



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS CON ARSÉNICO EN CONDICIONES
DE LABORATORIO JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RECILDA MAMANI COAQUIRA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS CON ARSÉNICO EN CONDICIONES
DE LABORATORIO JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RECILDA MAMANI COAQUIRA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE


: _____
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO


: _____
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS


: _____
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P22

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1397-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 31 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 15803 presentado por el (la) Bachiller: **RECILDA MAMANI COAQUIRA** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **RECILDA MAMANI COAQUIRA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
- * **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **RECILDA MAMANI COAQUIRA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Lunes 11 de noviembre del 2024
- * **HORA** : 9:00 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 306 - Pabellón de Hidraulica

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Efraín Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (s)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 786-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 13 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-9971, presentado el señor (a) **RECILDA MAMANI COAQUIRA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO – N° 762 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 92-2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RECILDA MAMANI COAQUIRA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 92-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **RECILDA MAMANI COAQUIRA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
D. MILIMON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
D. EFRAIN RARIÑO SOSA
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo 2024
Interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1111-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 011663 por el señor (a): **RECILDA MAMANI COAQUIRA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1061- 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 071- 2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RECILDA MAMANI COAQUIRA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 071- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **RECILDA MAMANI COAQUIRA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Partillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



MEMBRANA DE AUTENTICACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSÉNICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

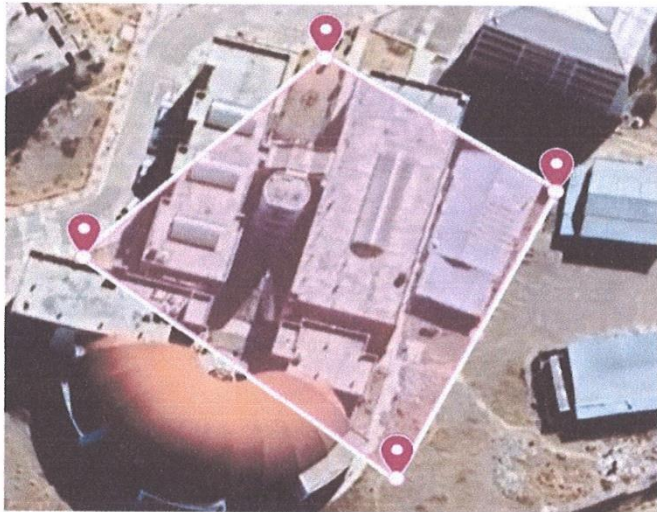
1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	11%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	eprints.undip.ac.id Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1%
7	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to unasam	



Metadatos complementarios



Título de la Tesis	
RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSÉNICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	RECILDA MAMANI COAQUIRA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74761604
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-1820-3991
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02383061
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-8660-8733
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

Datos de investigación	
Línea de investigación	Saneamiento Ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Coordenadas: Latitud: 15°48'68"S Longitud: 70°13'15"O URL Maps: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=10SyM1ny0gEoRSYeVQJGHtOpA98HIhRY&usp=sharing</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 - Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html Librería	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL NESTOR CERDES PLASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PUNAS

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo RECILDA MAMANI COAQUIRA, identificado con DNI
Nro. 74761604, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
 Programa de Segunda Especialidad,
 Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico
denominada:

“ RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
CON ARSÉNICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024 ”

Asesorado por: Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copta de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 15 de NOVIEMBRE del 2024



Firma del Asesor



Firma del Estudiante



Huella



DEDICATORIA

A Diosito, por concederme la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar este proyecto, y por consagrar con la presencia de individuos extraordinarias en mi vida.

A mis papitos y a mis hermanos, por su afecto absoluto y sacrificio, que me han impulsado y consentir alcanzar este logro.



AGRADECIMIENTO

A Dios, con profunda gratitud, por su inquebrantable guía y apoyo a lo largo de cada paso de este camino.

A la UANCV, y en especial a la EPISA, por ofrecerme un contexto idóneo para explorar, y progresar.

A los miembros del jurado, agradezco profundamente su tiempo, su idealismo con la honorable académica, y su dedicación al analizar este estudio. Su sabiduría y consideración fueron esenciales en este proceso.

A mi asesor, mi sincero agradecimiento por su orientación dedicación en la revisión de dicho estudio. Gracias por compartir su valioso conocimiento y experiencia, lo que ha sido fundamental en la culminación de este proyecto.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA..... iii

AGRADECIMIENTO..... iv

ÍNDICE GENERAL v

ÍNDICE DE TABLAS ix

ÍNDICE DE FIGURAS x

RESUMEN xi

ABSTRACT xii

INTRODUCCIÓN xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática..... 1

1.2. Planteamiento del problema..... 2

 1.2.1. Problema general 2

 1.2.2. Problemas específicos..... 2

1.3. Objetivos de la investigación 2

 1.3.1. Objetivo general..... 2

 1.3.2. Objetivos específicos..... 2

1.4. Justificación de la investigación..... 3

 1.4.1. Justificación Practica 3

 1.4.2. Justificación social 3

 1.4.3. Justificación ambiental..... 3

 1.4.4. Justificación Económica 3

1.5. Hipótesis de la investigación..... 4

 1.5.1. Hipótesis general..... 4



1.5.2. Hipótesis específicas	4
1.6. Variables.....	4
1.6.1. Variable independiente (VI)	4
1.6.2. Variable dependiente (VD)	4
1.7. Operacionalización de variables	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	7
2.1.3. Antecedentes regionales	9
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Agua	10
2.2.2. Agua subterránea	10
2.2.3. Potencial de hidrogeno	11
2.2.4. Arsénico.....	11
2.2.5. Rizofiltración	12
2.2.6. Rizofiltración de aguas subterráneas con plantas macrófitos.....	13
2.2.7. Eicchornia crassipes (Jacinto de agua)	13
2.3. Marco conceptual	16
2.3.1. Macrófito.....	16
2.3.2. Parámetros químicos.....	16
2.3.3. Tiempo de retención.....	16



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	17
3.2. Enfoque de la investigación	17
3.3. Diseño de investigación	18
3.4. Procedimiento metodológico.....	18
3.4.1. Objetivo1: Determinar la concentración de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca	18
3.4.2. Objetivo 2: determinar las condiciones operacionales de la rizofiltración	19
3.4.3. Determinar el porcentaje de remoción de arsénico mediante la rizofiltración	21
3.5. Materiales y equipos.....	22
3.6. Técnicas e instrumentos.....	22
3.6.1. Técnicas	22
3.6.2. Instrumentos.....	23
3.7. Población y muestra	23
3.7.1. Población.....	23
3.7.2. Muestra.....	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.....	24
4.1.1. Determinar la concentración de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca	24



4.1.2. Identificación de las características operacionales adecuadas de la rizofiltración para la reducción de arsénico en las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca	26
4.1.3. Determinar el porcentaje de remoción de arsénico mediante la rizofiltración	33
4.2. Análisis estadístico	34
4.3. Discusiones	39
CONCLUSIONES.....	40
RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	46



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables de la investigación	5
Tabla 2 Taxonomía de la especie (<i>Eichhornia crassipes</i>).	14
Tabla 3 Parámetros evaluados.....	18
Tabla 4 Datos de los puntos de muestreo	19
Tabla 5 Formula de porcentaje de remoción	21
Tabla 6 Materiales y equipos.....	22
Tabla 7 Concentración inicial de parámetros fisicoquímicos y biológicos	24
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos en los tratamientos	27
Tabla 9 Repetición de Parámetros fisicoquímicos en los tratamientos	30
Tabla 10 Porcentaje de remoción.....	33
Tabla 11 Resumen del modelo: Efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con <i>Eichhornia crassipes</i> en la reducción de arsénico, con un tiempo de exposición de 4 a 8 días.....	35
Tabla 12 ANOVA: Efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con <i>Eichhornia crassipes</i> en la reducción de arsénico, con un tiempo de exposición de 4 a 8 días.....	36
Tabla 13 Coeficientes de la ecuación de regresión para el efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con <i>Eichhornia crassipes</i> en la reducción de arsénico, con un tiempo de exposición de 4 a 8 días	37



