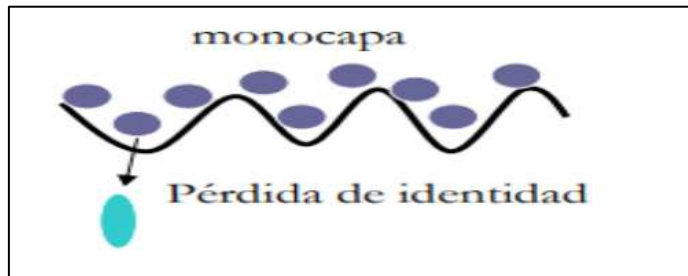
b. Adsorción química (quimisorción)

La quimisorción mediante procesos de carácter químico lo cual indica compartir o intercambiar electrones entre las moléculas de adsorbato (metal) y la superficie del adsorbente presentando verdaderos enlaces químicos (Asqui, 2023). En síntesis, la adsorción química se basa en la formación de enlaces covalente o iónicos entre las moléculas adsorbida y los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado (Gökırmak & Gülcan, 2023).

En la quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando presencia a una especie distinta (Barreto, 2013).

Figura 13

Adsorción química (quimisorción)



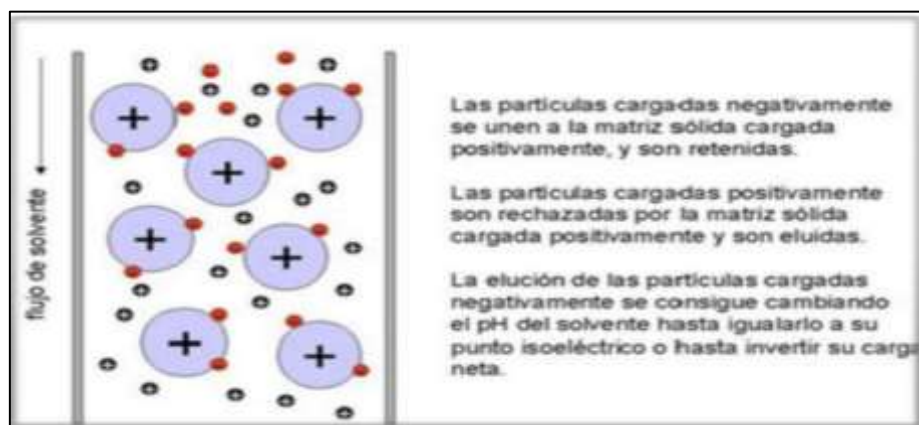
Nota: En la figura se muestra el proceso de quimisorción, tomada de Porras & Martinez, (2019).

c. Intercambio iónico

La mayor parte de los adsorbentes poseen en sus estructuras sales de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , las cuales pueden ser reemplazadas por metales y mantenerse unidos al material (Gökırmak Söğüt & Gülcan, 2023).

Figura 14

Intercambio iónico



Nota: Se muestra en la figura el proceso de intercambio iónico, tomado de Porras & Martinez, (2019).

d. Complejación

Este proceso implica la formación de complejos de esfera interna, donde el ion metálico se vincula directamente a átomos donadores de electrones en la superficie del material adsorbente, sin la intervención de moléculas de agua entre ellos, además este tipo de interacción suele ser más intensa y específica que la adsorción por intercambio iónico (Ramón et al., 2019).

Tabla 1

Diferencias entre adsorción física y química.

Fisisorción	Quimisorción
Enlaces débiles. Interacciones de van der Waals.	Enlaces fuertes de corto alcance
Entalpía de adsorción está entre los 10 y 20 kJ/mol.	Entalpía de adsorción se encuentra entre 40 y 400 kJ/mol.
Al incrementar la temperatura, se reduce la adsorción. Es un proceso reversible.	Un incremento en la temperatura puede favorecer la adsorción. Es un proceso irreversible.
La adsorción toma lugar en cualquier punto del adsorbente.	La adsorción se lleva a cabo en puntos específicos en la superficie.
Se lleva a cabo en una monocapa o en multicapa.	Se realiza la adsorción en una monocapa.
No existen reacciones superficiales tales como de neutralización, descomposición, etc.	Pueden darse reacciones superficiales (disociación, catálisis, reconstrucción, etc.)

Nota: Esta tabla muestra las diferencias que existen en la adsorción física y química, según lo indicado por Fiestas & Millones, (2021).

2.2.15. Factores que influyen en el proceso de pruebas de adsorción

Los factores que impactan en la adsorción son el pH, temperatura, cantidad de adsorbente, propiedades del adsorbente (grupos funcionales en el área del adsorbente y el área específica del adsorbente), el tamaño de partícula del adsorbente, tiempo de contacto, velocidad de agitación, presencia de otros iones (Pruchniak et al., 2020; Abrill & Cerna, 2024; Qiu et al., 2021).

a. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH, es el aspecto más importante en los procedimientos de biosorción, este impacta en la composición de la solución metálica, el accionar de las agrupaciones funcionales en la biomasa y la competitividad de los iones metálicos (Barreto, 2013), Adicionalmente, el pH de la solución influye en la carga superficial de los adsorbentes (Gao et al., 2020). Además, la eficiencia remoción en pruebas de adsorción es afectada por el nivel de ionización del adsorbato, que también se encuentra sujeto al pH de la solución (Qiu et al., 2021).

b. Temperatura

La temperatura influye en la eficacia de la adsorción, lo que significa que un incremento de la temperatura aumenta la solubilidad de los metales en el agua, lo que favorece el desplazamiento de los metales de la fase sólida a líquida (Zhang et al., 2021), pero a altas temperaturas, esta puede provocar alteraciones en la textura del adsorbente y una degradación del material, lo que puede resultar en una disminución de la capacidad de adsorción (Tejada et al., 2015).

c. Cantidad de adsorbente

La cantidad de adsorbente es un factor que influye en el proceso de adsorción en donde en la mayoría de investigaciones indican que a mayor cantidad de adsorbente aumenta el porcentaje de adsorción, esto debido al aumento de la cantidad de sitios activos del adsorbente (Carbonel, 2018). Mientras que Cheng et al., (2012), señalan que al aumentar la cantidad de adsorbente, el pH disminuye aún más, lo cual permite que los iones metálicos accedan más fácilmente a los lugares de adsorción ácidos, lo que reduce la eliminación del metal por el adsorbente.

Una disminución de adsorción de metales pesados en el adsorbente podría atribuirse a la adición del adsorbente en mayor cantidad lo cual incrementa la posibilidad de choque entre partículas, y esto podría provocar una aglomeración de partículas que disminuya la superficie (Carbonel, 2018).

d. Propiedades del adsorbente

La adsorción depende de las propiedades del adsorbente como por ejemplo propiedades de la estructura (de los poros), composición química, carga superficial, pH de punto cero de carga, contenido de oxígeno, presencia de iones fosfato, etc., (Asqui, 2023; Berrenechea & Román, 2021).

e. Tamaño de partícula del adsorbente

Es la captura de partículas tras agitar una muestra a por medio de una serie de tamices con orificio cuadrado, está ligada a la geometría y dimensiones de la misma (Luna, 2016). Según Pérez et al., (2022), el tamaño de partícula del adsorbente influye significativamente en la adsorción de electrolitos débiles en carbón activado, a menor tamaño de partícula, mayor es la adsorción.

f. Tiempo de contacto

El tiempo de contacto es crucial en las pruebas de adsorción, ya que establece el tiempo que los metales y el adsorbente necesitan para llegar a un equilibrio, a medida que se aumenta el tiempo de contacto, la cantidad de metal adsorbido se incrementará (Igberase & Osifo, 2015).

g. Velocidad de agitación

Tefera et al. (2020), indica que al incrementar la velocidad de agitación conduce a una dispersión de las partículas adsorbentes en la solución acuosa, es por ello que propone una velocidad de agitación de 200 rpm para una eliminación eficiente.

h. Presencia de otros iones

En la adsorción, la presencia de otros iones compite en la afinidad hacia el medio adsorbente, como los fosfatos, carbonatos, sulfatos, fluoruros, silicatos, entre otros (Wang et al., 2014).

Por ello se tendrá en cuenta el debido control de cada factor o parámetro puesto que estas varían, y esto dependerá el éxito o fracaso del tratamiento (Llanos et al., 2016).

2.2.16. Eficiencia de remoción

a. Eficiencia de remoción de arsénico

Es la conexión entre la concentración de arsénico al inicio del experimento y la que se logra al término. La siguiente fórmula será utilizada para calcular la eficiencia de remoción de arsénico.

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Co: Concentración inicial de arsénico (mg/L) y Cf: Concentración final de arsénico (mg/L).

b. Eficiencia de remoción de turbiedad

Es la relación entre la cantidad de turbiedad al comienzo del experimento y la cantidad de turbiedad al final del mismo. La eficiencia de remoción de turbiedad se calculará utilizando la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de remoción} = \frac{T_o - T_f}{T_o} * 100 \quad (2)$$

Donde:

To: Turbiedad inicial (NTU) y Tf: Turbiedad final (NTU).

2.2.17. Normativa ambiental

El MINAM mediante el decreto Supremo N° 004-2017-MINAM establece los niveles de concentración de las sustancias, elementos, parámetros químicos, físicos y microbiológicos anexados en la tabla 18, que se encuentran presentes en el agua en condición de cuerpo receptor y componente básico de ecosistemas acuáticos que no representen un riesgo significativo para la salud del ambiente y de las personas (MINAM, 2017).

2.2.18. Análisis estadístico factorial

El análisis estadístico factorial es un modelo que representa las relaciones de un conjunto de variables, que al relacionarse son llamados factores, estos diseños factoriales cuentan con dos o más variables independientes y es frecuentemente utilizado en investigaciones experimentales, además este análisis factorial indica el grado en que las categorías se juntan a lo largo de un número limitado de dimensiones (Martínez & Sepúlveda, 2012; Ferrando & Anguiano, 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Variables de investigación

3.1.1. Variables independientes

- Cantidad de carbón activado (1.4 g, 2 g y 2.7 g)
- pH (5, 6 y 8)
- Tiempo de contacto (30, 60 y 90 minutos)

3.1.2. Variables dependientes

- Remoción de arsénico (% de As)
- Remoción de turbiedad (% de Turbidez)

3.2. Operacionalización de variables

En la tabla 2 se muestra la operacionalización de variables.

Tabla 2*Operacionalización de variables.*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Escala de medición			
Variab le s in de pe n di en te s	Pruebas de adsorción	Cantidad de carbón activado	1.4 2 2.7	g	Escala de intervalos		
		pH	5 6 8	Unidades de pH			
		Tiempo de contacto	30 60 90	Minutos			
		Variab le s fi jas	Obtención de Carbón Activado	Carbón activado			g
				pH			Unidades de pH
				Temperatura			°C
Variab le s de pe n di en te s	Parámetros fisicoquímicos de agua subterránea	Conductividad eléctrica		µS/cm	Escala de intervalos		
		Turbiedad		NTU			
Variab le s de pe n di en te s	Parámetros inorgánicos de agua subterránea	Arsénico		mg/L			
		Concentración de turbiedad	Determinar la eficiencia de remoción de turbiedad	%	Escala de intervalos		
	Concentración de arsénico	Determinar la eficiencia de remoción de arsénico					

Nota: Esta tabla muestra las variables independientes, fijas y dependientes, además de las dimensiones, indicadores, unidades y la escala de medición.

3.3. **Ámbito de estudio**

La investigación se llevó a cabo en la comunidad de Requena, situada en la cuna del dominio del distrito de Taraco, provincia de Huancané, perteneciente a la región Puno. Está localizada a 15°14'50" al sur y 69°58'48" al oeste de Greenwich, dentro de una región altitudinal.

Figura 15

Mapa de ubicación de la comunidad de Requena - Taraco - Puno



Nota: La figura muestra la ubicación geográfica de la comunidad campesina de Requena, elaboración propia, adaptado de ArcGIS.

3.4. **Tipo y diseño de la investigación**

La naturaleza de esta investigación es de tipo experimental, en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes para examinar su influencia en las variables dependientes (Cortés & Iglesias, 2004). Además, este estudio es de nivel o carácter explicativo, ya que estos estudios están orientados a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales, explicando la ocurrencia del fenómeno y las condiciones en la que se manifiesta (Hernández et al., 2014).

Se aplicó un diseño tipo factorial de 3 factores con 3 niveles de cada factor.

3.5. Población y muestra de estudio

3.5.1. Población

La población de la presente investigación está constituida por las aguas subterráneas del pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena en las coordenadas 406627.8E y 8311210.476N del distrito de Taraco - Puno.

3.5.2. Muestra

a. Unidades de estudio

Se llevaron a cabo pruebas para aplicar el tratamiento que se propone en este estudio. La investigación se centra en el agua subterránea de la comunidad rural de Requena, con un enfoque informático en el agua subterránea del pozo. En cuanto al arsénico y la turbidez, las unidades analíticas fueron 150 mL y 50 mL respectivamente. Por otro lado, en los 27 tratamientos se utilizó una unidad de experimentación de 200 mL.

b. Unidad de muestreo

En las pruebas que utilizan el tratamiento sugerido, las unidades de muestreo están constituidas por las aguas subterráneas del pozo de provisión de la comunidad rural de Requena.

c. Técnica o tipo de muestra

El tipo de muestreo para las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena utilizó el tipo de muestra "no probabilístico", porque fue seleccionada por criterio (juicio de expertos), esto significa que la elección de los elementos no está basada en probabilidad, sino en motivos vinculados con las características de la investigación (Pacori & Pacori, 2019).

Se estableció 1 punto de muestreo el cual es el pozo de abastecimiento de aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

a. Observación

La técnica que se utilizó en la investigación es “la observación”, el cual consiste en el registro sistemático, válido y confiable de situaciones observables (Hernández et al., 2014). Se obtuvo a través de los instrumentos: datos cuantitativos de parámetros fisicoquímicos y inorgánicos de la calidad del agua, características del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), concentración de arsénico y turbiedad en agua, y coordenadas del punto de muestreo de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

b. Instrumentos

La confiabilidad, la coherencia y los resultados consistentes son requisitos fundamentales de la medición o instrumento, que se utilizan por los investigadores para recopilar y registrar información (Hernández et al., 2014). Los instrumentos que se utilizaron en la presente investigación son: Espectrofotometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES), multiparámetro, hoja de datos y teléfono móvil (fotografías, GPS, cronómetro).

3.7. Equipos, materiales, reactivos e insumos

3.7.1. Equipos

Multiparámetro (Marca: Hanna INSTRUMENTS Modelo: HI 98190), balanza eléctrica “precisión” (Marca: Valtox; Modelo: Lc 30), balanza analítica (Marca: Oaus; Modelo: PX5), estufa eléctrica (Marca: P-SELECTA; Modelo: F6A), mufla eléctrica (Marca: LINN HIGH THERM), agitador magnético (Marca: Vortex; Modelo: RSLab), potenciómetro (Marca: Hanna; Modelo: HI 98183), Espectrofotómetro de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (Marca: SPECTRO GENESIS - ICP-OES; Modelo: PERKIN ELMER NexION 350), turbidímetro (Marca: LOVIBOND Water testing), tamizadora analítica (Marca: RETSCH AS 200 CONTROL), y teléfono móvil (Modelo: SANSUNG; marca: A20S), laptop (Modelo: 15-

DK1025LA ; marca: HP Pavilion Gaming), microscopio Raman (Marca: alpha300 R).

3.7.2. Materiales

Bandejas para secado de muestra, vasos de precipitado de (50, 250 y 600 mL), probetas de (250 y 500 mL), pipetas graduada de (10 y 20 mL), pipetas desechables de plástico de 3 mL, fioles de 100 mL, matraces Erlenmeyer (250 mL), tubos de ensayo, pera de succión, propipeta automática, espátulas de laboratorio, papel filtro Whatman 42, varilla de vidrio, pinza de crisol (acero inoxidable), crisoles con tapa de (25 mL y 100 mL), mortero con pilón, desecador de laboratorio, embudos de vidrio, Malla Tyler N° 35 y Malla Tyler N° 60.

3.7.3. Reactivos

Ácido clorhídrico (HCL – 0.1 M), azul de metileno, ácido fosfórico (H_3PO_4 al 85%), ácido nítrico (HNO_3 al 70 %) y NaOH (hidróxido de sodio) - 0.1 M.

3.7.4. Insumos

Agua destilada, huesos de durazno (*Prunus persica*), guantes látex, coolers, balde de plástico (color negro con tapa), barbijo desechable, bolsas con cierre hermético, etiquetas autoadhesivas, cinta maski, marcador permanente, cinta embalaje, ficha de campo, libreta de campo, EPPs, frascos de plástico, vasos desechables de plástico con tapas, jarra de plástico de 1 L, cuaderno de apuntes, combo, papel aluminio y guantes de cuero.

3.8. Métodos

3.8.1. Obtención de carbón activado mediante residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*)

a. Procedimiento para obtener carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*)

- **Recolección de residuos**

Se recolectó 5 kg de residuos de durazno (*Prunus persica*) en los mercados, viviendas y pastelerías de la ciudad de Juliaca, seguidamente se separó el mesocarpio y endocarpio, posteriormente con un combo se procedió a romper los huesos de durazno (*Prunus persica*) y extraer sus semillas, luego se empacaron en bolsas con cierre hermético colocados en un cooler para su transporte al laboratorio (Racancoj, 2022).

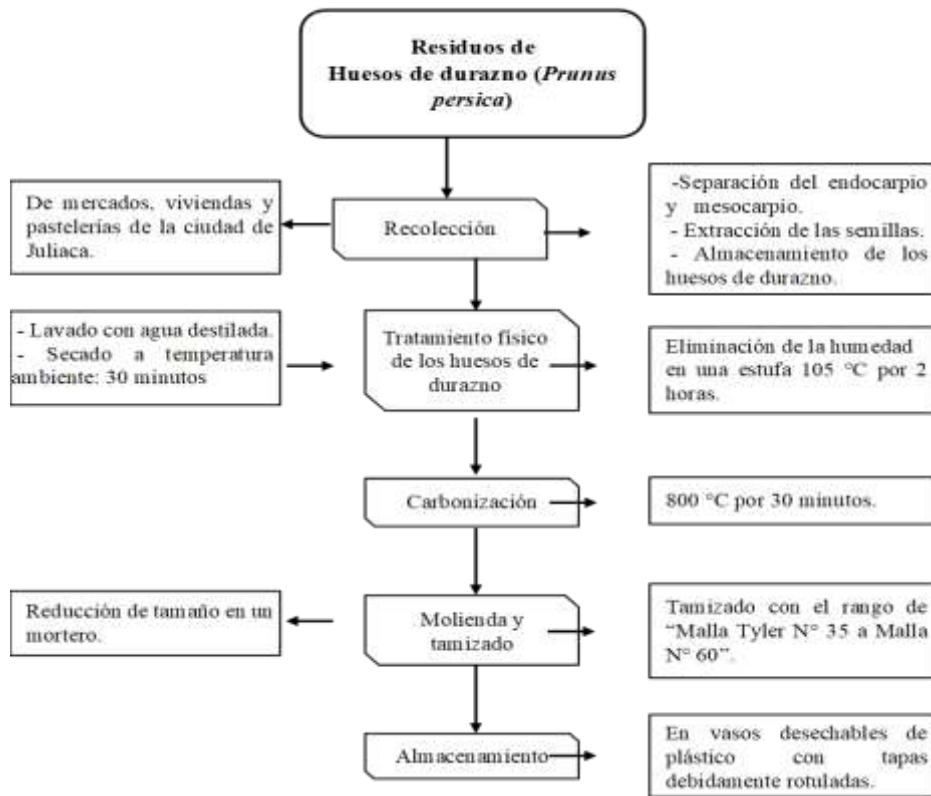
- **Tratamiento físico de los huesos de durazno (*Prunus persica*)**

El tratamiento físico de los huesos de durazno (*Prunus persica*), se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca (Sede la Capilla).