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Morfología	15
Figura 2 Diseño del acondicionamiento de rizofiltración	20
Figura 3 Concentración inicial de la temperatura	25
Figura 4 Concentración inicial del pH.....	25
Figura 5 Concentración inicial de arsénico.....	26
Figura 6 Comportamiento de la temperatura a 2, 4, 6 y 8 días	27
Figura 7 Comportamiento del pH a 2, 4, 6 y 8 días	28
Figura 8 Comportamiento del arsénico a 2, 4, 6 y 8 días	29
Figura 9 Repetición del Comportamiento de temperatura a 2, 4, 6 y 8 días	30
Figura 10 Repetición del Comportamiento de pH a 2, 4, 6 y 8 días	32
Figura 11 Repetición del Comportamiento de arsénico a 2, 4, 6 y 8 días	32
Figura 12 Comportamiento del % de remoción	34
Figura 13 Optimización de la rizofiltración con <i>Eichhornia crassipes</i> para la remoción de arsénico	38



RESUMEN

La finalidad del estudio fue "Analizar la influencia de la Rizofiltración para la depuración de aguas subterráneas con arsénico en entornos de laboratorio Juliaca 2024". El estudio fue experimental - cuantitativo - aplicado; para compilar información se aplicó la técnica de observacional, revisión sistemática y empleo de técnicas estadísticas; como instrumento se aplicó cadena custodia y el "protocolo para monitorear de aguas subterráneas". La muestra es exhibida por 30L de agua subterránea para examinar el laboratorio; el muestreo es a juicio del estudiador Conforme al requerimiento En lo resultante se exhibe que el contenido de comienzo de arsénico se sitúa en 0.1900 mg/L Indicando que el agua subterránea posee alto indicador de arsénico superiores a los límites establecidos, siendo el límite según D.S 031-210-SA (0.01 mg/l.). Luego del tratamiento de rizofiltración se infiere que la cantidad de remoción de arsénico en cada tratamiento a diversos tiempos de retención. En específico a lo resultante se puede indicar que los tratamientos R2, R3 Y R4 logramos buenas remociones con 94% - 95%, siendo estos los más óptimos.

Palabras clave: Rizofiltración, agua subterránea, remoción



ABSTRACT

The purpose of the study was "To evaluate the influence of Rhizofiltration for the purification of groundwater with arsenic in other Juliaca 2024 laboratory experiments". The study was experimental - quantitative - applied; to compile information we applied the observational technique, systematic review and use of statistical techniques; as an instrument we applied the chain of custody and the "protocol for groundwater monitoring". The sample is exhibited by 30L of groundwater to examine the laboratory; the sampling is at the discretion of the student according to the requirement. The result shows that the initial content of arsenic is at 0.1900 mg/L, indicating that the groundwater has a high indicator of arsenic above the established limits, being the limit according to D.S 031-210-SA (0.01 mg/l.). After the rhizofiltration treatment, it is inferred that the amount of arsenic removal in each treatment at different retention times. Specifically, it can be indicated that treatments R2, R3 and R4 achieved good removals with 94% - 95%, being the most optimal.

Keywords: rhizofiltration, groundwater, removal



INTRODUCCIÓN

La gestión de las aguas freáticas adquiere gran importancia en la situación contemporánea para salvaguardar el medio ecosistémico y la salubridad pública.

La sustancia más significativa y, lo que es más importante, la base del mundo natural y de todos los seres vivos es el agua.

La calidad hídrica está cambiando, lo que en general no es saludable. Esto afecta al medio biótico y deteriora continuamente la salubridad de la población. Los impactos pueden ser naturales o antropogénicos, siendo la minería, la industria y agricultura los que producen los efectos más comunes.

Sin embargo, la rizofiltración es una técnica de fitotransformación que aplica las raíces de los vegetales para convertir los contaminantes en materiales mínimos tóxicos (Lone et al., 2022).

La rizoofiltración resulta prometedora como solución a las limitaciones propias de cada método. Combinando ambos procedimientos, el agua tratada podría depurarse de forma más eficaz y sostenible, al tiempo que se aprovecharían las ventajas de ambos enfoques.

La fitorremediación es una tecnología verde que devuelve los recursos degradados a su estado original utilizando especies vegetales y microorganismos (4). Dado que estas tecnologías no modifican la biocenosis, se consideran tecnologías beneficiosas para el medio ambiente.

En el primer capítulo se incluye la introductoria, el planteamiento problemático, la formulación del problema, la hipótesis, la justificación y la explicación de los metas del estudio.

Los argumentos sobre el tema del estudio, las fuentes y el marco teórico subyacente se desarrollan en el segundo capítulo.



El tercer capítulo abarca el procedimiento utilizada en este estudio, incluida la naturaleza y el diseño del estudio, las metodologías e instrumentos, la selección vegetativa y de la muestra y la metodologías de recogida de datos.

En el IV capítulo se presentan los resultados logrados y el análisis correspondiente. posteriormente se discuten las conclusiones y sugerencias asociadas.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática.

Debido a la falta de recursos y de tecnologías adecuadas, la gestión inadecuada de las aguas para la ingesta humana sigue siendo un problema en muchas partes del mundo en la era moderna. Cuando estas aguas mal tratadas se devuelven a su entorno natural, se produce contaminación ambiental (Bayona, 2016). De las 253 localidades del Perú cubiertas por EPS, solo 164 disponen sus aguas servidas en el sistema de alcantarillado, que conduce a una PTAR; las 89 restantes carecen de esta estructura y derivan sus aguas a ambientes acuáticos continentales, como ríos y lagos, representando el 71% de las aguas servidas del país que no son depuradas adecuadamente (Mejía, 2017). Mejía (2017).

La calidad hídrica para la ingesta humano es una de las primordiales preocupaciones de los ciudadanos a nivel nacional. A modo que pasa el tiempo y brotan novedosas tecnologías, es necesario investigar para encontrar una mejor forma de tratar el agua; adicionalmente, si estas aguas no son depuradas idóneamente y son consumidas por las personas, pueden causar padecimientos como cólera, disentería, diarrea, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. La población correrá el riesgo de sufrir problemas de salud si las instalaciones de



agua y saneamiento son insuficientes o están mal gestionadas, o si no existen en absoluto.

A la luz de las cuestiones planteadas, se insinúa el desarrollo de un sistema que incluya la rizofiltración para el tratamiento de las aguas subterráneas en la zona de Cabanilla.

1.2. Planteamiento del problema.

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la incidencia de la Rizofiltración en el tratamiento de aguas subterráneas con arsénico en condiciones de laboratorio Juliaca 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Qué concentración de arsénico tendrán las aguas de Juliaca?
- 2) ¿Cuáles serán las condiciones operacionales de la rizofiltración?
- 3) ¿Qué porcentaje de remoción de arsénico se dará mediante la rizofiltración?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la Rizofiltración para el tratamiento de aguas freáticas con arsénico en condiciones de laboratorio Juliaca 2024

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar el contenido de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca
- 2) Determinar las condiciones operacionales de la rizofiltración
- 3) Determinar la cantidad de remoción de arsénico mediante la rizofiltración



1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación Práctica

El objetivo se centra en un enfoque integrado que aborde cada uno de los distintos inconvenientes de la rizofiltración como método complementario de tratamiento de aguas subterráneas.

1.4.2. Justificación social

Además de tratar las corrientes de rechazo, la rizofiltración minimiza sus incidencias ecosistémicas y maximiza la eficiencia energética. También, este método es económico, ecológicamente sostenible y adecuado para una serie de industrias en las que es crucial una gestión adecuada de las aguas subterráneas.