Los huesos de durazno (*Prunus persica*) se lavó con agua destilada para eliminar impurezas, enseguida las muestras se trasladó a unas bandejas y se dejó secar a temperatura ambiente durante media hora antes de pesarlas en una balanza analítica con el fin de registrar el peso inicial (Castaneda et al., 2023). Seguidamente se pesaron 400 g de muestra de huesos de durazno (*Prunus persica*) y posteriormente fueron colocados en una estufa eléctrica a una T° de 105 °C durante 2 horas para eliminar la humedad, luego del secado se retiró las muestras con la ayuda de una pinza, después se realizó la carbonización de los huesos de durazno en una mufla eléctrica a temperatura de 800 °C por un tiempo de 45 minutos, pasado el tiempo con ayuda de una pinza y guantes de cuero se procedió a retirar; luego se dejó enfriar por media hora en desecadores de laboratorio y seguidamente se hizo la molienda en un mortero. Después se realizó el tamizado entre el rango de mallas de “Malla Tyler N° 35 a Malla Tyler N° 60” (Ospina et al., 2014), finalmente se almacenó en vasos desechables de plástico con tapas debidamente rotuladas (Castaneda et al., 2023; Roncal & Vega, 2019; Lara et al., 2017).

Figura 16

*Diagrama de flujo de la recolección de residuos y tratamiento físico de los huesos de durazno (*Prunus persica*)*



Nota: El flujograma muestra la secuencia metodológica para la recolección de residuos y el tratamiento físico de los huesos de durazno (*Prunus persica*), elaboración propia.

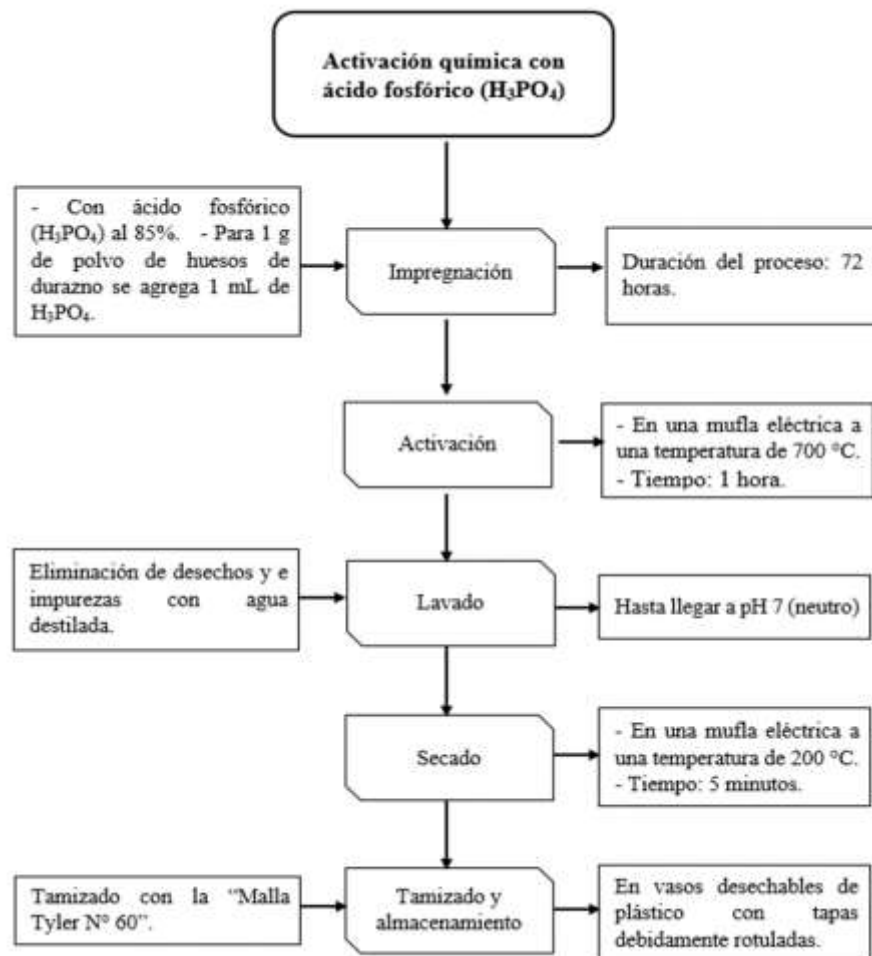
- **Proceso de activación química del carbón huesos de durazno (*Prunus Persica*)**

El proceso de activación de los huesos de durazno (*Prunus persica*) se realizó en los laboratorios de la Unaj (Sede la Capilla). Se procedió a impregnar ácido fosfórico (H_3PO_4 al 85%), ya que según Duyoner et al. (2023), tiene un efecto muy fuerte en la modificación de la superficie del carbón formando una estructura más porosa que la del carbón no activado, en relación (1:1) por cada gramo de polvo de huesos de durazno (*Prunus persica*) se agregó 1 mL de ácido fosfórico (Castaneda et al., 2023), y se dejó por 1 día y medio (36 horas).

Luego las muestras fueron traspasadas a crisoles para ser activadas en una mufla eléctrica hasta llegar a 700 °C en un tiempo de 1 hora (Wang et al., 2023; Sahu et al., 2023), luego se dejó enfriar por media en desecadores de laboratorio, después se lavó con agua destilada hasta llegar a pH 7 (neutro), posteriormente se secó en una mufla eléctrica durante 5 minutos a una temperatura de 200 °C (Bonifacio & Zegarra, 2019), después se realizó el tamizado con la “Malla Tyler N° 60”, y finalmente se almacenó en vasos desechables de plástico con tapas debidamente rotuladas (Bonifacio & Zegarra, 2019; Asqui, 2023).

Figura 17

Diagrama de flujo del proceso de activación química de los huesos de durazno (Prunus Persica)



Nota: El diagrama de flujo muestra la secuencia metodológica de la activación química del carbón de huesos de durazno (*Prunus Persica*), elaboración propia.

a. Análisis morfológico del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*)

El proceso de análisis morfológico de la superficie del carbón activado de los huesos de durazno (*Prunus persica*) se realizó en los laboratorios de la Unaj (Sede - Ayabacas).

El análisis morfológico de la superficie del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) se realizó por microscopia Raman, ya que este dispositivo se emplea para caracterizar materiales de carbón activado, principalmente para analizar la estructura molecular, área superficial y el grado de orden o desorden del material, más que en determinar directamente el tamaño de los poros (Gutiérrez & Otero, 2015).

3.8.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y del arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena

Se tomaron las muestras por criterio estableciendo un punto muestreo, siendo el pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena el cual se aprecia en la tabla 3, antes de recolectar las muestras el personal responsable se colocó los EPP (barbijo desechable y guantes látex); posteriormente se midieron los parámetros in situ como el pH, temperatura, conductividad eléctrica y la turbiedad inicial, para lo cual, en dos recipientes se llenó de agua y se procedió a medir con un multiparámetro de calidad de agua; y la turbiedad con un turbidímetro, donde se utilizaron los métodos normalizados de Baird et al. (2017), ver tabla 4. Luego se almacenó una muestra debidamente preservada y rotulada + cadena custodia en un cooler refrigerado para la determinación de la concentración inicial de arsénico en agua, el cual fue enviado debidamente preservado con ácido nítrico (2 mL por cada litro de muestra) (Valente, 2013), a “Laboratorios Analíticos del Sur” acreditado por la “INACAL” mediante la empresa “OLVA COURIER”.

Finalmente se almacenó 5,4 L de agua contaminada en un balde de plástico (color negro con tapa) de 15 L y se trasladó al laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca (Sede la Capilla) para su tratamiento respectivo.

Tabla 3

Punto de muestreo de las aguas subterráneas del pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena.

Código de campo	Coordenadas UTM Este / Norte	Ubicación	Profundidad (m)
CCR 01	402582.84 / 8303532.85	Requena	52

Nota: Esta tabla muestra los datos del punto de monitoreo.

Tabla 4

Variables de estudio, unidades de medida y sus métodos de determinación.

Parámetro	Unidad	Método	Acreditado por el “INACAL”
pH	Unidades de pH	Standard Methods 4500 -H+B	-
Temperatura	°C	Standard Methods 2550 – B	-
Conductividad eléctrica	µS/cm	Standard Methods 2510 – B	-
Turbiedad	NTU	Standard Methods 2130 – B	-
Arsénico	mg/L	Arsénico total - ICP -OES – EPA 200.7	Si

Nota: La tabla muestra los métodos de determinación del pH, temperatura, conductividad eléctrica, turbiedad y arsénico, tomada de Baird et al., (2017).

3.8.3. Evaluación de los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena

a. Análisis morfológico del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*)

La experimentación de las pruebas de adsorción se realizó en los laboratorios de la Unaj (Sede la Capilla). Se utilizó 5.4 L de agua contaminada dividida en 27 muestras de 200 mL para realizar las pruebas de adsorción a diferentes valores de los factores de cantidad de carbón activado (g), pH y tiempos de agitación (minutos).

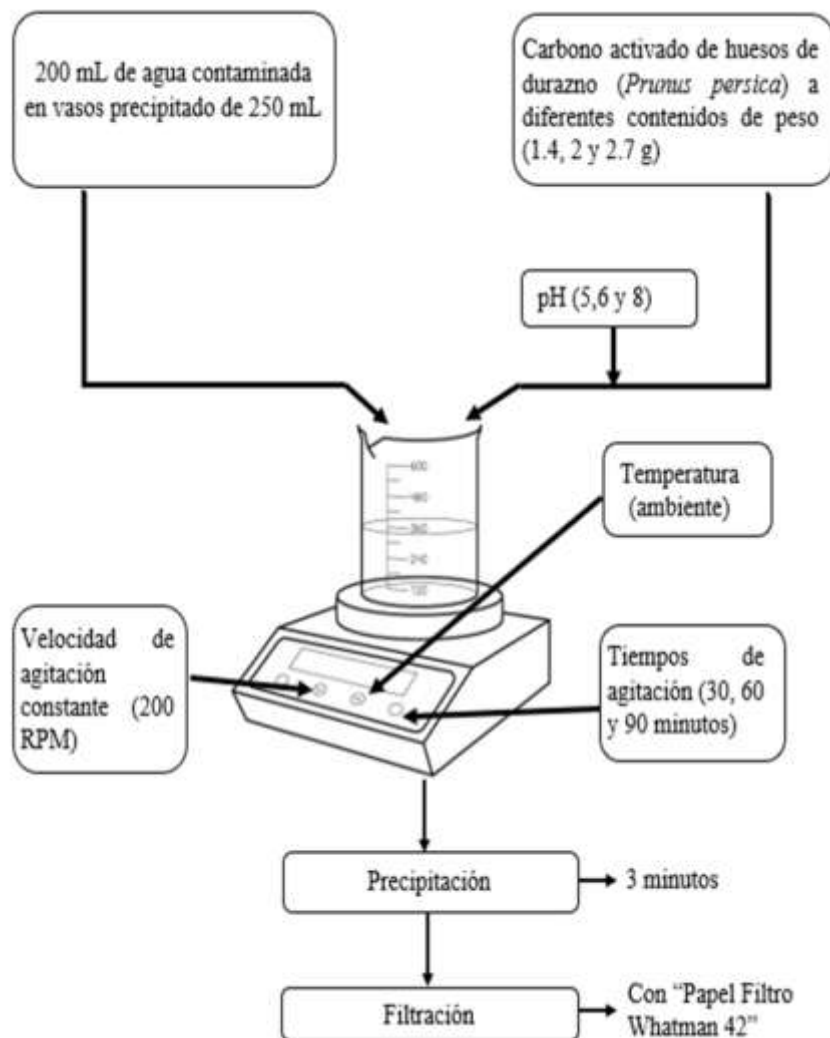
Se añadió carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) con pesos de: 1.4, 2 y 2.7 g respectivamente (Castaneda et al., 2023; Mamani et al. 2020; Cabana, 2022), en vasos precipitados de 250 mL debidamente rotuladas.

Luego se vertió 200 mL de las muestras contaminadas en los vasos precipitados contenidos de absorbentes. Después se realizó las variaciones de pH a: 5, 6 y 8, porque este rango de pH es óptimo para la adsorción de muchos compuestos orgánicos e inorgánicos (Acebedo et al., 2020; Castaneda et al., 2023; Peralta, 2021), las cuales fueron ajustadas con soluciones de HCl (0.1 M) y NaOH (0.1 M) (Bayuo et al., 2023). Una vez terminado los ajustes de pH, cada vaso precipitado fue colocada en agitadores magnéticos; ajustadas a una velocidad de 200 rpm, ya que mantiene el adsorbente en suspensión, lo que puede mejorar la superficie de contacto entre el adsorbente y el adsorbato (Asqui, 2023; Caira, 2022), y a una temperatura ambiente (Duyoner et al., 2023; Tefera et al., 2020). Fueron agitadas a diferentes tiempos: 30, 60 y 90 minutos (Castaneda et al., 2023; Rahman; 2017; Peralta, 2021). Posteriormente se dejó precipitar las muestras durante 3 minutos y luego se realizó la filtración con “Papel Filtro Whatman 42”, vertiendo cada muestra en matraces Erlenmeyer de 250 mL debidamente rotuladas (Bayuo et al., 2023). Después se extrajo 30 mL de agua de cada muestra tratada con una pipeta graduada para determinar la turbiedad final con el turbidímetro.

Luego se vertieron 150 mL de agua de cada muestra tratada en 27 frascos de plástico debidamente rotuladas, fueron colocadas en 3 coolers refrigeradas debidamente rotuladas + cadena de custodia. A fin de conocer las concentraciones finales de arsénico en agua de las muestras tratadas, se enviaron a “LAS” acreditado por la “INACAL” mediante la empresa “OLVA COURIER”, en el que se utilizó el método de ensayo acreditado EPA 200.7 para analizar las muestras.

Figura 18

*Diagrama de flujo de las pruebas de adsorción con carbón activado obtenido de huesos de durazno (*Prunus persica*)*



Nota: El flujograma muestra la secuencia metodológica para realizar pruebas de adsorción, elaboración propia.

3.8.4. Determinación de eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad con carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena

a. Eficiencia de remoción de arsénico

La eficiencia de las pruebas adsorción se determina en función a la remoción de arsénico, mediante:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Co: Concentración inicial de arsénico (mg/L) y Cf: Concentración final de arsénico (mg/L).

b. Eficiencia de remoción de turbiedad

La eficiencia de las pruebas adsorción se determina en función a la remoción de turbiedad, mediante:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{T_o - T_f}{T_o} * 100 \quad (2)$$

Donde:

To: Turbiedad inicial (NTU) y Tf: Turbiedad final (NTU).

3.9. Análisis estadístico

3.9.1. Variables

a. Variables independientes

- Cantidad de carbón activado (1.4 g, 2 g y 2.7 g)
- pH (5, 6 y 8)
- Tiempo de contacto (30, 60 y 90 minutos)

b. Variables dependientes

- Remoción de arsénico (% de As)
- Remoción de turbiedad (% de Turbidez)

3.9.2. Diseño experimental

El diseño experimental que se empleó en la investigación es un diseño factorial 3A3B3C, con 3 niveles de cada factor, en el cual se tienen los siguientes factores: cantidad de carbón activado (g), pH (unidades de pH) y tiempo de contacto (minutos), en un diseño completamente al azar. Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico R.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de la información será:

$$Y_{ijkn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \mu_{ijkn} \quad (3)$$

i: Cantidad de carbón activado “1.4 g, 2 g y 2.7 g”

j: pH “5, 6 y 8”

k: Tiempo de contacto “30, 60 y 90 minutos”

n: 1 repetición

Donde:

Y_{ijkn} : Muestra la medición referida al nivel (*i*) del factor cantidad de carbón activado, al nivel (*j*) del factor pH y al nivel (*k*) del factor tiempo contacto.

μ : Es un efecto constante y refleja el porcentaje promedio de eliminación de arsénico y turbiedad, que es igual en todos los niveles de los factores.

α_i : Es el impacto causado por el nivel *i*-ésimo del factor de cantidad de carbón activado.

β_j : Es el efecto que resulta del nivel *j*-ésimo del factor pH.

γ_k : Se refiere al efecto que surge a partir del nivel *i*-ésimo del factor de tiempo de contacto.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Es el efecto producido por la interacción entre cantidad de carbón activado y pH.

$(\alpha\gamma)_{ik}$: Es el efecto producido por la interacción entre cantidad de carbón activado y tiempo de contacto.

$(\beta\gamma)_{jk}$: Es el resultado de la interacción entre el tiempo de contacto y el pH.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: El impacto que se genera a través de la interacción entre tiempo de contacto, pH y cantidad de carbón.

μ_{ijkn} : Es la variable independiente se distribuye de acuerdo con N (0, 9).

Tabla 5

Diseño factorial de 3 factores, con 3 niveles y 1 repetición.

Repetición	a1			a2			a3																				
	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3																		
	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	c3																		
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27

Nota: En esta tabla se muestra el diseño factorial de 3x3x1.

Tabla 6

ANOVA de diseño factorial de 3 factores (con 1 replicación).

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F exp
FACTOR A	SCA	a - 1	CMA	CMA/CMR
FACTOR B	SCB	b - 1	CMB	CMB/CMR
FACTOR C	SCC	c - 1	CMC	CMC/CMR
AxB	SC(AB)	(a - 1)(b - 1)	CM(AB)	CM(AB)C MR
AxC	SC(AC)	(a - 1)(c - 1)	CM(AC)	CM(AC)/C MR
BxC	SC(BC)	(b - 1)(c - 1)	CM(BC)	CM(BC)/C MR
AxBxC	SC(ABC)	(a - 1)(b - 1)(c - 1)	CM(ABC)	CM(ABC)/ CMR
Residual	SCR	abc(r - 1)	CMR	
TOTAL	SCT	abcr - 1	CMT	

Nota: Esta tabla muestra las interacciones entre las 3 variables independientes.

Para modelar estadísticamente los datos mediante el software R, se designó nomenclaturas para facilitar el trabajo, los cuales son: para el factor cantidad de carbón activado (A) y los niveles $cca1=1.4$ g (a1), $cca2=2$ g (a2) y $cca3=2.7$ g (a3) respectivamente; para el factor pH (B) y los niveles de pH, que son $pH1=5$ (b1), $pH2=6$ (b2) y $pH3=8$ (b3) en ese orden, así como el último factor, el tiempo de contacto (C), que tiene tres niveles: $t1=30$ minutos (c1), $t2=60$ minutos (c2) y $t3=90$ minutos (c3).

3.9.3. Procedimiento de prueba de hipótesis

Es importante enfatizar que el análisis estadístico se efectuó cumpliendo con los supuestos indispensables para asegurar la confiabilidad del mismo, como el análisis de varianza (ANOVA). Los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 10 y 11, utilizando software estadístico R.

a. Planteamiento de hipótesis

Análisis de varianza (ANOVA)

H_0 : No hay distinciones importantes entre los tratamientos.

H_1 : Hay por lo menos un tratamiento que muestra diferencias importantes.

b. Nivel de significancia

Análisis de varianza (ANOVA)

A un nivel de confianza del 95 % y con un margen de error del 5 %, un valor de $P_value < 0.05$ vendría a ser el 5 %, lo cual indica un efecto significativo, y un valor de $P_value > 0.05$ es un efecto no significativo (Ortega, 2023).

c. Estadístico de prueba

El supuesto que proporciona fiabilidad fue considerado para el estadístico de prueba:

- Análisis de varianza (ANOVA).

d. Regla de decisión

- **Remoción de arsénico**

Los valores de P_value son 0.000619, 0.0000555 y 0.006741 para un solo factor, sin importar la cantidad de carbón activado, el pH o el tiempo de contacto. Como estos valores son inferiores al valor de alfa (0.05), se admite la hipótesis alternativa (H1) y se descarta la hipótesis nula (H0). Esto muestra que, con un nivel de confianza del 95 %, hay diferencias notables entre las medias de eliminación de arsénico en los distintos niveles de tratamiento.

- **Remoción de turbiedad**

Los valores de P_value para un solo factor, sin importar la cantidad de carbón activado, el pH y el tiempo de contacto, son 0.2261, 0.1668 y 0.0904. Como estos valores son superiores al valor de alfa (0.05), se acepta la hipótesis nula (H0) y se descarta la alternativa (H1). Esto implica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de remoción de turbidez a través de los distintos niveles de tratamiento, con un 95 % de nivel de confianza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención de carbón activado mediante residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*)

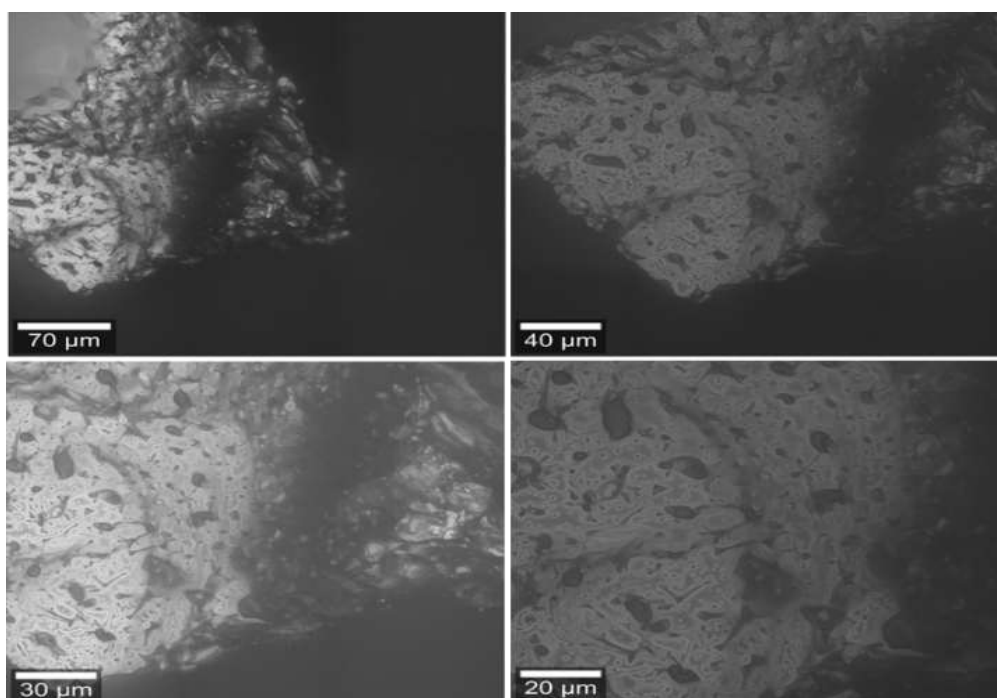
En los anexos I y II, se observa la producción de carbón activado de bajo costo a partir de residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*) para la remoción de turbiedad y arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena (Melliti et al., 2023).

a. Análisis morfológico del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*)

Se tomaron imágenes de la morfología del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), mediante el microscopio Raman, con el fin de observar la superficie de los adsorbentes, cuyo carbón fue activada con H_3PO_4 al 85 % a una temperatura de 700 °C, ya que según Duyoner et al. (2023), genera un impacto muy significativo en la alteración de la superficie del carbón, creando una estructura con mayor porosidad que el carbón no activado.

Figura 19

*Morfología superficial del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*)*



Nota: La figura muestra la morfología superficial del carbón activado de huesos de durazno mediante el microscopio Raman, elaboración propia, tomada de microscopio Raman.

En la figura 19 se observa la morfología del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*), el cual presenta cavidades con poros de forma y tamaño similares (estructura porosa permite una mayor área superficial), distribuidos de manera uniforme dentro de estas cavidades irregulares (formación de microporos).

En comparación Berrenechea y Román (2021), quienes produjeron carbón activado a partir del endocarpio de *Prunus persica* (durazno) para la remoción de arsénico en aguas del río Mala-Cañete, señalaron que su carbón activado presentaba una estructura porosa el cual es similar al carbón activado producido en este estudio, lo que constituye un factor clave en el proceso de adsorción.

Se ha demostrado que la activación con ácido fosfórico mejora el área superficial, fomenta la creación de nuevos poros y microporos, aumenta el rendimiento del carbón, optimiza la distribución de poros y reduce la cantidad de impurezas, lo que permite una mayor adsorción (Bibi et al., 2023; Zhu et al., 2023; Reza et al., 2020).

Por otro lado, Porras y Martínez (2019) indican que el aumento de la temperatura de activación incrementa la porosidad, lo que provoca la expansión de los microporos y, en consecuencia, una reducción del área superficial.

4.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y del arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

A continuación, se muestran en la tabla 7 los valores de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y arsénico de las muestras tomadas de las aguas subterráneas del pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena, donde los parámetros como el pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y turbiedad inicial en agua fueron medidos “in situ”, mientras que los parámetros como: dureza, cloruros, sulfatos, nitratos y la concentración inicial de arsénico en agua fueron analizadas en los “Laboratorios Analíticos del Sur”.

Tabla 7

Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos y arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

Parámetro	Unidad	Valor	ECA * (Categoría 1) **
Físicos - Químicos			
pH	Unidades de pH	7.73	6.5 – 8.5
Temperatura	°C	14.2	Δ 3
Conductividad eléctrica	μS/cm	1900	1500
Turbiedad	NTU	28.07	5
Inorgánicos			
Arsénico	mg/L	0.1310	0.01

Nota: Esta tabla detalla los resultados de los parámetros fisicoquímicos y arsénico de las aguas subterráneas del punto de monitoreo analizadas insitu y en Laboratorios Analíticos del Sur. * ECA – Estándares de Calidad Ambiental y ** Categoría 1: Poblacional y Recreacional (Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM). A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) (MINAM, 2017).

En la tabla 7, se muestra el valor del pH 7.73 similar al de Tapia (2021), que reporto un pH de 7.8 en las aguas subterráneas del distrito de Taraco, siendo considerado aguas alcalinas, lo que evidencia concentraciones altas de aniones, menos solubles, los metales no tienden a precipitarse (Tapara, 2024).

Por otro lado, la temperatura resulto ser de 14.2 similar al resultado de Tapia (2021), que reporto 11.5 °C en las aguas subterráneas del distrito de Taraco, por ende la temperatura del agua está en función a la zona y hora de muestreo, además de la época del año.

La conductividad eléctrica fue de 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que es mayor al resultado de Tapia (2021), en donde registro 1441 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las aguas subterráneas del distrito de Taraco, lo cual significa que las aguas superiores a los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presentan una alta capacidad de conducir corriente eléctrica a través de sus iones disueltos, así como también nos indica la acumulación de sales disueltas en el agua (Asqui, 2023).

Respecto al parámetro del arsénico se reportó un valor de 0.1310 mg/L, siendo mayor al estudio realizado por Tapia (2021), que reporto 0.05 mg/L de arsénico en pozos subterráneos aledaños al distrito de Taraco, según Rahman et al., (2024), esta diferencia podría atribuirse al lugar de muestreo, la profundidad de las aguas subterráneas o a la geología del lugar.

En cuanto a la turbiedad se reportó 28.07 NTU superior al resultado de Tapia (2021), que reporto 2.58 NTU en las aguas subterráneas del distrito de Taraco, este aumento de la turbidez podría ser por la presencia de arcilla, materia orgánica, minerales, sedimentos en suspensión en el agua (Martínez et al., 2020). También podría ser por la fuerza que ejerce la motobomba “con paneles solares gigantes”, al succionar el agua subterránea de un pozo de 52 m de profundidad, ya que en la acción de succionar el agua estaría conjuntamente con arcilla.

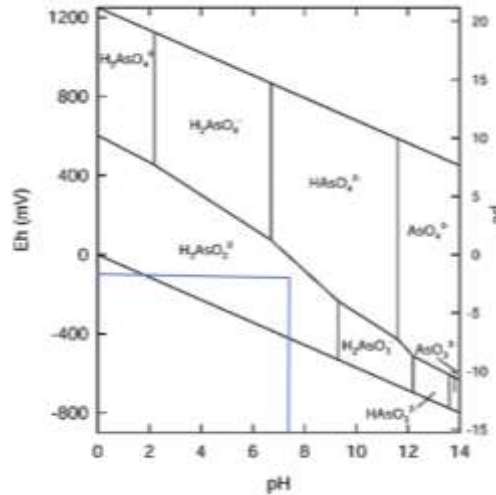
Los parámetros fueron comparados con los estándares de calidad ambiental de la Categoría 1–A1 establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), en donde los parámetros que sobrepasan los valores son la turbiedad que establece un valor de 5 NTU y el arsénico con un valor de 0.01 mg/l, lo que nos indica que las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena presentan contaminación y que necesitan tratamiento de sus aguas, ya que por la escasez de agua dulce en lugar, los pobladores de la comunidad vienen consumiendo estas aguas en la actualidad.

a. Especiación del arsénico

Según el diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico, en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, teniendo en cuenta su pH de 7.73 y el potencial óxido-reducción (Eh_mV de -24), debido a su menor potencial redox predominan las especies trivalentes de arsénico (III) o arsenito como AsO_3^{-3} , HAsO_3^{-2} , $\text{H}_2\text{AsO}^{-3}$, y H_3AsO_3 , considerado el más tóxico (Kowalski, 2014).

Figura 20

Especiación del arsénico en aguas subterráneas de la comunidad campesina Requena



Nota: Esta figura muestra la especiación del arsénico en las aguas subterráneas del punto de monitoreo a un pH 7.73 y un Eh de -24, elaboración propia.

4.3. Evaluación de los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena

En las pruebas de adsorción se establecieron condiciones óptimas, como la cantidad de carbón activado, el pH y el tiempo de contacto (Bibi et al., 2023). Además, es importante controlar estos factores, ya que de ellos dependerá el éxito o el fracaso del tratamiento (Llanos et al., 2016).

4.3.1. Efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico y turbiedad

a. Efecto de cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico

El efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico, se evaluó a través de experimentos como se observa en la tabla 8 en diferentes cantidades de peso (1.4 g, 2 g y 2.7 g /200 mL). El análisis de la varianza con un nivel de significancia del 5 % mostró que la cantidad de carbón activado tiene efecto significativo en la eficiencia de remoción de turbiedad como se aprecia en la tabla 10.

Figura 21

Efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico



Nota: El gráfico permite visualizar el comportamiento del efecto de cantidad de carbón activado en la remoción de arsénico, elaboración propia.

En la figura 21, se muestra que al incrementar la cantidad de carbón de 1.4 a 2 y 2.7 g en 200 mL de muestra de agua contaminada, el porcentaje de remoción disminuyó es decir que hay un efecto inversamente proporcional, esto podría ser a la sobresaturación de la cantidad de carbón activado haciendo que el contacto con el arsénico a través de la agitación sea más complicada (Caira, 2022).

Los hallazgos de la investigación actual están relacionados con lo que Berrenechea y Román (2021) establecieron al emplear carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) como adsorbente, ellos determinaron que las cantidades de este adsorbente tienen un impacto significativo en la efectividad para eliminar arsénico. De forma similar, Tarazona (2024) empleó carbón activado de pepas de ciruela (*Spondias purpurea*) y también concluyó que la dosis del adsorbente tiene un efecto relevante en la adsorción del contaminante.

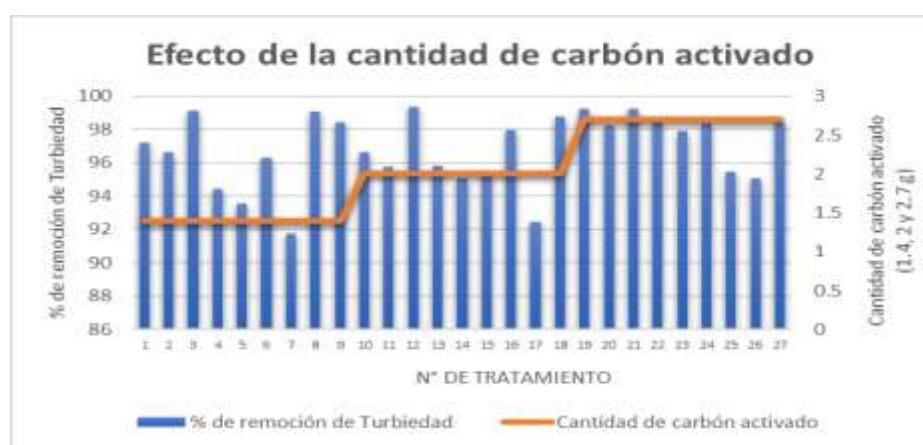
En síntesis, la eficiencia de remoción del arsénico dependerá de la dosis empleada, así como de la naturaleza, la superficie y la estructura porosa del carbón activado.

b. Efecto de cantidad de carbón activado en la remoción de turbiedad

La tabla 9 muestra experimentos que se realizaron para determinar el efecto de la cantidad de carbón activado en la eliminación de turbidez. Se emplearon diferentes cantidades de peso (1.4 g, 2 g y 2.7 g/200 mL). Como se observa en la tabla 11, el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% reveló que el volumen de carbón activado no influye significativamente en la eficiencia para eliminar turbiedad.

Figura 22

Efecto de la cantidad de carbón activado en la remoción de turbiedad



Nota: El gráfico permite visualizar el comportamiento del efecto de cantidad de carbón activado en la remoción de turbiedad, elaboración propia.

En la figura 22 se observa que, al incrementar la cantidad de carbón activado de 1,4 a 2 y 7 gramos en 200 mL de agua contaminada, se produjeron ligeras variaciones en la remoción de turbiedad. La mayor eficiencia alcanzada fue del 99,36 %, al añadir 2 gramos en 250 mL.

En contraste, con Berrenechea y Román (2021) utilizando carbón activado de *Prunus persica* obtuvieron un 98.60 % de remoción de turbiedad y al incrementar de 3 a 5 y 7 g/L, de igual manera tuvo una ligera variación obteniendo resultados similares con las tres dosis, mientras, que Duyoner et al. (2023) empleando carbón activado de semillas de *Persea americana* con 0.2 g/50 mL tuvo una menor remoción de turbiedad de 57.6 % en aguas residuales industriales.

Esto significa que la remoción de turbiedad dependerá tanto del tipo de carbón o adsorbente utilizado como del tipo de agua tratada, ya sea subterránea, superficial, de río, de relaves mineros o residual industrial.

4.3.2. Efecto del pH en la remoción de arsénico y turbiedad

a. Efecto del pH en la remoción de arsénico

La tabla 8 muestra que se utilizó una serie de ensayos para evaluar el impacto del pH en la eliminación del arsénico, con rangos de 5, 6 y 8. Como se muestra en la tabla 10, el análisis de la varianza a un nivel de significancia del 5% reveló que el pH influye significativamente en la eficacia para eliminar turbiedad.

Figura 23

Efecto del pH en la remoción de arsénico



Nota: El gráfico permite visualizar el comportamiento del efecto de pH en la remoción de arsénico, elaboración propia.

En la figura 23 se evidencia que la mayor remoción de arsénico (84.96 %) fue a un pH 8, lo que indica que un pH básico favorece el proceso de adsorción. Esta tendencia es coherente con estudios previos que han demostrado que el pH del medio influye significativamente en la eficiencia de remoción del arsénico.

A pH 8, la superficie del carbón activado de huesos de durazno puede tener una carga negativa o positiva, lo que atrae a los iones de arsénico que tienen carga negativa (Kowalski, 2014), en otros casos tanto como el carbón activado como el arsénico tienen carga negativa, la adsorción puede ocurrir debido a la presencia de cationes (iones positivos) en la solución, como el calcio (Ca^{+2}) o el magnesio (Mg^{+2}), que pueden actuar como puentes entre la superficie negativa del carbón activado y la carga negativa del arsenito (Giri et al., 2021). Por otro lado, a pH 8, el arsénico se encuentra principalmente en forma de arseniato, es por ello que no se removió con eficacia el arsénico III (Prasad et al., 2013). En resumen, la adsorción de As III a un pH de 8 se produce por la unión de varios factores: la especiación del arsénico, la carga superficial del carbón activado, la existencia de grupos funcionales y el hecho de que el carbón activado tenga una estructura porosa (Bibi et al., 2023).

En comparación, con Berrenechea y Román (2021) trabajaron a un pH de 7.58, alcanzando porcentajes de remoción fue de 96.94 %. Esto refuerza la idea de que el rango óptimo de pH para la adsorción de arsénico se encuentra entre 7 y 8.

Por otro lado, el estudio de Tarazona (2024) reporta una remoción eficiente de arsénico utilizando carbón activado de pepas de ciruela a un pH de 7, con una eliminación significativa del 100 %. Este resultado sugiere que un pH cercano a la neutralidad también es favorable.

En contraste, Fiestas y Millones (2021) también trabajaron a un pH de 7, logrando una remoción de arsénico del 72 % empleando cascara de coco, menor a la obtenida en la presente investigación. Sin embargo, sigue evidenciando que el pH neutro proporciona condiciones favorables para la adsorción, aunque con variaciones según los materiales empleados.

En conclusión, el pH es un factor importante ya que el pH de la solución afecta la carga de la superficie de los adsorbentes, así como el grado de ionización y especiación de diferentes contaminantes en el proceso de adsorción (Gallo et al., 2017).

b. Efecto del pH en la remoción de turbiedad

La tabla 9 muestra cómo se examinó el impacto del pH en la eliminación de turbidez mediante pruebas realizadas en los rangos de 5, 6 y 8. La tabla 11 revela que el pH no influye de manera significativa en la eficacia de eliminación de turbidez, según lo indicó un análisis de varianza con un nivel de significación del 5 %.

Figura 24

Efecto del pH en la remoción de turbiedad



Nota: El gráfico permite visualizar el comportamiento del efecto de pH en la remoción de turbiedad, elaboración propia.

En la figura 24 se observa que, al incrementar el pH de 5 a 6 y 8, se produjeron ligeras variaciones en la remoción de turbiedad. Sin embargo, el porcentaje de eliminación no varió significativamente, registrándose la mayor remoción (84,96 %) a un pH de 5.

En comparación, con Berrenechea y Román (2021) utilizando carbón activado de *Prunus persica* obtuvo un 98.60 % de remoción de turbiedad a un pH 7.58, en donde tuvo una ligera variación de la eficiencia de remoción de turbidez, de igual manera Granadillo et al. (2021), realizaron variaciones de pH a valores de 5, 7.5 y 9 empleando coagulante *Opuntia ficus* indica en lo que no afectó la eficiencia de remoción de turbidez.