1.4.3. Justificación ambiental

El agua es un recurso elemental cuyas cualidades físicas, químicas y biológicas deben evaluarse. Dado que el agua es requerida para la vida, sus cualidades cambian cuando su calidad y estado se ven comprometidos para la ingesta humana. Por ende, es crucial analizar el agua y utilizar un método de tratamiento para garantizar que el servicio sea de alto calibre.

El presente trabajo se justifica como una forma respetuosa con el medio ambiente de eliminar el arsénico utilizando especies vegetales fitorremediadoras y mejorar la calidad hídrica que percibe la población local.

1.4.4. Justificación Económica

El objetivo es ofrecer una alternativa natural y respetuosa con el medio ambiente a las tecnologías convencionales (depuradoras) utilizadas en todo el mundo para el tratamiento del agua. El mínimo valor monetario de mantención y operación se deriva del hecho de que las macrófitas son un tratamiento natural, lo que convierte a la fitorremediación en un estudio significativo.



1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

la Rizofiltración para la depuración de aguas subterráneas con arsénico en condiciones de laboratorio será significativa.

1.5.2. Hipótesis específicas

- 1) La concentración de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca supera la normatividad
- 2) Las condiciones operacionales de la rizofiltración son optima
- 3) La cantidad de reducción de arsénico se dará mediante la rizofiltración será significativa

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente (VI)

- Rizofiltración

1.6.2. Variable dependiente (VD)

- Niveles de concentración de arsénico en aguas subterráneas



1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables de la investigación

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD MEDIDA	DE METODOLOGÍA
Independiente				
Rizofiltración	Rizofiltración	Tiempo de retención	horas	Diseño de investigación Experimental
		Cantidad de macrófita	und	
	Parámetro Arsénico	Arsénico	mg/L	Tipo de investigación Aplicada
Dependiente				
Niveles de concentración de As	Cantidad remoción	de	$\left(1 - \frac{\text{concentracion final}}{\text{concentracion inicial}}\right) * 100$	% Enfoque cuantitativo



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Zelada et.al (2011) Se efectuó un estudio experimental en Ciudad de Guatemala para proporcionar información sobre opciones factibles para la depuración de aguas contaminadas con metales. La población del estudio incluía muestras de ninfa y vetiver, y los resultados mostraron que, en la primera semana, la ninfa tuvo un porcentaje de eliminación del 94,52% para el plomo y del 55,14% para el arsénico, mientras que el vetiver tuvo una tasa media de eliminación del 99,08% para el plomo y del 55,14% para el arsénico. Durante la segunda semana, la ninfa obtuvo un 93,93% de eliminación de plomo y un 51,35% de eliminación de arsénico, mientras que el vetiver obtuvo un 57,39% y un 99,25% de eliminación, respectivamente. Para ambas semanas en los dos tratamientos, se exhibió que presenta una diferencia sustancial en el contenido del agua depurada con vetiver y ninfa en respecto con el grupo estándar.

En el trabajo de investigación Quishpe (2020) En su estudio, se analizó la reducción de As de muestras hídricas y de 2 efluentes de instalaciones de procesamiento de oro en la región minera, utilizando la depuración la rizofiltración con (*Dactylis glomerata*). Debido a la capacidad de esta especie



para remover 96% de As de soluciones sintéticas, fue elegida previamente. Las muestras procedentes de los ríos Siete y Chico tenían valores originarios de As de 0,13 y 0,31 mg/L-1, mientras que los efluentes de dos molinos tenían comprendido de As de 0,14 y 0,24 mg/L-1. Posteriormente al cuarto día de depuración, el contenido de As mostró niveles que fueron removidos en un 80%, lo cual está por debajo del límite exigido señalado en las normas ambientales ecuatorianas (0.05 y 0.1 mg.L-1). Adicionalmente, se demostró que más del 80% del As en la especie se bioacumula en la raíz como resultado del contacto al metal en la pared de la célula vía complejación de fitocelatina en la vacuola celular de la planta.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el informe de Maquera (2022) la finalidad era analizar la capacidad biorremediador de *Nasturtium officinale* en asociación con diversos contenidos de As. Se empleó la técnica de estudio aplicada con un, con cuatro tratamientos (T0 T1 T2 y T3)-el grupo de control está representado por T0 = 0,00 mg/l. Cada unidad experimental tenía tres réplicas, para un total de 12 unidades experimentales. Durante el período experimental de 20 días, se produjo una contaminación por As en la fase de envenenamiento con la depuración de T1, T2 y T3. El contenido del contaminante As impactaron el desarrollo vegetal de las especies de plantas, resultando en la observación de clorosis y necrosis en las plántulas. Basándose en los resultados del estudio, que indican que *Nasturtium officinale* bioacumuló la mejor parte del As en sus raíces, se puede inferir que la planta puede fitorremediabilizar el agua contaminada con arsénico utilizando sus raíces.



El estudio presentado por Ocas & Villar (2019) El objetivo del informe fue determinar cómo la duración de la residencia afectaba la cantidad de metales reducidos por rizofiltración en un agua residual minera. La población se conformada por los pozos del pueblo de Algamarca (Cajabamba) (niveles 00, 01, 02, 03, 04 y 05). Se realizó un estudio experimental utilizando un módulo de metacrilato incoloro. Diez unidades de *Chrysooogon zizanioides* fueron colocadas en 27 litros de efluente de mina, y el experimento se realizó durante 28 días, con muestreos cada siete días. Lo resultante pertinentes muestran que presente una disminución de contenidos iniciales y finales de metales. El tiempo óptimo del modelo para reducir muestra que el Cr es el más efectivo a los 14 días, con porcentajes de reducción de 70,00% para arsénico, 69,99% para cadmio, 69,76% para cromo, 70,00% para cobre, 70,00% para hierro y 70,00% para zinc. El efluente minero Algamarca 2019 presenta diferentes concentraciones iniciales y finales de As, Cd, cR, Cu, Fe y zinc. Además, los tiempos de residencia ideales del modelo para reducir fueron 18,1521 (días) y 435,650 (horas).

El informe presentado por el Sandoval (2021) Esta tesis utiliza vetiveria (*Chrysooogon zizanioides*) y tecnologías de fitorremediación para tratar in situ suelos contaminados por metales El estudio es cuantitativo, continuo y experimental comparativo en cuanto a su enfoque. El procedimiento incluyó el análisis de 03 muestras de 600 g de suelos de Plazapampa antes de la siembra de estacas de en un área de 7 m². Para comprobar la eficacia de la fitorremediación, se tomaron otras tres muestras de suelo después de que las plantas hubieran crecido durante dos meses. La calidad del suelo agrícola se evaluó analizando los datos de referencia, que revelaron niveles elevados de



metales. Tras la fitorremediación con vetiveria, los resultados finales mostraron una reducción significativa de la concentración de todos estos metales, con un porcentaje de fitorremediación del 77,54% en el caso del arsénico. En resumen, la vetiveria es muy eficaz en la fitorremediación de suelos agrícolas; la mayor eficacia se observó para el cadmio, seguido del cadmio (Cr) y el cadmio (tercero).

2.1.3. Antecedentes regionales

Huaracha & Quispe (2019) la finalidad fue examinar las concentraciones de As en las aguas freáticas de los emisarios de Puno, Lampa y Arequipa, en la zona de Juliaca. Se tomaron un total de diez muestras en los emisarios de Puno, Lampa y Arequipa Ya que al examinar se efectuó mediante espectrometría en un laboratorio con acreditación. Se contrastó con otros estándares internacionales ($> 0,01$ mg/L As), la OMS (0,01 mg/L As) y las limitaciones máximas de la legislación estatal (0,01 mg/L As). Los resultados indicaron que P3, 2, 1 en el efluente de Puno, hubo 0.068, 0.081, y 0.082 mg/L; para P7,5, 4, 6 en Lampa, hubo 0.046, 0.057, 0.066, y 0.053 mg/L; y para las zonas P9, P10, y P8 en acabando de Arequipa, hubo 0.001, 0.005, y 0.011 mg/L. En consecuencia, se determina que si bien el contenido de As en las muestras de agua subterránea recolectadas en las salidas de Puno y Lampa se encuentra por encima del límite exigible por la normativa nacional e internacional, por lo que no es apta para la ingesta humana, en la salida de Arequipa, el valor es $\leq 0,01$ mg/L As, por lo que es aceptable.