En contraste, la remoción de turbiedad en pH bajos (3-5) podría ser alta debido a la carga positiva del carbón activado, que atrae a las partículas coloidales negativamente cargadas (Yan et al., 2024).

4.3.3. Efecto del tiempo de contacto en la remoción de arsénico y turbiedad

a. Efecto del tiempo de contacto en la remoción de arsénico

La tabla 8 muestra cómo se examinaron los experimentos para determinar el impacto del tiempo de contacto en la eliminación de arsénico, utilizando intervalos de 30, 60 y 90 minutos. La tabla 10 indica que el tiempo de contacto influye de manera significativa en la eficacia de la eliminación del arsénico, según lo demuestra el análisis de varianza con un nivel de significación del 5 %.

Figura 25

Efecto del tiempo de contacto en la remoción de arsénico



Nota: El gráfico permite visualizar el comportamiento del efecto de tiempo de contacto en la remoción de arsénico, elaboración propia.

En la figura 25 se aprecia que, al aumentar el tiempo de contacto de 30 a 90 minutos, se observa un incremento en la eficiencia de remoción de arsénico. Esto podría deberse a una mayor probabilidad de interacción entre el arsénico y el adsorbente (Caira, 2022). Con un tiempo de contacto de 90 minutos, se logró eliminar el 84,96 % del arsénico.

De manera similar, Berrenechea y Román (2021) quienes utilizaron carbón activado de endocarpio de durazno (*Prunus persica*), encontraron que el tiempo de contacto tiene un efecto directamente proporcional.

Por su parte, Tarazona (2024) empleando carbón activado de pepas de ciruela, determinó también un efecto significativo del tiempo de contacto en la remoción del arsénico. Ambas investigaciones coinciden con los hallazgos de este estudio.

En síntesis, es recomendable trabajar con diferentes tiempos de contacto para identificar las condiciones más favorables para la eliminación del arsénico.

b. Efecto del tiempo de contacto en la remoción de turbiedad

Se llevó a cabo una evaluación del impacto que tiene el tiempo de contacto en la eliminación de turbidez mediante experimentos, los cuales se muestran en la tabla 9 y se realizaron durante intervalos de 30, 60 y 90 minutos. Como se puede observar en la tabla 11, el análisis de varianza con un nivel de significación del 5 % reveló que el tiempo de contacto no influye de manera significativa en la eficiencia de eliminación de turbidez.

Figura 26

Efecto del tiempo de contacto en la remoción de turbiedad



Nota: El gráfico permite visualizar el comportamiento del efecto de tiempo de contacto en la remoción de turbiedad, elaboración propia.

En la figura 26 se observa que, al aumentar el tiempo de contacto de 30 a 60 y 90 minutos, se incrementó la remoción de turbiedad, manteniéndose siempre por encima del 91,73 %. Con 90 minutos de contacto, se logró eliminar el 99,36 % de la turbiedad.

En contraste, con lo reportado por Barrenechea y Román (2021) quienes utilizaron carbón activado de endocarpio de durazno (*Prunus persica*), se concluyó, al igual que en el presente estudio, que a mayor tiempo de contacto se obtiene una mejor eficiencia en la remoción de turbiedad.

En síntesis, el tiempo de contacto influye directamente en la eficiencia de remoción de turbiedad: a mayor duración, se incrementa la eficacia debido a una mayor interacción entre el carbón activado y las partículas coloidales (Yan et al., 2024).

4.4. Eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad con carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) en aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena

Una vez realizada las pruebas de adsorción con un diseño factorial de 3 factores 3A3B3C (cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto), en la tabla 8 y 9 se muestran los porcentajes de remoción de arsénico y turbiedad.

4.4.1. Eficiencia de la remoción de arsénico

En la tabla 8, se muestra los resultados de la eficiencia de remoción de arsénico en relación de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto durante las pruebas de adsorción, cuyos resultados fueron calculados con la ecuación 1.

Tabla 8

Resultados de la eficiencia de remoción de arsénico empleando carbón activado como adsorbente en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

Tratamientos	Cantidad de carbón activado g	pH Inicial	Tiempo de contacto (minutos)	Arsénico Inicial (mg/L)	Arsénico Final (mg/L)	% de remoción de Arsénico
1	1.4	5	30	0.1310	0.0420	67.94
2	1.4	5	60	0.1310	0.0302	76.95
3	1.4	5	90	0.1310	0.0463	64.66
4	1.4	6	30	0.1310	0.0270	79.39
5	1.4	6	60	0.1310	0.0254	80.61
6	1.4	6	90	0.1310	0.0424	67.63
7	1.4	8	30	0.1310	0.0325	75.19
8	1.4	8	60	0.1310	0.0258	80.31
9	1.4	8	90	0.1310	0.0197	84.96
10	2	5	30	0.1310	0.0594	54.66
11	2	5	60	0.1310	0.0400	69.47
12	2	5	90	0.1310	0.0564	56.95
13	2	6	30	0.1310	0.0340	74.05
14	2	6	60	0.1310	0.0413	68.47
15	2	6	90	0.1310	0.0586	55.27
16	2	8	30	0.1310	0.0257	80.38
17	2	8	60	0.1310	0.0361	72.44
18	2	8	90	0.1310	0.0266	79.69
19	2.7	5	30	0.1310	0.0536	59.08
20	2.7	5	60	0.1310	0.0489	62.67
21	2.7	5	90	0.1310	0.0744	43.21
22	2.7	6	30	0.1310	0.0511	60.99
23	2.7	6	60	0.1310	0.0464	64.58
24	2.7	6	90	0.1310	0.0667	49.08
25	2.7	8	30	0.1310	0.0310	76.34
26	2.7	8	60	0.1310	0.0308	76.49
27	2.7	8	90	0.1310	0.0287	78.09

Nota: La tabla muestra los diferentes porcentajes de remoción de arsénico variando las variables de cantidad de carbón, pH y tiempo de contacto.

La tabla 8 ilustra los porcentajes de eliminación de arsénico que se lograron al utilizar carbón activado a partir de huesos de durazno (*Prunus persica*) en las aguas pertenecientes a la comunidad campesina de Requena. El tratamiento número 9, de los 27 analizados, presentó la mayor eliminación de arsénico (84.96 %), con una dosis de carbón activado de 1.4 g, un pH de 8 y una duración del contacto de 90 minutos.

En comparación, con el estudio de Berrenechea y Román (2021) que reportaron una remoción de arsénico del 96.94 % en aguas del río Mala-Cañete utilizando carbón activado de endocarpio de durazno (*Prunus persica*), este valor es superior al obtenido en nuestra investigación, esta diferencia podría estar relacionada con el tipo de arsénico (As III o As V) presente en las aguas subterráneas y superficiales. En esta investigación se trabajó con aguas subterráneas, por lo que Zapana (2022) indica que estas aguas contienen una mayor concentración de arsénico (III), cuya remoción es más compleja. Por otro lado, Constanza (2020) indica que en la mayoría de los tratamientos de desarsenización, se ha encontrado que el arsénico (V) es más fácil de extraer que el arsénico (III).

Por otro lado, Aguirre (2021) reportó una remoción de arsénico del 70,3 % en las aguas de la bahía del lago Titicaca utilizando carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), un resultado inferior al obtenido en esta investigación. Por su parte, Fiestas y Millones (2021) lograron una remoción del 72 % de arsénico en aguas subterráneas de Mórrope mediante carbón activado de cáscara de coco, también menor al resultado de este estudio. Además, Tarazona (2024) reportó una eficiencia de adsorción del 100 % utilizando carbón activado de pepas de ciruela (*Spondias purpurea*) en agua sintética. Estos resultados diferentes podrían atribuirse, así como al tipo materia prima, su porosidad, área superficial, la estructura porosa y los grupos funcionales del carbón activado, además del tipo de agua que se va a tratar (agua superficial, subterránea y sintética), además estos autores indican que en el proceso de adsorción influyen el área superficial y la estructura porosa del carbón.

En esta investigación se alcanzó que la cantidad de arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena disminuyera desde 0.1310 mg/L hasta 0.0197 mg/L. Este valor se acerca al límite de 0.01 mg/L establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría I-A1 del Ministerio del Ambiente (MINAM). Por lo tanto, se concluye que la tecnología de tratamiento propuesta podría ser una opción eficiente para la remoción de arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

4.4.2. Eficiencia de la remoción de turbiedad

En la tabla 9, se muestra los resultados de la eficiencia de remoción de turbiedad en relación de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto durante las pruebas de adsorción, cuyos resultados fueron calculados con la ecuación 2.

Tabla 9

Resultados de la eficiencia de remoción de turbiedad empleando carbón activado como adsorbente en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

Tratamientos	Cantidad de carbón activado (g)	pH Inicial	Tiempo de contacto (minutos)	Turbiedad Inicial (mg/L)	Turbiedad Final (mg/L)	% de remoción de Turbiedad
1	1.4	5	30	28.07	0.78	97.22
2	1.4	5	60	28.07	0.94	96.65
3	1.4	5	90	28.07	0.25	99.11
4	1.4	6	30	28.07	1.56	94.44
5	1.4	6	60	28.07	1.81	93.55
6	1.4	6	90	28.07	1.05	96.26
7	1.4	8	30	28.07	2.32	91.73
8	1.4	8	60	28.07	0.27	99.04
9	1.4	8	90	28.07	0.45	98.40
10	2	5	30	28.07	0.95	96.62
11	2	5	60	28.07	1.19	95.76
12	2	5	90	28.07	0.18	99.36
13	2	6	30	28.07	1.17	95.83
14	2	6	60	28.07	1.38	95.08
15	2	6	90	28.07	1.26	95.51
16	2	8	30	28.07	0.58	97.93
17	2	8	60	28.07	2.11	92.48
18	2	8	90	28.07	0.34	98.79
19	2.7	5	30	28.07	0.22	99.22
20	2.7	5	60	28.07	0.49	98.25
21	2.7	5	90	28.07	0.21	99.25
22	2.7	6	30	28.07	0.43	98.47
23	2.7	6	60	28.07	0.59	97.90
24	2.7	6	90	28.07	0.46	98.36
25	2.7	8	30	28.07	1.28	95.44
26	2.7	8	60	28.07	1.38	95.08
27	2.7	8	90	28.07	0.44	98.43

Nota: La tabla refleja las diferentes eficiencias de remoción de turbiedad variando las variables de cantidad de carbón, pH y tiempo de contacto.

En la tabla 9 se muestran los porcentajes de remoción de turbiedad obtenidos al emplear carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena. De los 27 tratamientos evaluados, el tratamiento N° 12 alcanzó la mayor remoción de turbiedad, con un 99.36 %, utilizando 2 g de carbón activado, a un pH de 5 y un tiempo de contacto de 90 minutos. Este resultado, es similar al de Berrenechea y Román (2021) quienes lograron una remoción del 98.60 % en aguas del río Mala-Cañete empleando carbón activado de *Prunus persica*.

En contraste, Duyoner et al. (2023) obtuvieron un 57.6 % de remoción de turbiedad en aguas residuales industriales con carbón activado de semillas de *Persea americana*. Esta diferencia podría atribuirse al tipo de carbón activado, la dosis empleada, el pH y las características del agua tratada. Según, Obando y Ramos (2019) el tipo de carbón, la cantidad utilizada y la temperatura influyen significativamente en la remoción de turbiedad en el agua.

Por otro lado, Acosta y Dominguez (2021) lograron una remoción del 96.75 % utilizando *Prunus persica* como complemento del sulfato de aluminio en aguas superficiales del río Moche – Trujillo. Asimismo, Racancoj (2022) reportó remociones superiores al 71.92 % empleando *Prunus persica* como coagulante natural en aguas de río y agua de grifo con arcilla. Estos valores son menores a los obtenidos en la presente investigación, lo que sugiere que el carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*) podría ser más eficiente para la remoción de turbidez.

En esta investigación, la turbiedad de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena se redujo hasta 0.18 NTU desde 28 NTU. Este valor es inferior al umbral de 5 NTU fijado por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría I-A1 del Ministerio del Ambiente (MINAM). Por ende, se determina que la tecnología de tratamiento sugerida es eficaz para disminuir la turbiedad en las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

Asimismo, constituye una opción factible para sustituir coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, el sulfato férrico, el sulfato ferroso, el cloruro férrico y el aluminio de sodio, brindando una alternativa favorable para la clarificación de aguas turbias desde un punto de vista ecológico.

4.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, primero se validaron los datos de la remoción de arsénico y turbiedad con el fin de determinar el coeficiente de variabilidad. Los resultados obtenidos fueron 5.660474 y 2.006512, respectivamente, valores que se encuentran por debajo del límite de 25, establecido para la aceptación de variabilidad. Por lo tanto, se confirma que los datos son completamente válidos (Apaza, 2018).

4.5.1. Análisis de varianza (ANOVA)

a. Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de arsénico

El análisis de varianza de la remoción de arsénico se realizó con los datos de la tabla 7.

Tabla 10

Análisis de varianza para los efectos principales.

Analysis of Variance Table					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
A	2	649.3	324.7	21.362	0.000619 ***
B	2	1287.0	643.5	42.342	0.0000555 ***
C	2	302.7	151.4	39.960	0.006741 ***
A:B	4	178.3	44.6	2.932	0.091335 .
B:C	4	457.5	114.4	7.525	0.008086 **
A:C	4	49.6	12.4	0.815	0.549720
A:B:C		.	.	.	**
Residuals	8	121.6	15.2		

Signif.	0	****	0.001	***	0.01
codes:		*	**	0.05	! 0.1 ' ' 1

Nota: Esta tabla indica que los factores A, B y C tienen un efecto significativo en la remoción de arsénico.

Según el análisis estadístico los resultados obtenidos fueron:

- Para cada uno de los factores independientes, que son el pH, la cantidad de carbón activado y el tiempo de contacto, se obtienen valores de P_value iguales a 0.000619, 0.0000555 y 0.006741 respectivamente; como todos ellos son inferiores al valor alfa (0.05), se acepta la hipótesis alternativa (H_1) y se desecha la hipótesis nula (H_0).
- Por consiguiente, con un nivel de significación del 5 %, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas y que entre los tres niveles mencionados existe interacción en lo que respecta a la remoción de arsénico.
- En la interacción de dos factores (cantidad de carbón activado: pH), (pH: tiempo) y (cantidad de carbón activado: tiempo de contacto), los valores del P_value son 0.091335, 0.008086 y 0.549720, respectivamente. El valor más bajo corresponde a la interacción entre el pH y el tiempo; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (H_1) y se descarta la hipótesis nula (H_0). Así pues, con un nivel de significancia del 5 %, se establece que existe una interacción entre el pH y el tiempo en lo referente a la eliminación del arsénico.

Por lo tanto, será necesario un análisis estadístico de los efectos de los factores principales, aplicando la prueba de Tukey con un valor alfa de 0.05.

b. Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de turbiedad

El análisis de varianza de la remoción de turbiedad se realizó con los datos de la tabla 8.

Tabla 11*Análisis de varianza para los efectos principales.*

Analysis of Variance Table					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
A	2	13.591	6.796	1.801	0.2261
B	2	17.050	8.525	2.259	0.1668
C	2	24.872	12.436	3.295	0.0904
A:B	4	11.301	2.825	0.749	0.5857
B:C	4	7.503	1.876	0.497	0.7392
A:C	4	15.708	3.927	1.041	0.4435
A:B:C					
Residuals	8	30.193	3.774		

Signif.	0	'****'	0.001	'**'	0.01
codes:	'*	0.05	'.'	0.1	' ' 1

Nota: La tabla muestra que los factores A, B y C no tienen un efecto significativo en la remoción de turbiedad.

Según el análisis estadístico los resultados obtenidos fueron:

- Si tomamos en cuenta un solo factor independiente, que es el tiempo de contacto, el pH o la cantidad de carbón activado, los valores de P_value son 0.2261, 0.1668 y 0.0904 respectivamente. Como estos números son superiores a alfa (0.05), se admite la hipótesis nula (H0). Por lo tanto, con una significación del 5%, se concluye que no hay interacción entre los factores citados en relación con la eliminación de turbiedad.
- Para las interacciones de los siguientes pares de factores: (pH: tiempo), (pH: cantidad de carbón activado) y (tiempo: cantidad de carbón activado), el P_value se encuentra en 0.7392, 0.5857 y 0.4435 respectivamente; dado que todos son más altos que el valor alfa (0.05), la hipótesis nula (H0) es aceptada. Por lo tanto, con un nivel de significación del 5%, se concluye que no hay interacción entre dos factores en la eliminación de turbidez: (cantidad de carbón activado: pH), (pH: tiempo) y (cantidad de carbón activado: tiempo de contacto).

Por consiguiente, se requerirá un estudio estadístico de las consecuencias de los factores principales mediante la utilización de la prueba de Tukey con un valor alfa del 0.05.

4.5.2. Evaluación de efectos en la remoción de arsénico

Respecto al análisis estadístico de los efectos principales, según la tabla 10 y anexo VII (tablas 12-16), de acuerdo al análisis Tukey con un $\alpha=0.05$, los resultados indican que los factores cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto, y pH: tiempo de contacto y también la interacción entre los 3 factores combinados los efectos son significativos.

En cuanto a la cantidad de carbón activado, se muestra estadísticamente en la tabla 12 que dos niveles son distintos a uno al 5% de significancia. Los resultados más favorables los presenta el nivel a1.

Según el análisis estadístico, en la tabla 13, se observa que dos niveles difieren entre sí con un nivel de significancia del 5%, siendo b3 el que presenta mejores resultados.

Según la tabla 14, el análisis estadístico del factor tiempo de contacto demostró que dos niveles son diferentes entre sí. Al ser evaluados a un nivel de significación del 5%, se concluyó que c3 es el mejor.

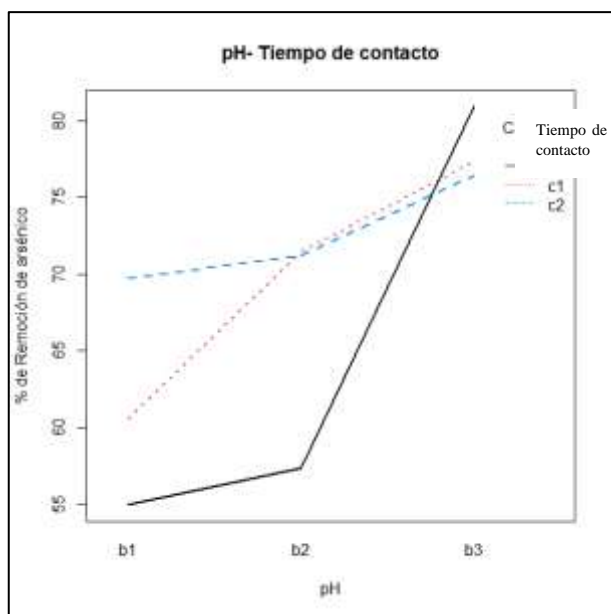
Los resultados del análisis estadístico para la combinación de los factores pH y tiempo de contacto están en la tabla 15. Se concluye que los niveles de ambos factores tienen discrepancias significativas (con un nivel de significancia del 5%), siendo la mejor combinación b3:c3.

Para concluir, según la tabla 16, se puede afirmar que hay una diferencia significativa entre los niveles de las tres variables analizadas (cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto) con un nivel de significancia del 5%. La combinación más eficaz de estas variables es a1:b3:c3, o sea: cantidad de carbón activado igual a 1.4 g, pH igual a 8 y tiempo de contacto igual a 90 minutos.

A continuación, se muestra la figura que combina la interacción resultante de los factores pH y tiempo de contacto:

Figura 27

Interacción de los factores pH – Tiempo de contacto en cuanto al porcentaje de remoción de arsénico



Nota: En esta figura se resalta la interacción que hay entre los factores pH – Tiempo de contacto en cuanto al porcentaje de remoción de arsénico, elaboración propia.

Según la figura 27, se muestran la evaluación de los efectos simples del factor pH en los tres niveles que posee el factor tiempo de contacto ($t_1=30$ minutos, $t_2=60$ minutos y $t_3=90$ minutos), deduciendo que existe interacción del efecto simple del factor pH dependiendo del nivel del factor tiempo de contacto, concluyendo que el mejor resultado del porcentaje de remoción de arsénico se da al combinar los niveles $b_3:c_3$, es decir a un pH 8 con un tiempo de contacto de 90 minutos.

4.5.3. Evaluación de efectos en la remoción de turbiedad

La evaluación estadística de los factores cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto, de acuerdo anexo VII (tabla 17), nos muestra que, existe mínima diferencia significativa en los niveles de los tres factores evaluados con un nivel de significancia del 5%, y obteniéndose como mejor resultado a la combinación de factores $a_2:b_1:c_3$, es decir a es decir a 2 g de cantidad de carbón activado a un pH de 5 y con un tiempo de contacto de 90 minutos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el proceso de la obtención del carbón activado de residuos de huesos de durazno (*Prunus persica*) se pudo obtener, además de ello a través de la visualización del microscopio Raman se pudo notar una morfología estructural porosa lo que conlleva a tener espacios libres para una buena adsorción.

Se caracterizó los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena, cuyos resultados son los siguientes: pH de 7.73, temperatura de 14.2 °C, conductividad eléctrica de 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 28.07 NTU de turbiedad y 0.1310 mg/L de arsénico, de los cuales los parámetros que excedieron el ECA para agua en la categoría 1 -A1, fueron el arsénico y la turbiedad.

Los resultados obtenidos en las pruebas de adsorción para la remoción de arsénico indicaron que los factores cantidad de carbón activado con 1.4 g, a un pH 8 y con un tiempo de contacto de 90 minutos tienen un efecto significativo en la eficiencia del proceso, mientras que para la turbiedad no tienen un efecto significativo.

Los resultados del estudio mostraron máximas eficiencias de remoción de arsénico y turbiedad de 84.96 % y 99.36 %, respectivamente. Estas eficiencias se lograron empleando 1.4 g y 2 g de carbón activado, con un pH de 8 y 5, y un tiempo de contacto de 90 minutos en ambos casos.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que en el proceso de la molienda de carbón de huesos de durazno (*Prunus persica*), utilizar protección personal como mascarilla respiratoria, gafas y guantes.

Se recomienda variar la temperatura en el proceso de activación del carbón de huesos de durazno (*Prunus persica*).

Se recomienda realizar el análisis de los grupos funcionales del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*).

Se recomienda ensayar a niveles pH ácidos, con el fin de evaluar la eficiencia de remoción de arsénico en agua.

Se recomienda realizar estudios de eficiencia de remoción en otros metales en pruebas de adsorción, para así poder describir el comportamiento del carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd Elnabi, M. K., Elkaliny, N. E., Elyazied, M. M., Azab, S. H., Elkhalifa, S. A., Elmasry, S., Mouhamed, M. S., Shalamesh, E. M., Alhoriény, N. A., Abd Elaty, A. E., Elgendy, I. M., Etman, A. E., Saad, K. E., Tsigkou, K., Ali, S. S., Kornaros, M., & Mahmoud, Y. A.-G. (2023). Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review. *Toxics*, 11(7), 580. <https://doi.org/10.3390/toxics11070580>
- Abrill, R. R., & Cerna, J. E. (2024). *Adsorción de arsénico utilizando carbón activado modificada en agua infiltrada de canal Chavimochic, Conache, Laredo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8c371eab-6306-49ae-a7d6-442a3c90a40a/content>
- Acebedo, L. M., Valladares, M. R., Ramirez, C. R., & Flores, E. (2020). Remoción de arsénico (V) por adsorción en carbón activado de cáscara de coco. *Revista Tendencias En Docencia e Investigación En Química*, 3(3), 228–236. <http://hdl.handle.net/11191/8336>
- Acosta, G. J., & Dominguez, E. M. (2021). *Prunus Persica como complemento del sulfato de aluminio en la remoción de la turbiedad presente en aguas superficiales del Río Moche - Trujillo, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28997>
- Aguirre, N. Y. (2021). *Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/7397/Aguirre_Achaquihui_Nathali_Yola.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Al-Ghouti, M. A., & Da'ana, D. A. (2020). Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 393, 122383. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>
- Ale-Mauricio, D. A., Villa, G., & Gastañaga, M. del C. (2018). Concentraciones de arsénico urinario en pobladores de dos distritos de la región Tacna, Perú, 2017. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 183–189.

<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3693>

- Algieri, C., Pugliese, V., Coppola, G., Curcio, S., Calabro, V., & Chakraborty, S. (2022). Arsenic removal from groundwater by membrane technology: Advantages, disadvantages, and effect on human health. *Groundwater for Sustainable Development*, *19*, 100815. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100815>
- Alouiz, I., Benhadj, M., Dahmane, E., Sennoune, M., Amarouch, M.-Y., & Mazouzi, D. (2024). Elaboration of fibrous structured activated carbon from olive pomace via chemical activation and low-temperature pyrolysis. *Heliyon*, *10*(20), e38886. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38886>
- Alsulaili, A. D., Refaie, A. A., & Garcia, H. A. (2023). Adsorption capacity of activated carbon derived from date seeds: Characterization, optimization, kinetic and equilibrium studies. *Chemosphere*, *313*, 137554. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137554>
- Alvarado, L. N. (2023). *Diseño de una planta piloto para la producción de carbón activado usando como materia prima desechos agroforestales con fines de utilización en tratamiento terciario de aguas residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/4634/IASIN-ALV-GAR-2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Andia, J. M., Larrea, A., Salcedo, J., Reyes, J., Lopez, L., & Yokoyama, L. (2020). Synthesis and characterization of chemically activated carbon from *Passiflora ligularis*, *Inga feuillei* and native plants of South America. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(4), 103892. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103892>
- Ansari, M. A., Kumar, U. S., Noble, J., Akhtar, N., Akhtar, M. A., & Deodhar, A. (2023). Isotope hydrology tools in the assessment of arsenic contamination in groundwater: An overview. *Chemosphere*, *340*, 139898. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139898>
- Apaza, H. (2018). *Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7f495789-bc2d-4409-bcc0-da400f5ec30f/content>

- Apaza, R., & Calcina, M. (2014). Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno. *Revista de Investigación Altoandina*, 16(1), 51–58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5893904>
- Asqui, N. R. (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 quinua (Chenopodium quinoa)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19842/Asqui_Cabrera_No_rka_Rosmery.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- ASTM. (2021). *Standard test method for chemical analysis of wood charcoal*. In American Society for Testing and Materials, Conshohocken, PA. <https://www.astm.org/d1762-84r21.html>
- Azcona, Á. C., & Fernández, M. G. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. *Agua Para La Salud*, 33, 63–78. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23 rd ed, p. 541). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-introduction-white-paper.pdf
- Baíza, V. H. (2004). *Guía técnica del cultivo del melocotón* (p. 46). <http://repiica.iica.int/docs/B0220e/B0220e.pdf>
- Baloitcha, G. M. P., Mayabi, A. O., & Home, P. G. (2022). Evaluation of water quality and potential scaling of corrosion in the water supply using water quality and stability indices: A case study of Juja water distribution network, Kenya. *Heliyon*, 8(3), 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09141>
- Barreto, C. E. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos* [Universidad

- Nacional del Callao].
http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/2005/Barreto_Informefinal_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bayuo, J., Rwiza, M. J., & Mtei, K. M. (2023). Modeling and optimization of trivalent arsenic removal from wastewater using activated carbon produced from maize plant biomass: a multivariate experimental design approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04494-1>
- Berrenechea, R. R., & Román, H. (2021). *Uso del carbón activado de Prunus persica y Persea americana para la remoción de arsénico y plomo* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/83856/Barrenechea_SRR-Román_PH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bibi, F., Hussain, R., Iqbal, N., Saeed, S., Waseem, M., Elkaeed, E. B., Al-Anazy, M. M., & Haq, S. (2023). Chemical activation and magnetization of onion waste derived carbon for arsenic removal. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(10), 105118. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105118>
- Bilal, M., Ihsanullah, I., Younas, M., & Ul Hassan Shah, M. (2021). Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review. *Separation and Purification Technology*, 278, 119510. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119510>
- Bonifacio, C., & Zegarra, M. (2019). *Evaluación del tiempo de carbonización y concentración del ácido fosfórico en la preparación de carbón activado a partir de la cáscara de naranja valencia a nivel laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del centro del Perú].
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5467/Bonifacio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bundschuh, J., Litter, M., Ciminelli, V. S. T., Morgada, M. E., Cornejo, L., Hoyos, S. G., Hoinkis, J., Alarcón-Herrera, M. T., Armienta, M. A., & Bhattacharya, P. (2010). Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Latin America – A critical analysis. *Water Research*, 44(19), 5828–5845. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.001>

- Cabana, R. A. (2022). *Comparación de la eficiencia de los bioadsorbentes semilla de palta (Persea americana) y mazorca de maíz (Zea mays) en la remoción del arsénico (As) de las aguas naturales del subsuelo de la zona del distrito de Torata* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua] https://repositorio.unam.edu.pe/bitstream/handle/UNAM/310/D095_71658168_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Caira, A. H. (2022). *Eficiencia de adsorción de arsénico (V) en hidralgirita pretratada con óxidos de hierro en agua* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/xmlui/handle/UNAJ/197>
- Canchari, M. (2018). *Efecto del ácido giberélico, tiourea y nitrato de potasio en la germinación de la semilla de durazno blanquillo (Prunus pérsica L.), Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal]. http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3551/1/TESIS_AG1238_Can.pdf
- Carbonel, D. (2018). Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética. *Ingeniería*, 23(3), 1–15. <https://doi.org/10.14483/23448393.13418>
- Castaneda-Olivera, C. A., Pérez, H. R., Suazo, R. R. B., Benites-Alfaro, E. G., Hacha, R. R., & Merma, A. G. (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, 1–6. <https://doi.org/10.3303/CET23100001>
- Castro, M. (2004). *Arsénico en el agua de bebida de américa latina y su efecto en la salud pública*. CEPIS/OPS.
- Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304–308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Cheng, H., Liu, Q., Yang, J., Ma, S., & Frost, R. L. (2012). The thermal behavior of kaolinite intercalation complexes-A review. *Thermochimica Acta*, 545, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.04.005>
- COEN. (2019). *Contaminación por arsénico y plomo en el agua subterránea del distrito de Mórrope - Lambayeque*. (Informe N°. 45). <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/20190105100451.pdf>

- Constanza, R. (2020). *Propuesta de tratamiento en el agua de Olavarría para cumplir con el calor guía del arsénico especificado por la OMS* [Tesis de pregrado, Universidad Central Bolivia]. <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/5fec0f69-9d2c-407a-a678-f8f0bbbd7afb/content>
- Coronas, J. (2013). *Tema 6. Adsorción*. <https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/ADSORCION.pdf>
- Cortés, M., & Iglesias, M. (2004). *Generalidades sobre metodología de la investigación*. https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf
- Cortez, D. A. (2022). *Determinación de la dosis óptima del carbón activado de Citrus Sinensis para la remoción de arsénico en Pacora* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/104525/Cortez_ADA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- de Meyer, C. M. C., Wahnfriend, I., Rodriguez, J. M. R., Kipfer, R., Avelino, P. A. G., Deza, E. A. C., & Berg, M. (2023). Hotspots of geogenic arsenic and manganese contamination in groundwater of the floodplains in lowland Amazonia (South America). *Science of The Total Environment*, 860, 160407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160407>
- Demelash, A., Atlabachew, A., Jothimani, M., & Abebe, A. (2023). Hydrogeochemical Characterization and Appraisal of Groundwater Quality in Yisr River Catchment, Blue Nile River Basin, Ethiopia, by Using the GIS, WQI, and Statistical Techniques. *Journal of Chemistry*, 2023(8199000), 1–40. <https://doi.org/10.1155/2023/8199000>
- Dey, S., Botta, S., Kallam, R., Angadala, R., & Andugala, J. (2021). Seasonal variation in water quality parameters of Gudlalleru Engineering College pond. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100058>
- Ding, W. Q., Labiadh, L., Xu, L., Li, X. Y., Chen, C., Fu, M. L., & Yuan, B. (2023). Current advances in the detection and removal of organic arsenic by metal-organic frameworks. *Chemosphere*, 339, 139687. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139687>

- Duyoner, A. T., Carrillo, L. E. G., & Castillo, F. C. (2023). Removal of Pb²⁺ from industrial wastewater using activated carbon from *Persea americana* seed. *Revista Ambiente & Agua*, 18, e2883. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2883>
- Fennema, O. R. (2020). *Agua y hielo*. <https://es.scribd.com/document/393910999/129492518-Fennema-Quimica-de-los-alimentos-pdf>
- Ferrando, P. J., & Anguiano-Carrasco, C. (2010). El análisis factorial como técnica de investigación en psicología. *Papeles Del Psicologo*, 31(1), 18–33. <https://www.redalyc.org/pdf/778/77812441003.pdf>
- Ferro, P., Farfan-Solis, R., Blanco-Shocosh, D., Ferró-González, A. L., & Ferro-Gonzales, P. F. (2023). Determination of inorganic chemical parameters in drinking water in districts of the province of Puno in the region Puno-Peru. *Heliyon*, 9(5), e15624. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15624>
- Fiestas, M. S., & Millones, A. L. (2021). *Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4028/BC-TES-TMP-2821.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Figueroa, D., Moreno, A., & Hormaza, A. (2015). Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 105–120. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n26a7>
- Fikadu, G. (2022). Determination of Selected physicochemical water quality parameters of the upper stream of Amerti watershed of Western Ethiopia. *Environmental Challenges*, 8, 100558. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100558>
- Franco, E. F., Ramos, R., Ovando-Javier, A., Montero-Espaillet, E., Bonilla, S., & Veda, A. (2023). Water quality sensors for the control of physicochemical pollution in aquifers in Latin America: a review. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(1), 45–70. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp45-70>
- Gallo, Y. M., Rico, I. L., & García, J. O. (2017). Influencia del pH y la temperatura en la adsorción de fenol en agua utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Afinidad*,

74, 579. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/328472/419069>

Gao, X., Guo, C., Hao, J., Zhao, Z., Long, H., & Li, M. (2020). Adsorption of heavy metal ions by sodium alginate based adsorbent—a review and new perspectives. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164(December), 4423–4434. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.046>

García, Á. (2005). *Estructura e importancia del agua en el metabolismo celular*. https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_bioquimica/Unidad_2.pdf

George, C. M., Sima, L., Arias, M. H. J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., Checkley, W., & Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92(8), 565–572. <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>

Giri, D. D., Jha, J. M., Tiwari, A. K., Srivastava, N., Hashem, A., Alqarawi, A. A., Abd_Allah, E. F., & Pal, D. B. (2021). Java plum and amaltash seed biomass based bio-adsorbents for synthetic wastewater treatment. *Environmental Pollution*, 280, 116890. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116890>

Gökırmak Söğüt, E., & Gülcan, M. (2023). Adsorption: basics, properties, and classification. In *Adsorption through Advanced Nanoscale Materials* (pp. 3–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18456-7.00001-8>

González, B. D. (2017). *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147405/Desarrollo-de-carbón-activado-a-partir-de-desechos-agroindustriales-con-aplicacion-en-adsorcion.pdf?sequence=1>

González, M. (2010). *Adsorción*. La Guía. <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/adsorcion>

Granadillo, M., Laguna, E., Bermúdez, Y., Spooner, L., & González, E. (2021). Efecto del pH de Aguas con Alta turbidez en la Eficiencia del Coagulante Opuntia ficus indica. *Sociedad Iberoamericana de Información Científica*, 4(7), 1–9. <https://www.siicsalud.com/des/expertoimpreso.php/153376>

Gutiérrez, V., & Otero, J. (2015). *Espectroscopía Raman: fundamento y aplicaciones*

- [Monografía de licenciatura, Universidad de Edimburgo].
https://www.researchgate.net/publication/280720782_Espectroscopia_Raman_Fundamento_y_aplicaciones?channel=doi&linkId=55c28a6108aeb975673e460b&showFulltext=true
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 1(16), 253–262.
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/881>
- Hasan, N. T., Han, D., Xu, X., Sansom, G., & Roh, T. (2024). Relationship between low-level arsenic exposure in drinking water and kidney cancer risk in Texas. *Environmental Pollution*, 363, 125097.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125097>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edic). México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES S.A. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.Hernandez,Fernandez,yBaptista-MetodologíaInvestigacionCientifica6taed.pdf>
- Hu, L., Cao, Y., Xia, Z., & Lin, D. (2024). Physical modeling of organics-contaminated groundwater remediation by ozone micro-nano-bubbles enhanced oxidation. *Journal of Hydrology*, 645, 132176. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132176>
- Igberase, E., & Osifo, P. (2015). Equilibrium, kinetic, thermodynamic and desorption studies of cadmium and lead by polyaniline grafted cross-linked chitosan beads from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 340–347.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.12.007>
- INEI. (2020). *Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- Jafarzadeh, N., Heidari, K., Meshkinian, A., Kamani, H., Mohammadi, A. A., & Conti, G. O. (2022). Non-carcinogenic risk assessment of exposure to heavy metals in underground water resources in Saraven, Iran: Spatial distribution, monte-carlo simulation, sensitive analysis. *Environmental Research*, 204, 112002.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112002>

- Julca, R., & Tolentino, S. M. (2016). *Efecto de la altitud y ubicación antes meridiano y pasado meridiano del sol en las características fisicoquímicas y sensoriales del durazno (Prunus persica L.) variedad blanquillo de la zona de Cayran - Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco]. https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/1252/TAI_00074_J87.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Julián, S. (2011). *Tratamientos de aguas residuales industriales con materia orgánica no biodegradable* [Tesis de pregrado, Universidad de Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/5976/files/TAZ-PFC-2011-294.pdf>
- Kakavandi, N. R., Mousavi, T., Asadi, T., Moradi, A., Esmaeili, M., Sezavar, A. H., Nikfar, S., & Abdollahi, M. (2023). An updated systematic review and dose-response meta-analysis on the relation between exposure to arsenic and risk of type 2 diabetes. *Toxicology Letters*, *384*, 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2023.08.001>
- Kanel, S. R., Das, T. K., Varma, R. S., Kurwadkar, S., Chakraborty, S., Joshi, T. P., Bezbaruah, A. N., & Nadagouda, M. N. (2023). Arsenic contamination in groundwater: Geochemical basis of treatment technologies. *ACS Environmental Au*, *3*(3), 135–152. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.2c00053>
- Korkalo, P., Varila, T., Brännström, H., Hellström, J., Jyske, T., & Lassi, U. (2023). Applicability of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) bark extract as a precursor of rigid carbon foam and activated carbon. *Biomass and Bioenergy*, *174*, 106838. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106838>
- Kowalski, K. P. (2014). Advanced Arsenic Removal Technologies Review. In *Chemistry of Advanced Environmental Purification Processes of Water* (pp. 285–337). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53178-0.00008-0>
- Kumar, A., Kumar, H., Naz, A., Koul, M., Chowdhury, A., & Shekhar, S. (2022). Arsenic removal technologies for middle- and low-income countries to achieve the SDG-3 and SDG-6 targets: A review. *Environmental Advances*, *9*, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100262>
- Lamata-Bermejo, I., Alba, M. D., & Ramírez-Rico, J. (2024). Influence of the chemical activation with KOH/KNO₃ on the CO₂ adsorption capacity of activated carbons