2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua

material que toma su nombre de la palabra latina agua. Está compuesto molecularmente por dos átomos de hidrógeno y oxígeno uno (H_2O), y puede existir en 3 estados diferentes: líquido, gaseoso y sólido (hielo). Todos los tipos de vida conocidos dependen de ella para sobrevivir (Manahan, 2007).

El agua es una sustancia abiótica que constituye el componente más significativo y fundamental tanto del medio en el que vivimos como de la materia viva. Constituye una gran parte de la superficie terrestre, cubriendo aproximadamente el 98% de su superficie en forma líquida. Las cuencas de agua salada y dulce se distribuyen por toda la superficie, las primeras formando ríos, lagos y lagunas, y las segundas sirviendo como humedad atmosférica y nieve o hielo, los glaciares. (Kelly, 2013). (Kelly, Gaby)

2.2.2. Agua subterránea

Es el porcentaje del agua real en la zona inferior de la extensión terrestre que se filtra naturalmente en cursos de agua, manantiales, o puede ser captada a través de galerías de drenaje o perforaciones.(Ordoñez, 2012).

Dado que una parte de las precipitaciones se filtra en el suelo después de caer al suelo -una parte es absorbida por las radículas de las plantas, pero otra incluye a mayor profundidad a la gravedad-, el agua subterránea es un subproducto del ciclo hidrológico. En estratos impermeables, a veces puede acumularse, saturando los poros del suelo y creando embalses subterráneos (CEPIS, 1991).

El agua subterránea es un elemento natural vital y una porción crucial del ciclo hidrológico. El porcentaje de agua de los acuíferos en el caudal de los ríos



garantiza que éstos sigan corriendo incluso en alejamiento de precipitaciones. Las hídricas se utilizan en exceso en diversas circunstancias, sobre todo por los lavaderos de coches y las explotaciones mineras, lo que da lugar a actividades operativas continuas que dificultan su regeneración natural. (Hirata, 2002).

2.2.3. Potencial de hidrogeno

La evaluación de contenidos de iones hidrógeno (pH) es crucial para valorar las propiedades de las aguas naturales y tratadas. Para la mayoría de las especies biológicas, la reproducción y la evolución necesitan un rango de niveles muy específico y reducido. Unas concentraciones insuficientes de iones hidrógeno en las aguas subterráneas pueden repercutir en la salud (Metcalf & Eddy, 1995).

2.2.4. Arsénico

Dado que el arsénico es tan peligroso, una exposición prolongada al mismo puede perjudicar la salud de una persona de diversas maneras. Se han notificado niveles elevados en Perú, sobre todo a lo largo de los ríos de la costa sur.

Puede encontrarse solo o combinado en más de 150 minerales diferentes. A menudo se encuentra en cursos de agua naturales, donde la meteorización de las rocas superficiales y volcánicas lo arrastra consigo. Las aguas superficiales suelen contener bajos niveles de arsénico. Dichas concentraciones pueden ser bastante elevadas en aguas termales. Además, se han descubierto cantidades muy superiores en aguas hídricas reservadas al consumo humano en México, Taiwán, Argentina, Chile, Estados Unidos e Inglaterra (Castro, 1997).

Este elemento, que existe en 04 estados de oxidación - está generosamente disperso en la atmósfera. Según el estado de oxidación, pueden surgir distintas especies, que pueden proceder de fuentes orgánicas o inorgánicas. Las aguas

geotérmicas, los ambientes reductores y las industrias cercanas a efluentes ricos en As(III) son las principales fuentes de As(III), que puede resultar de disminución biológica del As (Smedley & Kinniburgh, 2022).

- **Arsénico y sus efectos a la salud**

Los síntomas gastrointestinales de la intoxicación aguda incluyen diarrea, vómitos, malestar abdominal y deshidratación. En la intoxicación crónica intervienen sistemas complejos (Laguna & Ricaldi, 2017).

2.2.5. Rizofiltración

Es una técnica que aplica las radículas de las plantas para limpiar varios tipos de aguas: subterráneas, superficiales, efluentes líquidos y suelos contaminados con compuestos tóxicos orgánicos, metales pesados y otras sustancias químicas peligrosas. Las plantas que han alcanzado todo su potencial de crecimiento radicular entran en contacto directo con el agua o los efluentes que hay que tratar. Los contaminantes se eliminan progresivamente del suelo cuando las raíces toman agua y nutrientes porque las raíces saturadas retienen y descomponen los contaminantes (Peixoto, 2018).

Sin embargo, según Llacza (2018), el método de rizofiltración utiliza plantas que pueden absorber partículas disueltas a través de sus radículas y soportar los valores de nocividad del agua, lo que consciente e mantener el equilibrio del pH. Su énfasis en la gestión del agua tratada y de los suelos contaminados lo convierte en uno de los mejores enfoques. La técnica más rápida es la absorción superficial por las raíces, que depende de ciertos factores fisicoquímicos. Es importante recordar que las raíces inactivas pueden seguir utilizándose con esta estrategia.



2.2.6. Rizofiltración de aguas subterráneas con plantas macrófitos

Debido a su capacidad para purificar las aguas subterráneas, las plantas acuáticas, o macrófitos, han cosechado una gran atención en el campo del tratamiento de aguas subterráneas en los últimos años. Varios de estos sistemas han logrado eliminar materiales orgánicos y partículas del confinamiento, al tiempo que reducen la cantidad de nutrientes, metaloides, sales y patógenos (Campoverde, 2017).

2.2.7. *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

a) Características generales

Las grandes plantas acuáticas con bulbos de aire que flotan en el agua se conocen como plantas *Eichhornia crassipes*. Además de producir floraciones púrpuras, puede ajustarse a variaciones significativas en el pH y el calor del agua, los niveles de nutrición y otros factores. Crece mejor en valores de pH de 6 - 8, y su rango de calor de supervivencia y crecimiento es de 1 a 40 grados centígrados. Las altas concentraciones de nitrógeno hacen que esta planta se desarrolle con más vigor. Muchos equipos de todo el mundo están estudiando el potencial de esta planta como agente de biorremediación. Según estudios empíricos, *E. crassipes* puede utilizarse para reducir contaminantes de variadas fuentes (Rodríguez et al., 2022).

Tabla 2*Taxonomía de la especie (Eichhornia crassipes).*

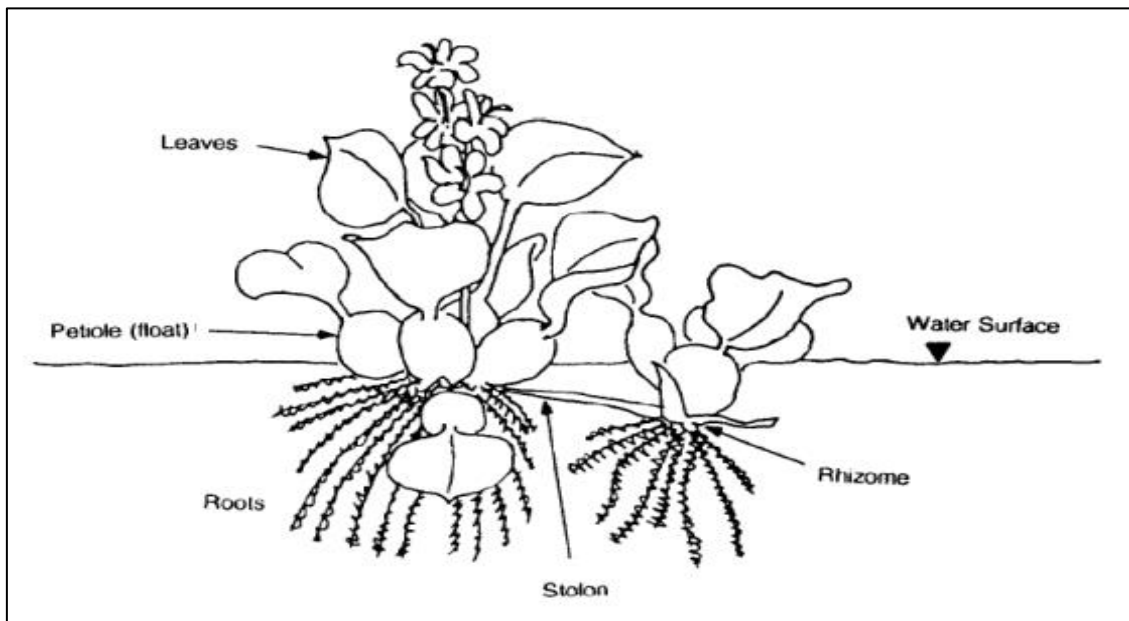
<i>Eichhornia crassipes</i>	
<i>Reino</i>	<i>Plantae</i>
<i>División</i>	<i>Magnoliophyta</i>
<i>Clase</i>	<i>Liliopsida</i>
<i>Orden</i>	<i>Commelinales</i>
<i>Género</i>	<i>Eichhornia</i>
<i>Especie</i>	<i>E. Crassipes</i>

Características morfológicas

La especie tiene un tallo muy pequeño y sus hojas están dispuestas en rosetas orientadas hacia encima. De aspecto corto y bulboso, los tallos de las hojas presentan un tejido interior único que permite la absorción de aire. La morfología de las hojas cambia a medida que se desarrollan en racimos; algunas son apenas ascendentes, y los tallos se alargan y pierden parte de su hinchazón. Con flores de color azul a azul claro y una estampilla amarilla en la fase elevada del perianto, la inflorescencia se asemeja a una espiga. Por su parte, el fruto es un estuche de 1,6 cm de longitud. Una sola planta puede producir potencialmente 70.000 plantas hijas en un periodo de ocho meses, durante el cual crece normalmente el doble de lo que lo hace en 10 días. Al menos 27 de ellas tienen una altura máxima que varía entre 0,5 y 1,5 metros, desde las hojas hasta el final de las radículas (Bayona, 2016).

Figura 1

Morfología



Nota: (Vanegas, 2020)

b) Habitat

Siempre que se encuentren entre las latitudes 40°N y 45°S, los hábitats de agua suave como los que se encuentran en ríos, lagoos, estanques y embalses de las regiones tropicales son su hogar preferido. Tanto los altos niveles de sal como las temperaturas inferiores a 0 grados Celsius dificultan su crecimiento. Sin embargo, debido a que pueden establecerse y echar raíces en suelos saturados de agua durante breves periodos de tiempo, los lagoos y ríos eutrofizados con altas contenidos de nitratos también el agua contaminada con componentes como el Cu y el Pb, no se enfrentan a limitaciones de desarrollo (Bayona, 2016).



2.3. Marco conceptual

2.3.1. Macrófito

Estas plantas, que viven en lugares que suelen inundarse, son cruciales para la producción de la primera materia orgánica y la creación de nichos para otras formas vivas que se exhiben más encima en la cadena alimentaria. Sirven para llevar a cabo la descomposición de nutrientes, restos orgánicos e inorgánicos y otras sustancias peligrosas que se exhiben en los flujos de agua (Vanegas, 2020).

2.3.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos son mediciones que permiten saber si en el agua hay sustancias químicas disueltas o en suspensión y en qué cantidad. Estas peculiaridades son fundamentales para controlar el impacto de los contaminantes químicos en el ecosistema, así como para evaluar la calidad hídrica y su idoneidad para variados usos. Entre ellas se incluyen los metales, el pH y el oxígeno disuelto.

2.3.3. Tiempo de retención

El tiempo que el agua contaminada está presente con el flujo de depuración electroquímico se denomina tiempo de retención en electro filtración. Esta ventana de tiempo es crítica para los procesos electroquímicos que conducen a la purificación de contaminantes, incluido el arsénico, basada en la precipitación electrostática. Una duración de retención suficiente garantiza la transferencia efectiva de masa y carga energética entre el agua, optimizando así la eficacia de la depuración y garantizando el éxito de la filtración del agua contaminada (Apaza, 2022).



CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

Dado que la rizofiltración se sugiere como un remedio viable para maximizar la competencia y la eficacia de la gestión de las aguas, el estudio adopta una estrategia de investigación aplicada. En consecuencia, la finalidad es indicar la información y métodos que puedan utilizarse inmediatamente para resolver un problema concreto y acuciante.

El grado de análisis de este estudio es explicativo, ya que su objetivo principal es determinar los vínculos causales entre determinados hechos. La investigación en el nivel explicativo tiene un vínculo causal; va más allá de abordar o exponer un problema; también busca sus causas profundas.

3.2. Enfoque de la investigación

Como parte de un enfoque cuantitativo de la investigación, se midió la concentración de arsénico en las zonas de estudio antes y después de la incorporación del rizo de filtración. Es importante señalar que la investigación cuantitativa estima y mide las magnitudes del problema de investigación y utiliza como base la realidad objetiva que se puede conocer.



3.3. Diseño de investigación

El análisis utilizará una técnica cuantitativa y una estrategia de investigación experimental. Esto sugiere que los procedimientos de tratamiento -las variables independientes- se modificarán intencionadamente para ver cómo afectan a la variable dependiente, que es la calidad del agua tratada.

Dicho de otro modo, los científicos utilizan técnicas experimentales para tratar de averiguar el posible efecto de un componente controlado.

3.4. Procedimiento metodológico

3.4.1. Objetivo1: Determinar la concentración de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca

Los parámetros evaluados, que fueron examinados de acuerdo con las recomendaciones de los Procedimientos Estándar de la APHA, AWW.WEF.21st ed. 2005, se exhiben en la siguiente tabla.

Tabla 3

Parámetros evaluados

N°	Parámetro	Unidad	Método
1	Arsénico	mg/l	espectrofotométrico

a) Exploración del lugar y reconocimiento del punto de muestreo

- Utilizando un sistema de geolocalización mundial (GPS), se registro las coordenadas del punto de monitoreo por conveniencia del autor.

Tabla 4*Datos de los puntos de muestreo*

Sistema de coordenadas	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
UTM WGS84	380120.723 m E	8282293.056 m N

b) Pasos realizados en la toma de muestra

- - En el proceso de toma de muestras de agua en todo pozo se aplicó el Protocolo de los Recursos (ANA, 2016).
- - Cuando el equipo llegó al lugar designado, midió los parámetros in situ. Las mediciones de los pH se realizaron en la fuente del punto de muestreo.
- - Los frascos se sometieron a un enjuague preliminar antes de instruir el proceso de recogida hídrica. Para ello fue necesario añadir agua del punto de muestreo a cada frasco y asegurarse de vaciarlo al menos dos veces.
- - Finalmente, se etiquetaron los matraces, se rellenó la cadena de custodia y se compilaron las muestras de agua necesarias después de preparar correctamente los matraces y los aparatos. Luego, la muestra fue llevada al laboratorio de la EPISA.

3.4.2. Objetivo 2: determinar las condiciones operacionales de la rizofiltración

Para el logro de este objetivo se consideraron los tiempos de contacto y la biomasa de la especie como parámetros importantes en la depuración de aguas subterráneas de la región Juliaca, tal como se muestra en la Tabla 5.

Para alcanzar la finalidad se utilizaron las siguientes técnicas.

- Construcción de la infraestructura de rizofiltración Preparación del pantano para la rizofiltración: El contenedor, una cubeta de 30 litros con dos partes, se cortó longitudinalmente. Tras limpiar a fondo el interior, se añadió una capa de grava y se cubrió con tela geotextil. A continuación, se cubrió la tela geotextil con una segunda capa de arena para evitar que se combinara con la grava.