- from pyrolysis of cellulose. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(6), 114288. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114288>
- Lara, M. D. A., Tovar, D. A. N., & Torres, M. Á. R. (2017). Síntesis físico-química de carbón activado a partir de residuos ácidos. *JOVENES EN LA CIENCIA*, 3(2), 2505–2509.
[//www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2039](http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2039)
- Li, Y., Xuan, F., Guo, Z., Wang, M., Zhang, H., Li, X., & Wu, L. (2025). Rapid and efficient adsorption of p-nitrophenol over biomass-derived vertically aligned graphene nanosheets fabricated by hydrothermal/molten salt-assisted pyrolysis method. *Separation and Purification Technology*, 354, 129368. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.129368>
- Lillo-Ródenas, M. ., Cazorla-Amorós, D., & Linares-Solano, A. (2003). Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. *Carbon*, 41(2), 267–275. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(02\)00279-8](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00279-8)
- Liu, X., Zhu, H., Gong, L., Jiang, L., Lin, D., & Yang, K. (2022). New insights into hierarchical pore size and level of concentration in efficient removal of toluene vapor by activated carbon. *Science of The Total Environment*, 853, 158719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158719>
- Llanos, O., Ríos, A., Jaramillo, C., & Rodríguez, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción+limpia*, 11(2), 150–160. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>
- López, M. (2019, 29 de mayo). *Nanopartículas para la remoción de arsénico del agua*. Youtube.
https://educast.pucp.edu.pe/video/11266/coloquio_de_fisica__nanoparticulas_para_la_remo
- López, M., Romano, E., & Triana, J. (2005). *El agua*. [Archivo PDF]. <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/253/1/495.pdf>
- Luna, E. A. (2016). *Elaboración de guías prácticas de procesos metalúrgicos para el laboratorio de minas de la Universidad del Azuay* [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6351/1/12519.pdf>
- Mabalane, K., Shooto, N. D., & Thabede, P. M. (2024). A novel permanganate and

- peroxide carbon-based avocado seed waste for the adsorption of manganese and chromium ions from water. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100782. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100782>
- Maldonado, D. C. (2023). *Evaluación de la calidad del agua de las fuentes de descarga en la acequia la Victoria, cantón Antonio Ante* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14641>
- Mamani, M. (2022). *Sistemas pasivos de acondicionamiento térmico aplicadas en el diseño de la I.E.P. César Vallejo de Taraco – Puno 2022* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/118658>
- 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 pregrados, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e4277544-232f-461d-9c1f-75dbdf1f322d/content>
- Mamani, W., Inofuente, W., De la cruz, D., Zea, N., Salas, R., Mamani, D., & Sucapuca, R. (2019). Adsorción de metales pesados de aguas residuales de la mina Lunar de Oro con carbón activado de lenteja de agua (*Lemna gibba* L.). *ÑAWPARISUM - Revista de Investigación Científica*, 1(2), 13–20. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:181547829>
- Manzollillo, B. (2019). Uso de Tecnologías Limpias en la Desinfección del Agua para la Reducción de Diarrea en Niños. Revisión Sistemática. *Tekhné*, 22(1), 50–57. <https://doi.org/10.62876/tekhn.v22i1.4049>
- Martínez, C., Aguilera, E. N., & Martínez, A. (2018). Remoción de arsénico de agua potable mediante adsorción sobre óxido y oxihidróxidos de hierro. *CienciAcierta*, 56, 1–14. <http://www.cienciacierta.uadec.mx//articulos/cc56/Remocion.pdf>
- Martínez, C. M., & Sepúlveda, M. A. R. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 41(1), 197–207. [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(14\)60077-9](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(14)60077-9)
- Martínez, M. R., Mendoza, J. Y., Medrano, B. E., Gómez, L. M., & Zafra, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta

- potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15–24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Melliti, A., Yılmaz, M., Sillanpää, M., Hamrouni, B., & Vurm, R. (2023). Low-cost date palm fiber activated carbon for effective and fast heavy metal adsorption from water: Characterization, equilibrium, and kinetics studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 672, 131775. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131775>
- Mendoza-Cano, O., Sánchez-Piña, R. A., Barrón-Quintana, J., Cuevas-Arellano, H. B., Escalante-Minakata, P., & Solano-Barajas, R. (2017). Riesgos potenciales de salud por consumo de agua con arsénico en Colima , México. *Salud Pública de México*, 59(1), 34–40. <https://doi.org/10.21149/8413>
- MINAM. (2017). *Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Mondal, M. K., & Garg, R. (2017). A comprehensive review on removal of arsenic using activated carbon prepared from easily available waste materials. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(15), 13295–13306. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8842-7>
- Mukate, S. V., Panaskar, D. B., Wagh, M., & Baker, E. J. (2020). Understanding the influence of industrial and agricultural land uses on groundwater quality in semiarid region of Solapur, India. *Environ Dev Sustain*, 22, 3207–3238. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00342-3>
- Muoio, R., Caretti, C., Rossi, L., Santianni, D., & Lubello, C. (2020). Water safety plans and risk assessment: A novel procedure applied to treated water turbidity and gastrointestinal diseases. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 223(1), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.07.008>
- Neolaka, Y. A. B., Riwu, A. A. P., Aigbe, U. O., Ukhurebor, K. E., Onyancha, R. B., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2022). Potential of activated carbon from various sources as a low-cost adsorbent to remove heavy metals and synthetic dyes. *Results in Chemistry*, 5, 100711. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100711>
- Ning, J., Pi, K., Liang, Q., Zhang, L., Su, C., Luo, Z., & Wang, Y. (2024). Geogenic

- fluorine-contaminated groundwater increases fluorosis risk in communities of northern cold regions: Genesis mechanism and exposure pathways. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136136. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136136>
- Obando, A. R. N., & Ramos, I. V. (2019). Influencia del tipo de carbón , peso y temperatura en la remoción de turbidez del agua. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN ESTADÍSTICA*, 1(1), 78–85. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/2797>
- Ortega, C. (2023). *Anova: Qué es y cómo hacer un análisis de la varianza*. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/anova/>
- Ospina-Guarín, V. M., Buitrago-Sierra, R., & López-López, D. P. (2014). Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera. *TecnoLógicas*, 17(32), 75–84. <https://doi.org/10.22430/22565337.207>
- Pacori, E. W., & Pacori, A. K. (2019). *Metodología y diseño de la investigación científica* (Ffcaat (ed.); 1st ed.).
- Patel, K. S., Pandey, P. K., Martín-Ramos, P., Corns, W. T., Varol, S., Bhattacharya, P., & Zhu, Y. (2023). A review on arsenic in the environment: bio-accumulation, remediation, and disposal. *RSC Advances*, 13(22), 14914–14929. <https://doi.org/10.1039/D3RA02018E>
- Peralta, E. G. (2021). *Remoción de arsénico (As) aplicando cáscara de arroz modificado químicamente, de las aguas superficiales de la comunidad de Upina, Carabaya-Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. [http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/xmlui/bitstream/handle/UNAJ/188/PERALTA JULLIRI EUSEBIO GERMAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/xmlui/bitstream/handle/UNAJ/188/PERALTA%20JULLIRI%20EUSEBIO%20GERMAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pérez, J. B., Araujo, A. L., Fernandez, R., & de los Santos Ortiz, R. (2022). Variaciones en el equilibrio de adsorción según el tamaño de partícula adsorbente. *Ciencias y Sociedad*, 17(1), 52–59. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7472821>
- Phat, V. V., & Le, L. T. (2023). Review on the removal of Arsenic in groundwater using laterite adsorbent. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 35, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100496>
- Porras, G., & Martinez, C. (2019). *Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros* [Tesis de pregrado,

Universidad Peruana Unión].
<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8d556644-f245-4026-a937-589e29db3d5b/content>

- Prasad, K. S., Ramanathan, A. L., Paul, J., Subramanian, V., & Prasad, R. (2013). Biosorption of arsenite (As +3) and arsenate (As +5) from aqueous solution by *Arthrobacter* sp. biomass. *Environmental Technology*, 34(19), 2701–2708. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.786137>
- Pruchniak, A. P. S., Silva, G. dos S. P., Lima, L. S., & Quináia, S. P. (2020). Atrazine removal in aqueous solutions using activated carbon from peach stone. *Revista Ambiente & Água*, 15(3), 1–11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2343>
- Qiu, B., Tao, X., Wang, H., Li, W., Ding, X., & Chu, H. (2021). Biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 155, 105081. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105081>
- Racancoj, A. B. (2022). Eficiencia de la semilla de durazno *Prunus pérsica* S “Salcajá” como coagulante natural. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.36829/08asa.v17i1.1401>
- Radovic, L. R., Silva, I. F., Ume, J. I., Menéndez, J. A., Leon, C. A. L. Y., & Scaroni, A. W. (2021). An experimental and theoretical study of the adsorption of aromatics possessing electron-withdrawing and electron-donating functional groups by chemically modified activated carbons. *Carbon*, 35(9), 1339–1348. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(97\)00072-9](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(97)00072-9)
- Rahman, H. L. (2017). *As (V) removal from aqueous solutions with magnetic activated carbon prepared from almond shell, apricot and peach stones mixture* [Tesis de pregrado, Firat University]. <https://platform.almanhal.com/Details/Thesis/2000038151?ID=4-2000038151#>
- Rahman, M. S., Reza, A. H. M. S., Sattar, G. S., Bakar Siddique, M. A., Akbor, M. A., Moniruzzaman, M., Uddin, M. R., & Shafiuzzaman, S. M. (2024). Mobilization mechanisms and spatial distribution of arsenic in groundwater of western Bangladesh: Evaluating water quality and health risk using EWQI and Monte Carlo simulation. *Chemosphere*, 366, 143453. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143453>

- Rajan, M., & Indira, C. (2022). Role of activated carbon in water treatment. In *Water Quality - New Perspectives [Working Title]* (p. 18). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108349>
- Ramón, C., Barajas, J., Pérez, G., Hernández, M. Á., & Díaz, L. L. (2019). Adsorción de cobre (II) y cadmio (II) en suspensiones acuosas de CaCO₃ biogénico nanoestructurado. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58(1), 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.05.003>
- Requena, G. Y. (2022). *Efecto de cianamida hidrogenada en el rendimiento del cultivo de melocotonero (Prunus persica L.), en el distrito de Cajacay, provincia de Bolognesi - Ancash 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/5457/T033_48792991_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reza, M. S., Yun, C. S., Afroze, S., Radenahmad, N., Bakar, M. S. A., Saidur, R., Taweekun, J., & Azad, A. K. (2020). Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 27(1), 208–238. <https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1766799>
- Rincón, J., Rincón, S., Guevara, P., Ballén, D., Morales, J. C., & Monroy, N. (2015). Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 171–175. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.138>
- Roncal, J. A., & Vega, S. R. (2019). *Influencia de la velocidad de agitación y granulometría del carbón activado de semillas de Persea americana y Prunus persica en adsorción de cromo en efluentes de curtiembre* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50919>
- Rosales, D. J., & Quevedo, A. G. (2019). *Adsorción con carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la remoción de plomo y cromo en aguas contaminadas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/5114/ROSALES>

2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sahu, A., Kumar, A., Dashairya, L., Saha, P., Bhuyan, S. K., Sen, S., & Mishra, S. C. (2023). Performance of wasteland biomass *Calotropis gigantea* derived activated carbon as Lithium-ion battery anode. *Diamond and Related Materials*, *136*, 110053. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2023.110053>
- Salimi, M., Salehi, Z., Heidari, H., & Vahabzadeh, F. (2021). Production of activated biochar from *Luffa cylindrica* and its application for adsorption of 4-Nitrophenol. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(4), 105403. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105403>
- Schmidlin, D., Scheiber, L., Teixidó, M., Vázquez, E., Criollo, R., Jurado, A., Puigserver, D., Burdons, S., & Enrich, M. (2023). Sources of Contaminants of Emerging Concern in Groundwater of Barcelona Urban Area. *Advances in Geosciences*, *59*, 59–67. <https://doi.org/10.5194/adgeo-59-59-2023>
- Serafin, J., Dziejarski, B., & Sreńscek-Nazzal, J. (2023). An innovative and environmentally friendly bioorganic synthesis of activated carbon based on olive stones and its potential application for CO₂ capture. *Sustainable Materials and Technologies*, e00717. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00717>
- Sevilla, U. D. (2011). *Manual Del Carbón Activo*. [Archivo PDF]. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-del-carbon-activo>
- Slim, C. (2023). *Riesgos a la salud de tomar agua turbia*. <https://www.clikisalud.net/los-riesgos-la-salud-tomar-agua-turbia/>
- Su, Q., He, Y., Pan, H., Liu, H., Mehmood, K., Tang, Z., & Hu, L. (2023). Toxicity of inorganic arsenic to animals and its treatment strategies. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, *271*, 109654. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109654>
- Tapara, R. (2024). *Evaluación de la remoción de plomo, hierro y cadmio de las aguas procedentes del río Crucero empleando quitosano como adsorbente* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/xmlui/handle/UNAJ/365>
- Tapia, L. R. (2021). *Evaluación de arsénico con Chacko (Hidralgirita) en aguas subterráneas contaminadas del distrito de Taraco – Puno* [Tesis de pregrado,

Universidad Nacional del Altiplano].
https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/5020/Tapia_Callata_Lidia_Rut.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Tefera, N., Mulualem, Y., & Fito, J. (2020). Adsorption of fluoride from aqueous solution and groundwater onto activated carbon of avocado seeds. *Water Conservation Science and Engineering*, 5, 187–197. <https://doi.org/10.1007/s41101-020-00093-7>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Teng, H., & Lin, H. (2017). Activated carbon production from low ash subbituminous coal with CO₂ activation. *AIChE Journal*, 44(5), 1170–1177. <https://doi.org/10.1002/aic.690440514>
- Tiryaki, B., Yagmur, E., Banford, A., & Aktas, Z. (2014). Comparison of activated carbon produced from natural biomass and equivalent chemical compositions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.11.014>
- Tubert, I., & Talanquer, V. (2018). Sobre adsorción. *Educación Química*, 8(4), 186–190. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1997.4.66595>
- Turpo, R. E., Ccama, J. W., & Quispe, I. K. (2022). *Filtración de arsénico de aguas subterráneas con zeolitas naturales de la región Puno - Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0f3a9856-cfce-482f-bd24-a4e7c97e8ebb/content>
- Valente, M. D. S. (2013). *Manual práctico de análisis de agua* [Archivo PDF]. https://bvsm.sau.de.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf
- Valenzuela, R. N., & Yucra, Y. (2022). Evaluación de la calidad de agua subterránea del Parque Industrial Taparachi del distrito de Juliaca. *ÑAWPARISUM - Revista de Investigación Científica*, 3(4), 67–72. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i4.8>
- Vasiraja, N., Prabhakar, R. S. S., & Joshua, A. (2023). Preparation and Physio – Chemical characterisation of activated carbon derived from prosopis juliflora stem for the

- removal of methylene blue dye and heavy metal containing textile industry effluent. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136579. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136579>
- Velásquez, M. M. (2014). *Análisis de la eficiencia técnica en la producción de durazno (Prunus persicae L.) en el distrito de Calana, región Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna]. http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1746/444_2014_velasquez_arana_mm_fcag_economia_agraria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vilca, J. M. (2022). *Comparación de tratamientos de oxidación avanzada, carbón activado y filtración por membrana para la remoción de colorantes utilizados en industrias textiles de la ciudad de Arequipa - Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11867/4G.0062.IA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, J., Xu, W., Chen, L., Huang, X., & Liu, J. (2014). Preparation and evaluation of magnetic nanoparticles impregnated chitosan beads for arsenic removal from water. *Chemical Engineering Journal*, 251, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.04.061>
- Wang, K., Holm, P. E., Trettenes, U. B., Bandaru, S. R. S., van Halem, D., & van Genuchten, C. M. (2023). Molecular-scale characterization of groundwater treatment sludge from around the world: Implications for potential arsenic recovery. *Water Research*, 245, 120561. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120561>
- Wang, Q., Pinkham, N. V., & Walk, S. T. (2023). The gut microbiome's potential to influence arsenic exposure. *Current Opinion in Toxicology*, 100431. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2023.100431>
- Wang, Y., Liu, H., Wang, S., Li, X., Wang, X., & Jia, Y. (2020). Simultaneous removal and oxidation of arsenic from water by δ -MnO₂ modified activated carbon. *Journal of Environmental Sciences*, 94, 147–160. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.006>
- Wang, Z., Cao, Q., Guo, F., Yan, Y., Jin, L., & Cao, Q. (2023). Preparation and electrochemical properties of low-temperature activated porous carbon from coal tar pitch. *Diamond and Related Materials*, 135, 109855.

<https://doi.org/10.1016/j.diamond.2023.109855>

Warner, L. A., Diaz, J. M., Kalauni, D., & Yazdanpanah, M. (2024). Encouraging others to save water: using definitions of the self to elucidate a social behavior in Florida, USA. *Cleaner and Responsible Consumption*, 12, 100176. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53178-0.00008-0>

Yadav, M. K., Saidulu, D., Gupta, A. K., Ghosal, P. S., & Mukherjee, A. (2021). Status and management of arsenic pollution in groundwater: A comprehensive appraisal of recent global scenario, human health impacts, sustainable field-scale treatment technologies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105203. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105203>

Yan, Y., Wang, G., Wei, B., & Wang, X. (2024). Removal performance for copper and turbidity with dithiocarboxyl aminomethy-polyacrylamide as flocculant. *Journal of Water Process Engineering*, 68, 106526. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106526>

Yao, R., & Yang, H. (2020). An overview of As (V) removal from water by adsorption technology. *Annals of Musculoskeletal Medicine*, 4(1), 015–020. <https://doi.org/10.17352/amm>

Zapana, Y. (2022). *Remoción de los metales pesados mercurio y arsénico mediante la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada - Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18831/Zapana_Coila_Yoni.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Zhang, X., Gao, B., Creamer, A. E., Cao, C., & Li, Y. (2017). Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 338, 102–103. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.013>

Zhang, Y., Zhao, M., Cheng, Q., Wang, C., Li, H., Han, X., Fan, Z., Su, G., Pan, D., & Li, Z. (2021). Research progress of adsorption and removal of heavy metals by chitosan and its derivatives: A review. *Chemosphere*, 279, 130927. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130927>

Zhao, C., Ge, L., Mai, L., Chen, S., Li, Q., Yao, L., Li, D., Wang, Y., & Xu, C. (2023). Preparation and performance of coal-based activated carbon based on an orthogonal

experimental study. *Energy*, 274, 127353.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127353>

Zhao, Z., Fan, B., Zhou, Y., & Wang, D. (2024). An effective data-driven water quality modeling and water quality risk assessment method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 138, 109457. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109457>

Zhu, R., Yu, Q., Li, M., Zhao, H., Jin, S., Huang, Y., Fan, J., & Chen, J. (2021). Analysis of factors influencing pore structure development of agricultural and forestry waste-derived activated carbon for adsorption application in gas and liquid phases: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105905. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105905>

Zhu, Y., Liu, H., Wang, T., Wang, Y., & Liu, H. (2023). Evolution of pore structures and fractal characteristics of coal-based activated carbon in steam activation based on nitrogen adsorption method. *Powder Technology*, 424, 118522. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118522>

ANEXOS

Anexo I. Obtención de carbón activado de huesos de durazno (*Prunus persica*).