Figura 2

Diseño del acondicionamiento de rizofiltración



Nota: diseño acondicionamiento de rizofiltración

a) Tratamiento de aguas residuales

Tratamiento en fase de rizofiltración: Se añaden treinta y cinco unidades de *Eichhornia crassipes* a cada una de las dos unidades de humedal artificial después de verter en ellas treinta y dos unidades de agua subterránea.



3.4.3. Determinar el porcentaje de remoción de arsénico mediante la rizofiltración

Utilizando la información del informe de análisis de laboratorio, se utiliza la siguiente fórmula para estimar la cantidad de arsénico eliminado del suministro de agua subterránea del distrito de Juliaca:

Tabla 5

Formula de porcentaje de remoción

Etapa I: % remoción rizofiltración

Remoción

$$= \left(1 - \frac{\text{concentracion final de arsenico}}{\text{concentracion inicial de arsenico}} \right) * 100$$

3.5. Materiales y equipos

Tabla 6

Materiales y equipos

Materiales, equipo e insumos	Materiales de laboratorio	EPPs
1 batea de 30 L	Matras Erlenmeyer 1000mL	Mascarilla facial
1 motobomba	Tubos de ensayo 120mL	Guantes quirúrgicos
4 tubos de PVC de 20cm de 1.1/4" de diámetro	Papel filtro 47mm	Casco
6 tubos de PVC de 1m de 1/2" de diámetro	Tijeras	Chaleco
1 malla de alambre galvanizado 50x 90cm	Cúter de laboratorio	Botas
6 niples de PVC roscados de 1/2"	Papel toalla	Lentes
1 alicate universal 8 pulgadas	Cinta masking	
4 cintas teflón 3M	Cronometro digital Marathon	
8 Cintas aislante negro 3m	GPS Marathon	
90 und de eichhornia crassipes		
6 frascos de borosilicato de 500mL		
1 cooler (conservador)		
5 metros de tela geotextil de marca Dupont		

3.6. Técnicas e instrumentos

3.6.1. Técnicas

- Conforman el enfoque del investigador para recopilar y documentar datos: encuestas, exámenes e instrumentos de medición de actitudes y opiniones.
- En el estudio exhibido a continuación se emplearon los siguientes métodos:



- - Observación directa
- - Evaluación de estudios, publicaciones y libros
- Técnicas estadísticas, publicaciones y libros
- - Técnicas estadísticas y analíticas (ANOVA).

3.6.2. Instrumentos

- Fichas de registro.
- Una cadena de seguimiento.
- El protocolo de seguimiento del agua (ANA, 2016).
- El agua subterránea es la muestra estudiada en esta instancia.

3.7. Población y muestra

3.7.1. Población

«El conjunto de personas de los que se busca información en una estudio se denomina población y/o universo»

3.7.2. Muestra

La muestra utilizada en este experimento es de diez litros de agua subterránea en total.

Con la muestra se representa una porción de la población considerada para una representación. (2018) Hernández y Fernández.

En el estudio se utiliza un muestreo no aleatorio, al realizar la muestra se siguen los procedimientos acordados por el estudiador.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinar la concentración de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca

Seguidamente, se expone los resultados iniciales de las propiedades del agua subterránea del parámetro arsénico en mg/l.

Tabla 7

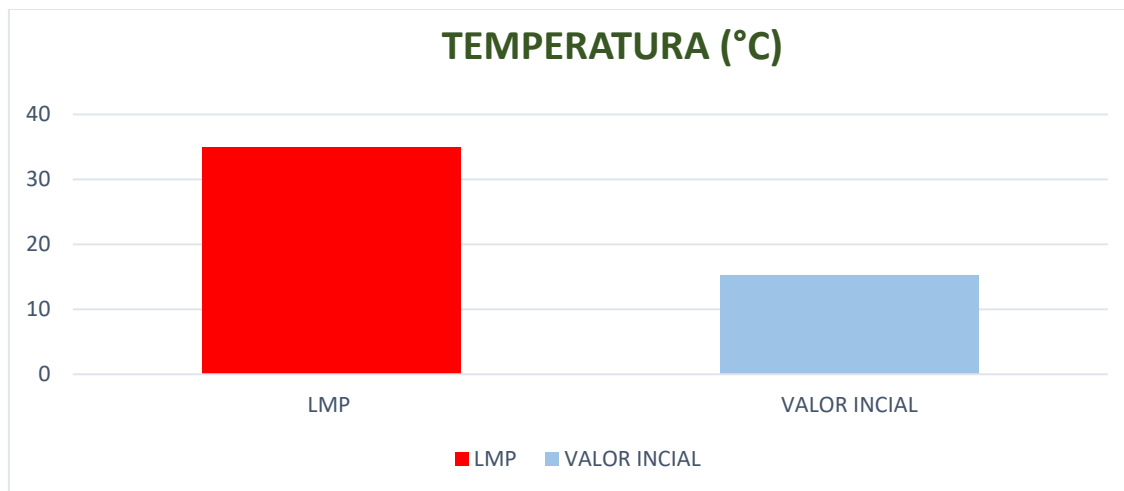
Concentración inicial de parámetros fisicoquímicos y biológicos

N°	Parámetros	Unidad	Valor	LMP
1	Temperatura	°C	15.2	
2	pH	und. pH	7.8	
3	Arsénico	mg/l	0.1900	

A. Concentración inicial de parámetros fisicoquímicos

Figura 3

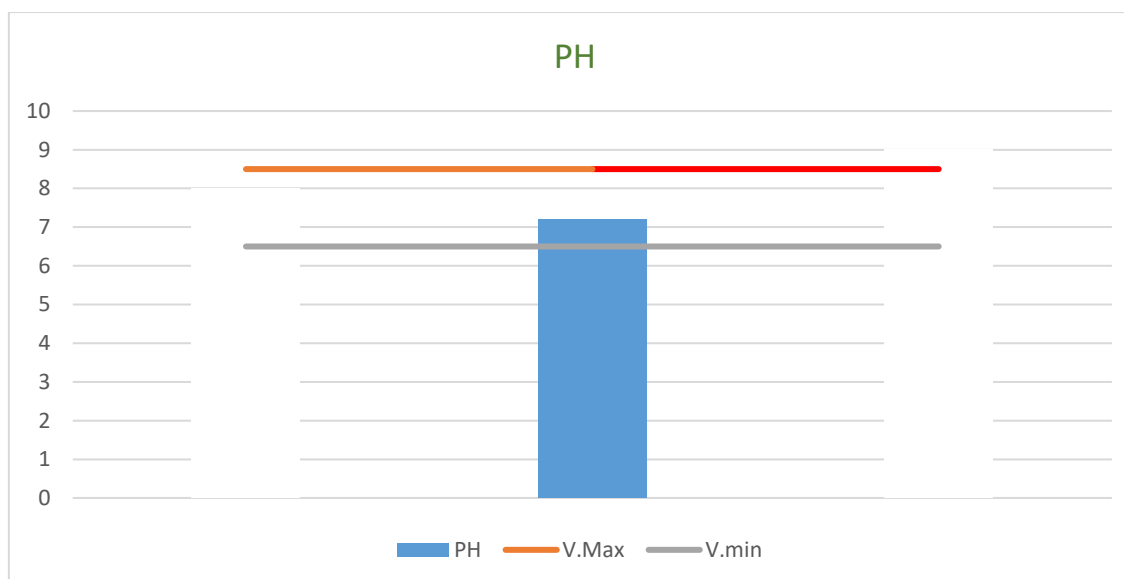
Concentración inicial de la temperatura



En la figura 3 se exhiben la temperatura de la muestra inicial en las aguas freáticas de Juliaca. Se puede notar que en cuanto a la temperatura inscrita es de 15.2 °C, exhibiéndose dentro del límite 35°C.