Figura 28

Recolección de residuos de durazno (*Prunus persica*), en los mercados, viviendas y pastelerías de la ciudad de Juliaca.



Nota: En la figura se muestran los procesos de: A: Recolección. B: Separación del endocarpio y mesocarpio. C: Extracción de semillas. D: Almacenamiento de los huesos de durazno (*Prunus persica*). Elaboración propia.

Figura 29

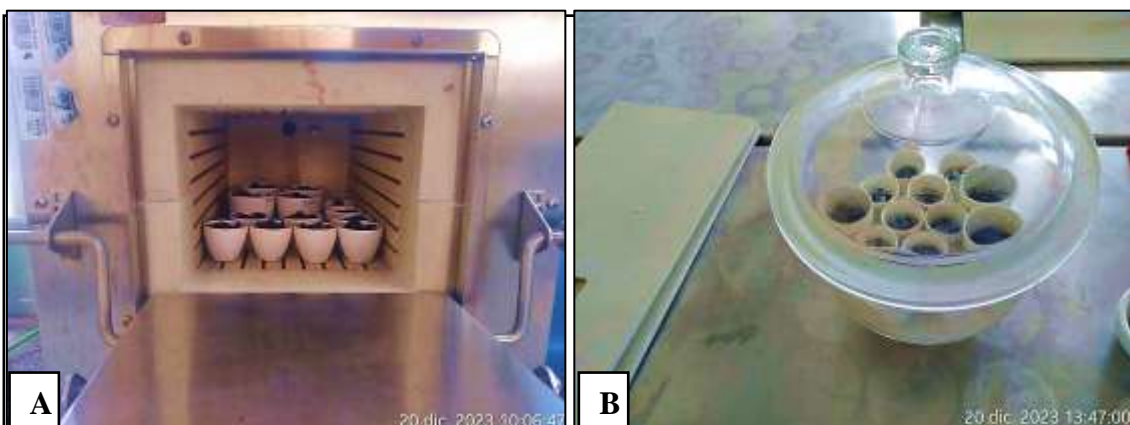
Tratamiento físico de los huesos de durazno



Nota: Se muestra en las figuras el tratamiento físico. A: Lavado. B: Secado a temperatura ambiente. C: Eliminación de la humedad. Elaboración propia.

Figura 30

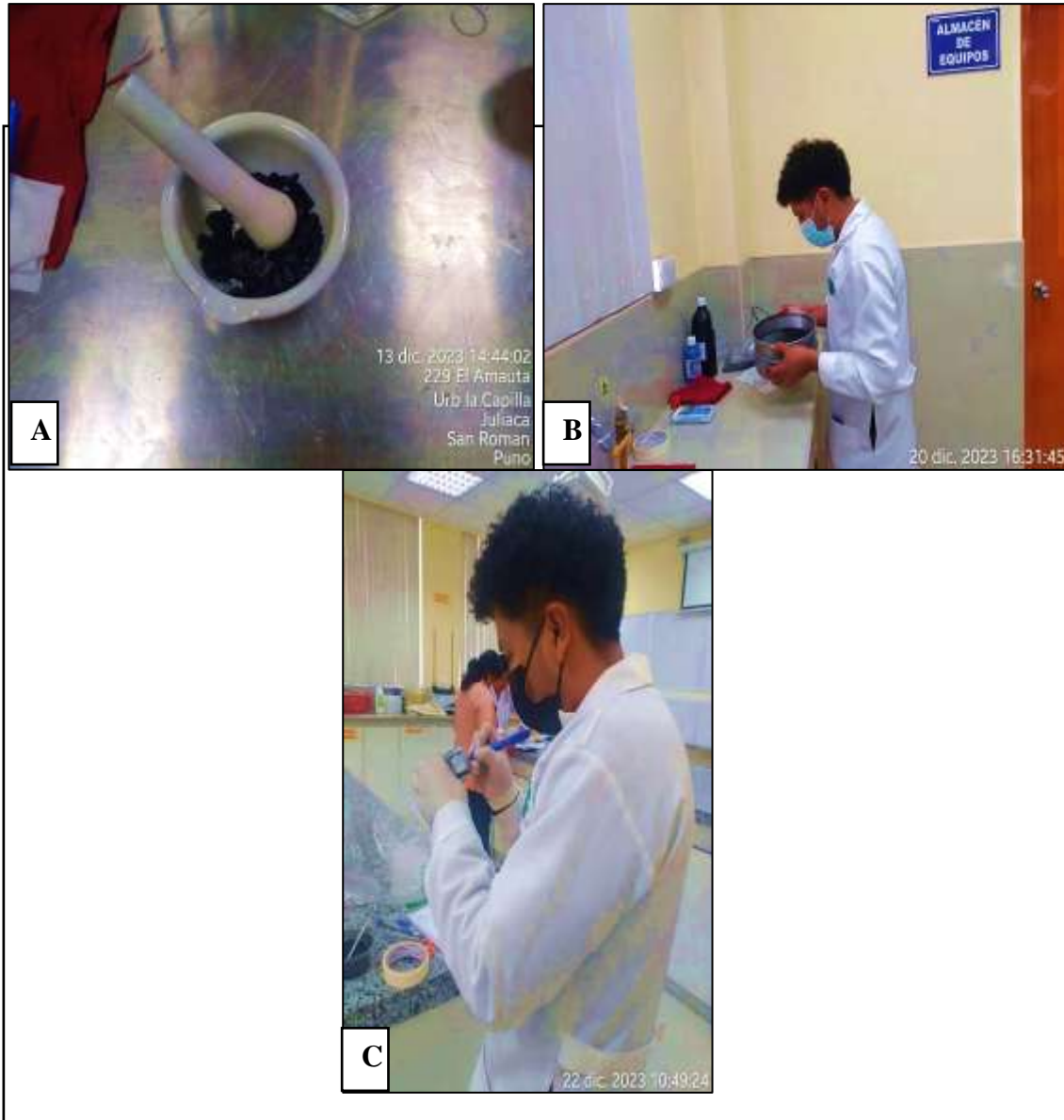
*Carbonización de los huesos de durazno (*Prunus persica*)*



Nota: En las figuras se aprecia lo siguiente: A: Carbonización en la mufla eléctrica. B: Enfriamiento en un desecador. Elaboración propia.

Figura 31

Carbón de huesos de durazno (Prunus persica)

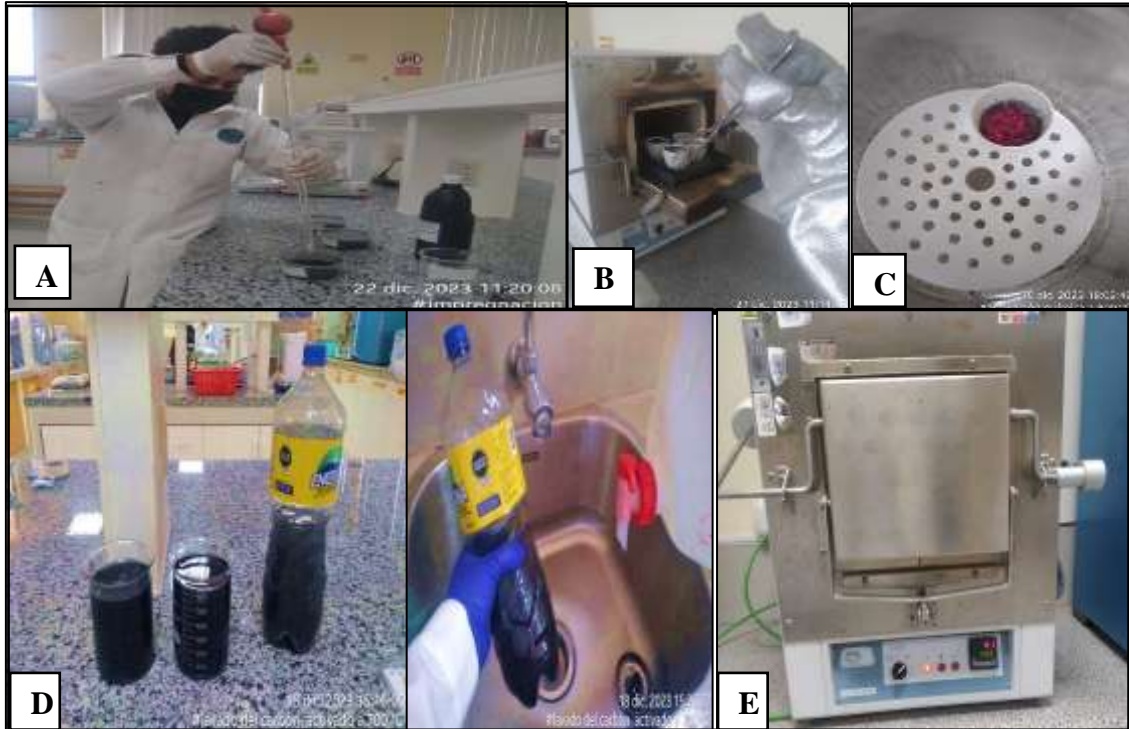


Nota: En las figuras se muestra los procesos de: A: Molienda. B: Tamizado. C: Almacenamiento y rotulado. Elaboración propia.

Anexo II. Proceso de activación química de los huesos de durazno (*Prunus persica*).

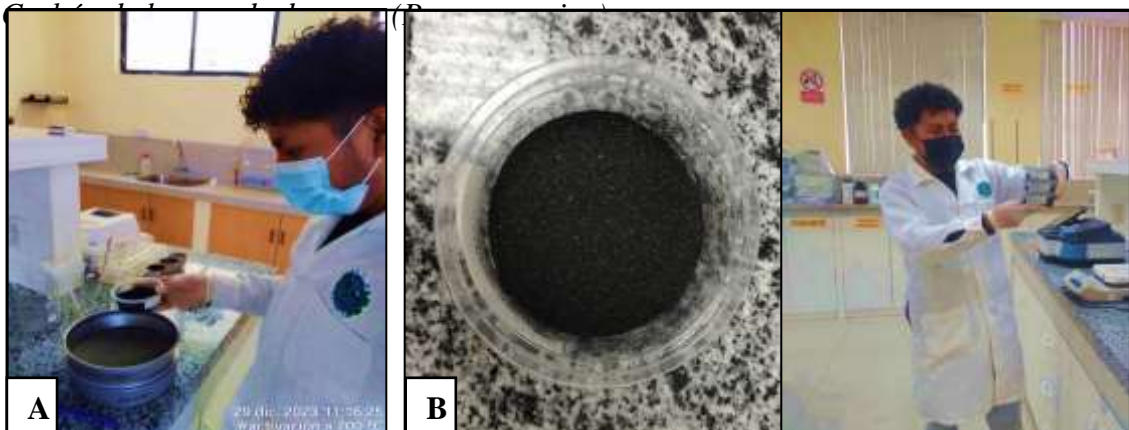
Figura 32

Activación de los huesos de durazno (Prunus persica)



Nota: En las figuras se aprecia lo siguiente: A: Impregnación de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 85 %. B: Activación en la mufla eléctrica. C: Enfriamiento en un desecador. D: Lavado. E: Secado en mufla. Elaboración propia.

Figura 33



Nota: En las figuras se puede apreciar lo siguiente: A: Tamizado. B: Almacenamiento y rotulado. Elaboración propia.

Anexo III. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y arsénico de las aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena.

Figura 34

Determinación de parámetros fisicoquímicos y análisis de concentración inicial de arsénico

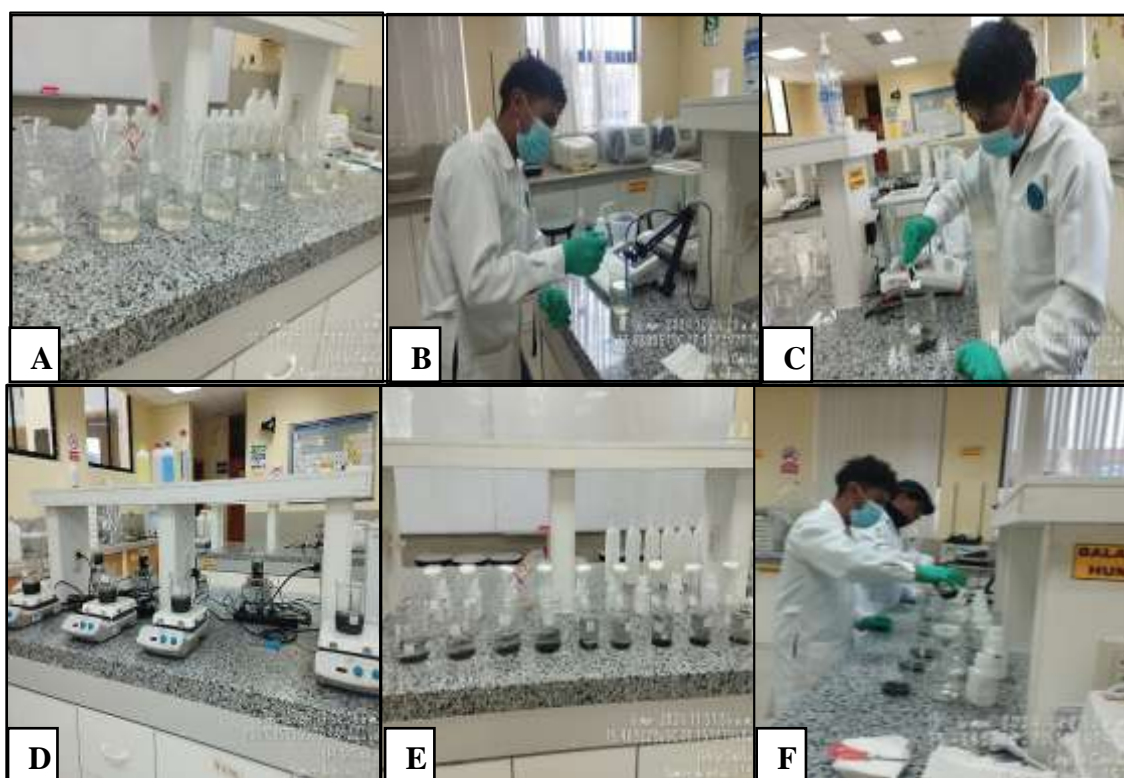


Nota: En las figuras se aprecian lo siguiente: A: Tanque elevado de abastecimiento de agua. B: Pileta domiciliaria con agua turbia proveniente del tanque elevado (3 meses sin limpieza del tanque elevado). C: Punto de monitoreo de aguas las subterráneas del pozo de abastecimiento de agua de la comunidad campesina de Requena”. D: Toma de muestras para la medición de parámetros como el pH, temperatura, conductividad eléctrica, solidos totales y la turbiedad inicial en el agua. E: Toma de muestra para la determinación de la dureza, cloruros, sulfatos, nitratos. F: Toma de muestra para la determinación de concentración inicial de arsénico en agua. G: Medición in situ de pH, temperatura conductividad eléctrica, sólidos totales en agua. H: Determinación “in situ” de la turbiedad inicial en agua. I: Envío de muestras a “Laboratorios Analíticos del Sur” mediante la empresa “OLVA COURIER” para la determinación de la dureza, cloruros, sulfatos, nitratos y la concentración inicial de arsénico en agua. Elaboración propia.

Anexo IV. Evaluación de los efectos de la cantidad de carbón activado, pH y tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de arsénico y turbiedad mediante pruebas de adsorción en aguas subterráneas.

Figura 35

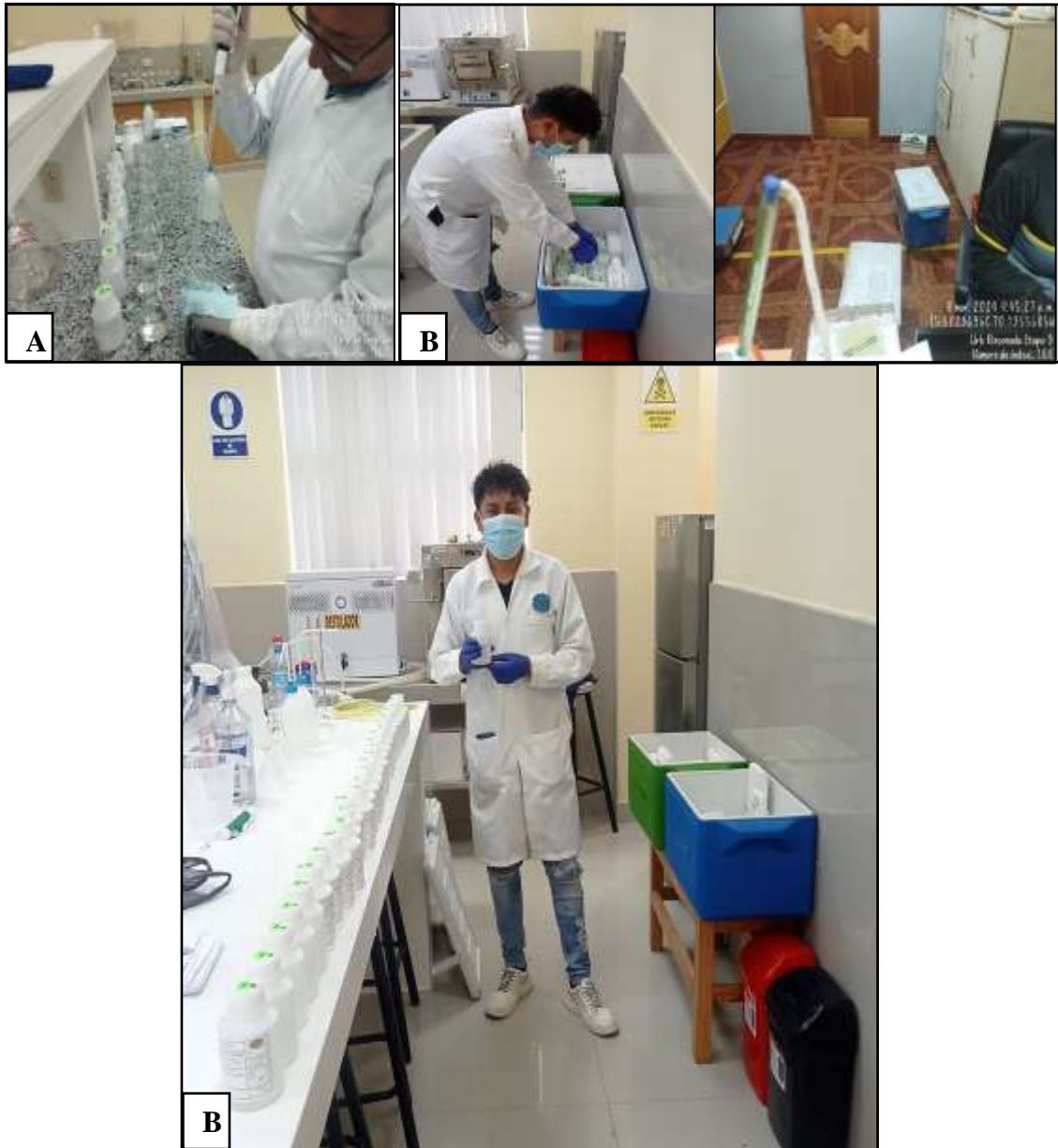
Pruebas de adsorción



Nota: En las figuras se muestra: A: Muestras de agua contaminada para tratamiento. B: Ajuste de pH. C: Adicionamiento de carbón activado en las muestras de agua contaminada. D: Proceso de agitación magnética. E: Precipitación. F: Filtración. Elaboración propia.

Figura 36

Determinación de la turbiedad y la concentración de arsénico en aguas tratadas



Nota: En las figuras se observa lo siguiente: A: Determinación de turbiedad final. B: Envío de muestras tratadas a “Laboratorios Analíticos del Sur” mediante la empresa “OLVA COURIER” para la determinación de la concentración final de arsénico en agua. Elaboración propia.

Anexo V. Informe de ensayo de muestras de aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena para la determinación de la dureza, cloruros, sulfatos, nitratos y la concentración inicial de arsénico en agua realizada por “Laboratorios Analíticos del Sur”



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



Laboratorios Analíticos del Sur

Registro RTC - 088

Clave generada : 19661B36

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00061

Fecha de emisión: 12/3/2024

Página 1 de 3

Señores : LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE
Dirección : JULIACA
Atención : LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE
Proyecto : INVESTIGACIÓN

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 040-24
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 7/3/2024

Fecha de ensayo : 7/3/2024

Nro de muestras : 1

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
AG24000090	MI - REQUENA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	REQUENA / TARIACO / HUANCANE / PUNO	406627.8E - 8311210.478N	4/3/2024	12:02
Condiciones de recepción de la muestra						
Contenedor no refrigerado						
Observación						

Firmado por: JAVIER SOTO OLIVERA ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES Y SERVICIOS, INACAL DA - Perú, Calle Comercio 1144, Lima 1, Perú. Teléfono: 011 444 4444. Correo electrónico: j.soto@inacal.gob.pe

"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"=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 solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda 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 - 090

Clave generada : 19661B36

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00061

Fecha de emisión:12/3/2024

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	3083	823	706	830	848
		NO ₃ ⁻	Cl ⁻	As	Dureza Total CaCO ₃	SO ₄ ⁻²
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG24000090	M1 - RESQUEÑA	41,40	219	0,1310	526	85,8


Laboratorios Analíticos del Sur EIRL
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico DPT114425

Firmado por: JUANREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico QP 114425, Email: ojuarez@lasur.com, LIMA, PE, 1202024 19:29:59

"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.laboratoriosanaliticosdesur.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 INAC - 088

Clave generada : 19661B36

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00061

Fecha de emisión:12/3/2024

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
1002	Nitrito, DMDWW - APHA - AWWA - WEF Part 450-NO ₂ - E, 24th Ed. Nitrogen (Nitrite), Seco-Derivative Ultraviolet Spectrophotometric Method	[0.2 - 100] mg/L
1023	Cloruro, SMDWW-APHA-AWWA-WEF Part 450-CL C, 24th Ed. CHLORIDE, Mercury Nitrate Method	[1.1 - 500] mg/L
196	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP - OES, Revisión 4.4, Análisis Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ag	[0.002 - 50] mg/L
438	Dureza Total (CaCO ₃), SMDWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340-B, 24th Ed. Hardness, Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[0.35 - 2000] mg/L
848	Sulfato, SMDWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SO ₄ ²⁻ E, 24th Ed. Sulfate, Turbidimetric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[10 - 4000] mg/L

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

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

Firmado por: JUAN PABLO SOTO OMAH ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M. S.C. Inq:www.qlm.com.pe | T: 054 444552 | E: info@qlm.com.pe | 12/03/2024 19:29:59

"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 emienda 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)444552.

Validar el informe
vía web



Anexo VI. Informe de ensayo de muestras tratadas de aguas subterráneas de la comunidad campesina de Requena para la determinación de la concentración final de arsénico en agua realizada por “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 IFSC - 088

Clave generada : 1E0BDF2F

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00065

Fecha de emisión: 22/3/2024

Página 1 de 4

Señores : LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE
Dirección : JULIACA
Atención : LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE
Proyecto : INVESTIGACIÓN

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N° 045-24
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 11/3/2024
Fecha de ensayo : 11/3/2024

Nro de muestras : 27

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AANH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG24000121	T-01	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:30
AG24000122	T-02	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:31
AG24000123	T-03	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:30
AG24000124	T-04	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:31
AG24000125	T-05	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:32
AG24000126	T-06	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:31
AG24000127	T-07	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:32
AG24000128	T-08	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:33
AG24000129	T-09	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:32
AG24000130	T-10	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:33
AG24000131	T-11	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:34
AG24000132	T-12	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:33
AG24000133	T-13	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:34
AG24000134	T-14	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:35
AG24000135	T-15	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:34
AG24000136	T-16	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:35
AG24000137	T-17	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:36
AG24000138	T-18	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:35
AG24000139	T-19	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	03/2024	13:36
AG24000140	T-20	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:37

[*] 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 solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda 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)



Elaborado por: JIMENEZ BOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.S. Ingeniería Química CIP 134203, Emisor de Datos: LUYANA PE. 22/03/2024 13:44:17



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00065

Fecha de emisión: 22/3/2024

Página 2 de 4

AG24000141	T-21	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:36
AG24000142	T-22	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	8/3/2024	13:37
AG24000143	T-23	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:38
AG24000144	T-24	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:37
AG24000145	T-25	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	8/3/2024	13:38
AG24000146	T-26	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	13:39
AG24000147	T-27	Agua de Proceso - Agua Purificada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	LABORATORIO DE QUIMICA	7/3/2024	15:38
Condiciones de recepción de la muestra						
Al ambiente						
Observación						
-						

Firmado por: JUAN PABLO SOTO OMAÑA ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M. S. C. Ing. www.ohimex.com.pe - 14426, Estrada de cercado, LIMA, PE. 20230204 13:04:17

"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)





Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LC - 090

Clave generada : 1E0BDF2F

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00065

Fecha de emisión: 22/3/2024

Página 3 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796	
		As	mg/L
AG24000121	7-01		0,0420
AG24000122	7-02		0,0302
AG24000123	7-03		0,0463
AG24000124	7-04		0,0270
AG24000125	7-05		0,0254
AG24000126	7-06		0,0424
AG24000127	7-07		0,0325
AG24000128	7-08		0,0250
AG24000129	7-09		0,0197
AG24000130	7-10		0,0594
AG24000131	7-11		0,0400
AG24000132	7-12		0,0564
AG24000133	7-13		0,0340
AG24000134	7-14		0,0413
AG24000135	7-15		0,0588
AG24000136	7-16		0,0257
AG24000137	7-17		0,0361
AG24000138	7-18		0,0266
AG24000139	7-19		0,0536
AG24000140	7-20		0,0489
AG24000141	7-21		0,0744
AG24000142	7-22		0,0511
AG24000143	7-23		0,0464
AG24000144	7-24		0,0667
AG24000145	7-25		0,0310
AG24000146	7-26		0,0308
AG24000147	7-27		0,0267

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniería Química QP 114426, E-mail: oas@lasur.com.pe, LIMA, PE. 22/03/2024 13:04:17


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M.Sc. Ingeniero Químico DP114426

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 conexión en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.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 INAC - 088

Clave generada : 1E0BDF2F

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-24-00065

Fecha de emisión:22/3/2024

Página 4 de 4

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
706	EPK 200.1 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.0. Análisis Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	f 0.0012 - 50 mg/L

*: Límite de detección

†: Límite de cuantificación

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

Firmado por: JUANREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M. S.C. Ingeniería Química CIP 14428, Estrada de cercado, LLAJMA, PE. 20202084 1304-17

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 omisión 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)444552.

Validar el informe
vía web



Anexo VII. Análisis estadístico para la remoción de arsénico

Tabla 12

Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor A.

\$statistics					
MSerror	Df	Mean		CV	MSD
15.19826	8	68.87222		5.660474	5.251319
\$parameters					
test	name.t	ntr		StudentizedRange	alpha
Tukey	A	3		4.041036	0.05
\$means					
	Y	std	R	Min	Max
a1	75.29333	7.002519	9	64.66	84.96
a2	67.93111	10.066570	9	54.66	80.38
a3	63.39222	12.215162	9	43.21	78.09
\$comparison					
NULL					
\$groups					
	T	Y	groups		
1	a1	75.29333	a		
2	a2	67.93111	b		
3	a3	63.39222	b		

Tabla 13*Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor B.*

\$statistics					
MSError	Df	Mean		CV	MSD
15.19826	8	68.87222		5.660474	5.251319
\$parameters					
test	name.t	ntr		StudentizedRange	alpha
Tukey	B	3		4.041036	0.05
\$means					
	Y	std	R	Min	Max
b1	61.73222	9.762394	9	43.21	76.95
b2	66.67444	10.551934	9	49.08	80.61
b3	78.21000	3.635842	9	72.44	84.96
\$comparison					
NULL					
\$groups					
	T	Y		groups	
1	b3	78.21000		a	
2	b2	66.67444		b	
3	b1	61.73222		b	

Tabla 14*Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor C.*

\$statistics					
MSError	Df	Mean		CV	MSD
15.19826	8	68.87222		5.660474	5.251319
\$parameters					
test	name.t	ntr		StudentizedRange	alpha
Tukey	C	3		4.041036	0.05
\$means					
	Y	std	R	Min	Max
c1	69.78000	9.480248	9	54.66	80.38
c2	72.44333	6.588272	9	62.67	80.61
c3	64.39333	14.478397	9	43.21	84.96
\$comparison					
NULL					
\$groups					
	T	Y		groups	
1	c2	72.44333		a	
2	c1	69.78000		a	
3	c3	64.39333		b	

Tabla 15*Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor B:C.*

\$statistics					
MSerror	Df	Mean		CV	MSD
15.19826	8	68.87222		5.660474	12.98094
\$parameters					
test	name.t	ntr		StudentizedRange	alpha
Tukey	B:C	9		5.767266	0.05
\$means					
	Y	std	R	Min	Max
b1:c1	60.56000	6.762573	3	54.66	67.94
b1:c2	69.69667	7.142698	3	62.67	76.95
b1:c3	54.94000	10.865344	3	43.21	64.66
b2:c1	71.47667	9.466073	3	60.99	79.39
b2:c2	71.22000	8.361346	3	64.58	80.61
b2:c3	57.32667	9.444471	3	49.08	67.63
b3:c1	77.30333	2.725809	3	75.19	80.38
b3:c2	76.41333	3.935560	3	72.44	80.31
b3:c3	80.91333	3.594667	3	78.09	84.96
\$comparison					
NULL					
\$groups					
	T	Y	groups		
1	b3:c3	80.91333	a		
2	b3:c1	77.30333	a		
3	b3:c2	76.41333	a		
4	b2:c1	71.47667	ab		
5	b2:c2	71.22000	ab		
6	b1:c2	69.69667	abc		
7	b1:c1	60.56000	bcd		
8	b2:c3	57.32667	cd		
9	b1:c3	54.94000	d		

Tabla 16*Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor A:B:C.*

\$statistics					
MSerror	Df	Mean	CV	MSD	
15.19826	8	68.87222	5.660474	28.3055	
\$parameters					
test	name.t	ntr	StudentizedRange	alpha	
Tukey	A:B:C	27	7.260624	0.05	
\$means					
	Remoción de arsénico	std	R	Min	Max
a1:b1:c1	67.94	NA	1	67.94	67.94
a1:b1:c2	76.95	NA	1	76.95	76.95
a1:b1:c3	64.66	NA	1	64.66	64.66
a1:b2:c1	79.39	NA	1	79.39	79.39
a1:b2:c2	80.61	NA	1	80.61	80.61
a1:b2:c3	67.63	NA	1	67.63	67.63
a1:b3:c1	75.19	NA	1	75.19	75.19
a1:b3:c2	80.31	NA	1	80.31	80.31
a1:b3:c3	84.96	NA	1	84.96	84.96
a2:b1:c1	54.66	NA	1	54.66	54.66
a2:b1:c2	69.47	NA	1	69.47	69.47
a2:b1:c3	56.95	NA	1	56.95	56.95
a2:b2:c1	74.05	NA	1	74.05	74.05
a2:b2:c2	68.47	NA	1	68.47	68.47
a2:b2:c3	55.27	NA	1	55.27	55.27
a2:b3:c1	80.38	NA	1	80.38	80.38
a2:b3:c2	72.44	NA	1	72.44	72.44
a2:b3:c3	79.69	NA	1	79.69	79.69
a3:b1:c1	59.08	NA	1	59.08	59.08
a3:b1:c2	62.67	NA	1	62.67	62.67
a3:b1:c3	43.21	NA	1	43.21	43.21
a3:b2:c1	60.99	NA	1	60.99	60.99
a3:b2:c2	64.58	NA	1	64.58	64.58
a3:b2:c3	49.08	NA	1	49.08	49.08
a3:b3:c1	76.34	NA	1	76.34	76.34
a3:b3:c2	76.49	NA	1	76.49	76.49
a3:b3:c3	78.09	NA	1	78.09	78.09

Tabla 16 (Continuación)

\$comparison

NULL

\$groups

	Tratamiento	Remoción de arsénico	groups
1	a1:b3:c3	84.96	a
2	a1:b2:c2	80.61	ab
3	a2:b3:c1	80.38	ab
4	a1:b3:c2	80.31	ab
5	a2:b3:c3	79.69	ab
6	a1:b2:c1	79.39	ab
7	a3:b3:c3	78.09	ab
8	a1:b1:c2	76.95	abc
9	a3:b3:c2	76.49	abc
10	a3:b3:c1	76.34	abc
11	a1:b3:c1	75.19	abc
12	a2:b2:c1	74.05	abc
13	a2:b3:c2	72.44	abc
14	a2:b1:c2	69.47	abcd
15	a2:b2:c2	68.47	abcd
16	a1:b1:c1	67.94	abcd
17	a1:b2:c3	67.63	abcd
18	a1:b1:c3	64.66	abcd
19	a3:b2:c2	64.58	abcd
20	a3:b1:c2	62.67	abcd
21	a3:b2:c1	60.99	abcd
22	a3:b1:c1	59.08	abcd
23	a2:b1:c3	56.95	abcd
24	a2:b2:c3	55.27	bcd
25	a2:b1:c1	54.66	bcd
26	a3:b2:c3	49.08	cd
27	a3:b1:c3	43.21	d

Anexo VIII. Análisis estadístico para la remoción de turbiedad.

Tabla 17

Análisis estadístico de prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para el efecto principal factor A:B:C.

\$statistics					
MSerror	Df	Mean	CV	MSD	
3.774159	8	98.82074	2.006512	14.10536	
\$parameters					
test	name.t	ntr	StudentizedRange	alpha	
Tukey	A:B:C	27	7.260624	0.05	
\$means					
	Remoción de turbiedad	std	R	Min	Max
a1:b1:c1	97.22	NA	1	97.22	97.22
a1:b1:c2	96.65	NA	1	96.65	96.65
a1:b1:c3	99.11	NA	1	99.11	99.11
a1:b2:c1	94.44	NA	1	94.44	94.44
a1:b2:c2	93.55	NA	1	93.55	93.55
a1:b2:c3	96.26	NA	1	96.26	96.26
a1:b3:c1	91.73	NA	1	91.73	91.73
a1:b3:c2	99.04	NA	1	99.04	99.04
a1:b3:c3	98.40	NA	1	98.40	98.40
a2:b1:c1	96.62	NA	1	96.62	96.62
a2:b1:c2	95.76	NA	1	95.76	95.76
a2:b1:c3	99.36	NA	1	99.36	99.36
a2:b2:c1	95.83	NA	1	95.83	95.83
a2:b2:c2	95.08	NA	1	95.08	95.08
a2:b2:c3	95.51	NA	1	95.51	95.51
a2:b3:c1	97.93	NA	1	97.93	97.93
a2:b3:c2	92.48	NA	1	92.48	92.48
a2:b3:c3	98.79	NA	1	98.79	98.79
a3:b1:c1	99.22	NA	1	99.22	99.22
a3:b1:c2	98.25	NA	1	98.25	98.25
a3:b1:c3	99.25	NA	1	99.25	99.25
a3:b2:c1	98.47	NA	1	98.47	98.47
a3:b2:c2	97.90	NA	1	97.90	97.90
a3:b2:c3	98.36	NA	1	98.36	98.36
a3:b3:c1	95.44	NA	1	95.44	95.44
a3:b3:c2	95.08	NA	1	95.08	95.08
a3:b3:c3	98.43	NA	1	98.43	98.43

Tabla 17 (Continuación)

\$comparison

NULL

\$groups

	Tratamiento	Remoción de Turbiedad	groups
1	a2:b1:c3	99.36	a
2	a3:b1:c3	99.25	a
3	a3:b1:c1	99.22	a
4	a1:b1:c3	99.11	a
5	a1:b3:c2	99.04	a
6	a2:b3:c3	98.79	a
7	a3:b2:c1	98.47	a
8	a3:b3:c3	98.43	a
9	a1:b3:c3	98.40	a
10	a3:b2:c3	98.36	a
11	a3:b1:c2	98.25	a
12	a2:b3:c1	97.93	a
13	a3:b2:c2	97.90	a
14	a1:b1:c1	97.22	a
15	a1:b1:c2	96.65	a
16	a2:b1:c1	96.62	a
17	a1:b2:c3	96.26	a
18	a2:b2:c1	95.83	a
19	a2:b1:c2	95.76	a
20	a2:b2:c3	95.51	a
21	a3:b3:c1	95.44	a
22	a2:b2:c2	95.08	a
23	a3:b3:c2	95.08	a
24	a1:b2:c1	94.44	a
25	a1:b2:c2	93.55	a
26	a2:b3:c2	92.48	a
27	a1:b3:c1	91.73	a

Anexo IX. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Tabla 18

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, Categoría I, Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Físicos-Químicos				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1500	1600	**
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Floruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ³⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ²⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
pH		6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**

Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**

Tabla 18
(Continuación)

Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5

Fuente: (MINAM, 2017).

El parámetro no es aplicable para esta subcategoría si se usa el símbolo **.

Anexo X. Solicitud de acceso y uso de los laboratorios generales (biología, química, microbiología y física) de la Unaj – sede Capilla

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA TRAMITE DOCUMENTARIO		"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"
29 NOV 2023		
Exp. N°	Folio: 08	Solicito: Acceso y uso de los laboratorios generales (biología, química, microbiología y física) de la Unaj – sede Capilla.
Hora 12:11	Firma	


SEÑOR: Dr. ARRUFO ALCÁNTARA HERNÁNDEZ
VICEPRESIDENTE ACADEMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
CON ATENCIÓN A: LABORATORIOS GENERALES EN LA SEDE CAPILLA

Yo, **LUIS GABRIEL QUISPE QUISPE** egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, identificado con N° DNI: 74465127, con domicilio en Jr. Emiliano Cano MZ. H2 L.T. 1, con el debido respeto me dirijo ante usted y expongo lo siguiente:

Que, al haber sido aprobado mi proyecto de investigación de tesis denominado: *"EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y TURBIEDAD MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO DE HUESOS DE DURAZNO (Prunus persica), DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE REQUENA, TARACO-PUNO"*, y con el fin de dar cumplimiento de los objetivos contemplados en el proyecto de investigación, recorro a su despacho para solicitarle el acceso a los laboratorios generales (biología, química, microbiología y física) en la sede Capilla, para continuar con la etapa de ejecución de mi proyecto de tesis. Para tal efecto, adjunto los siguientes documentos:

- Acta de Aprobación del proyecto de investigación.
- Carta de compromiso.
- Plan de trabajo para la ejecución de proyecto de tesis.

Ruego acceder a mi solicitud por ser justo y legal.



Bach. Luis Gabriel Quispe Quispe
DNI: 74465127
Cel: 935032866
Correo electrónico: lg.quispequnaj.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"