Figura 4

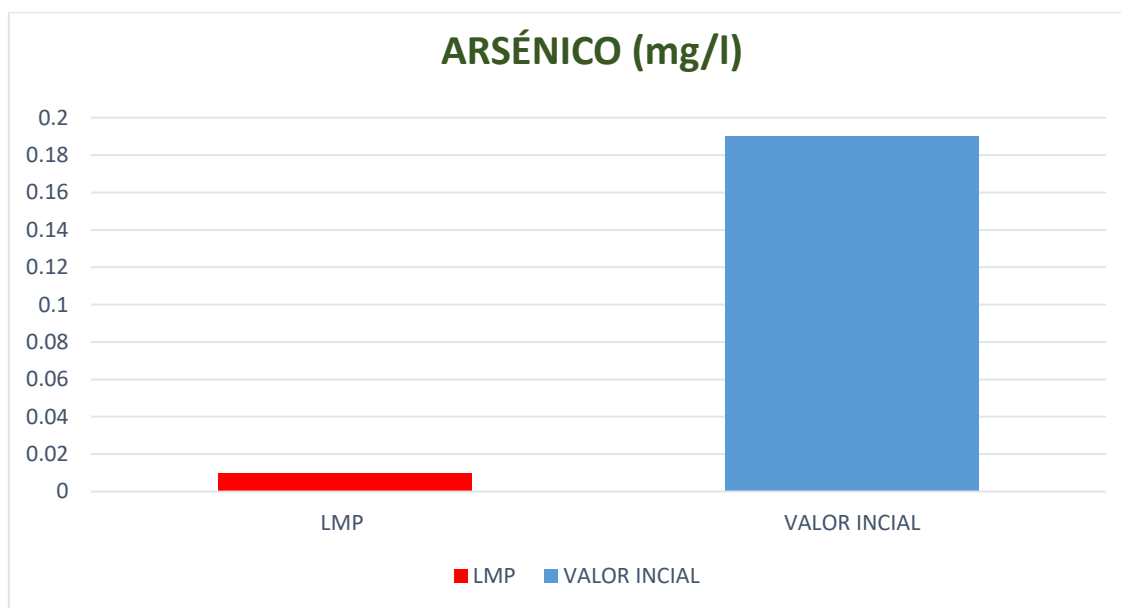
Concentración inicial del pH



En la figura 4 se detalla que el valor iniciales del pH, en las aguas freáticas de Juliaca., un pH de 7.8 , manifestación de alcalinas cumpliendo con la normativa.

Figura 5

Concentración inicial de arsénico



En la figura 5 exhibe que el nivel inicial de la concentración de arsénico se sitúa en 0.1900 mg/L Indicando que el agua subterránea posee alto indicador de arsénico superiores a los límites establecidos, siendo el límite según D.S 031-210-SA 0.01 mg/l.

4.1.2. Identificación de las características operacionales adecuadas de la rizofiltración para la reducción de arsénico en las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca

Asimismo, mostramos los resultados detallados en los 4 diferentes tratamientos propuestos en diferentes tiempos de contacto y con el mismo contenido de *Eiichhornia crassipes* en la Rizo filtración.

Tabla 8

Parámetros fisicoquímicos en los tratamientos

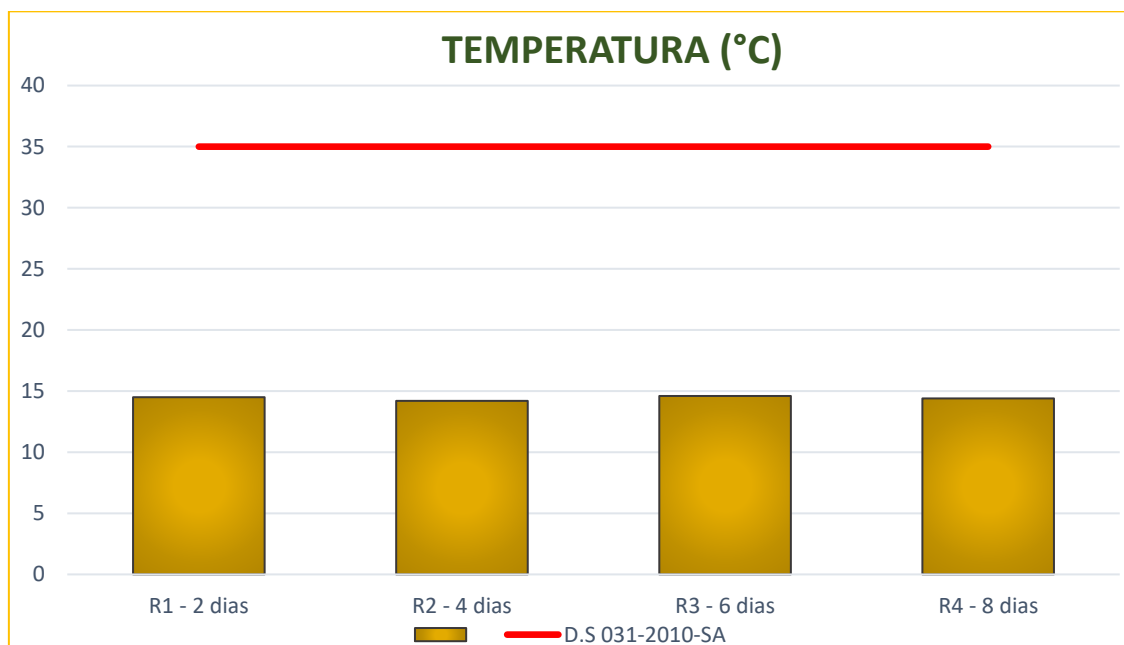
Parámetr	T1	T2	T3	T4	Und.
o	R1- 2 días	R2- 4 días	R3- 6 días	R4- 8 días	
	35 und.E.C.	35 und. E.C.	35 und.E.C.	35 und.E.C.	
TEMPERATURA	14.5	14.2	14.6	14.4	°C
PH	8	8.3	8.4	8.6	
ARSÉNICO	0.13024	0.01083	0.0095	0.0096	mg/L
o					

Nota: R – Rizo filtración

A. Características fisicoquímicas

Figura 6

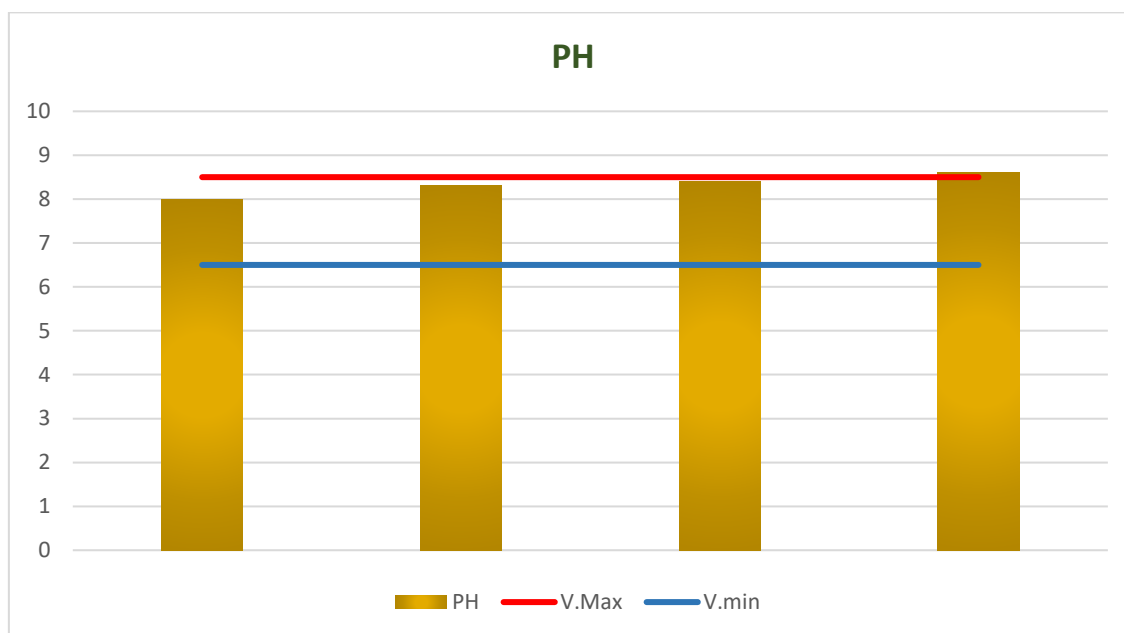
Comportamiento de la temperatura a 2, 4, 6 y 8 días



En la figura 6 Se muestran los resultados sobre los contenidos de temperatura en las aguas subterráneas sometidas a depuración. Se observa una fluctuación térmica de 14,5 °C en el primer tratamiento (R1-2 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*). Por otro lado, se observan temperaturas de 14,2 °C en el tratamiento 2 (R2- 4 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*), se demuestran 14,6 °C en el tratamiento 3 (R3- 6 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*) y se detallan 14,4 °C en el tratamiento final (R3- 8 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*).

Figura 7

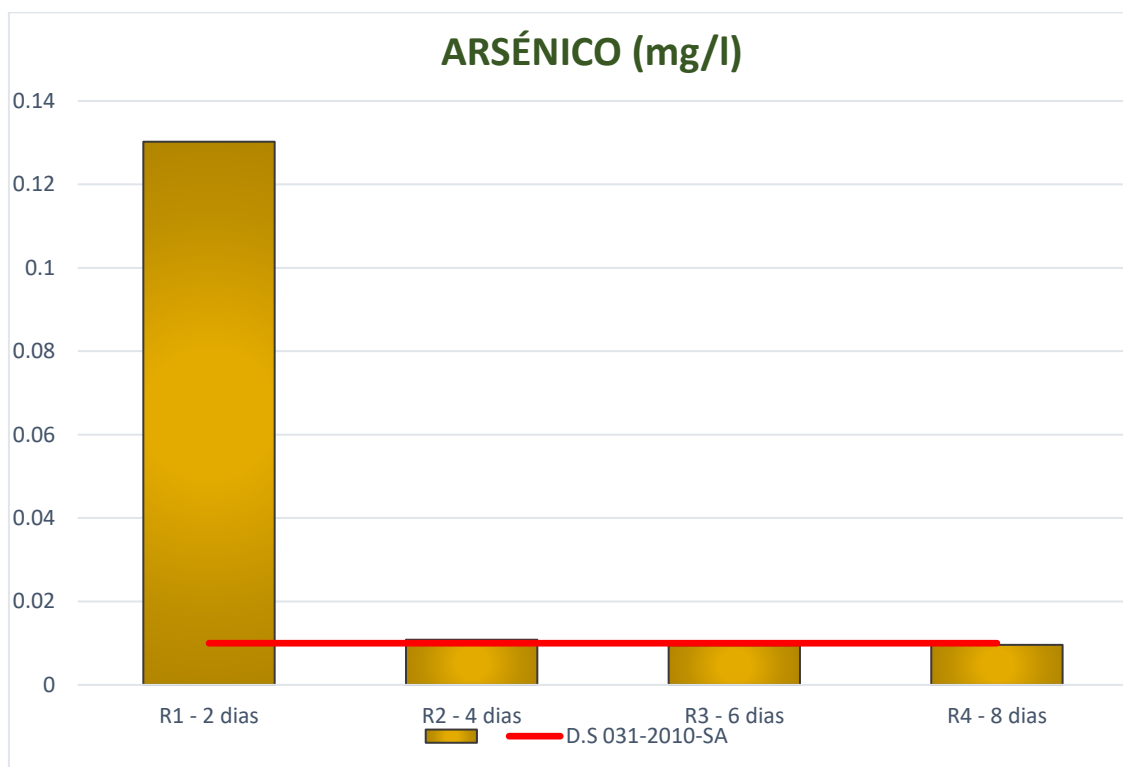
Comportamiento del pH a 2, 4, 6 y 8 días



En la figura 7 se exhiben los resultados relativos al pH del agua subterránea sometidas a depuración. Se establece que la depuración 4 (R4- 8 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*) se observa un cambio de pH significativo, con un valor de 8.6 llevando con ello un agua ligeramente alcalina.

Figura 8

Comportamiento del arsénico a 2, 4, 6 y 8 días



En la figura 8 se exhiben los resultados relativos a la existencia de arsénico en las aguas subterráneas condenadas. Se destaca que el T 1 (R1- 2 días/35 unidades de la especies) se certezza una presencia superior al limites máximo permisible con un valor de 0.13024 mg/l. en el segundo tratamiento (R2- 4 días/35 unidades de Eiichhornia crassipes) y ,muestra reducción, resultando a 0.01083 mg/L apicando la rizo filtración, para luego observa que el tercer tratamiento disminuye a 0.0095 mg/L el contenido de arsénico, y por ultimo en el cuarto tratamiento (R4- 8 días/35 unidades de Eichhornia crassipes) se evidencia una concentración de arsénico de 0.0096mg/l notándose que la concentración de arsénico en el día 6 y 8 no tiene una variación considerable.

B. Repeticiones de las características fisicoquímicas del agua residual tratada

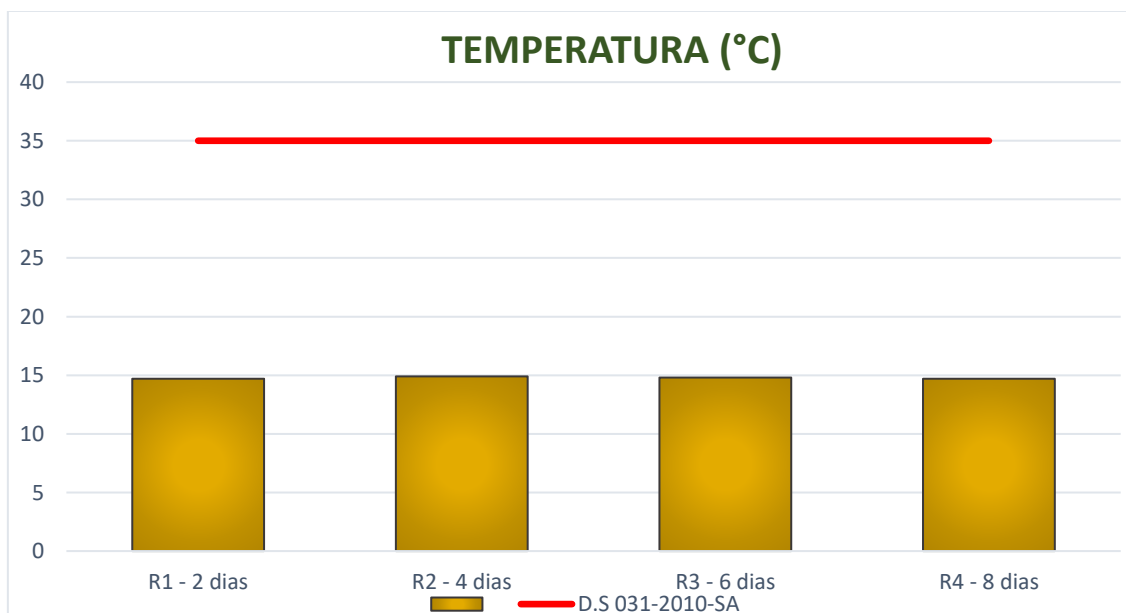
Tabla 9

Repetición de Parámetros fisicoquímicos en los tratamientos

Parámetro	RT1	RT2	RT3	RT4	Und.
	R1- 2 días	R2- 4 días	R3- 6 días	R4- 8 días	
	35 und.E.C.	35 und. E.C.	35 und.E.C.	35 und.E.C.	
TEMPERATURA	14.7	14.9	14.8	14.7	°C
PH	8.5	8.2	8.4	8.6	
ARSÉNICO	0.14	0.0112	0.00935	0.00975	mg/L

Figura 9

Repetición del Comportamiento de temperatura a 2, 4, 6 y 8 días



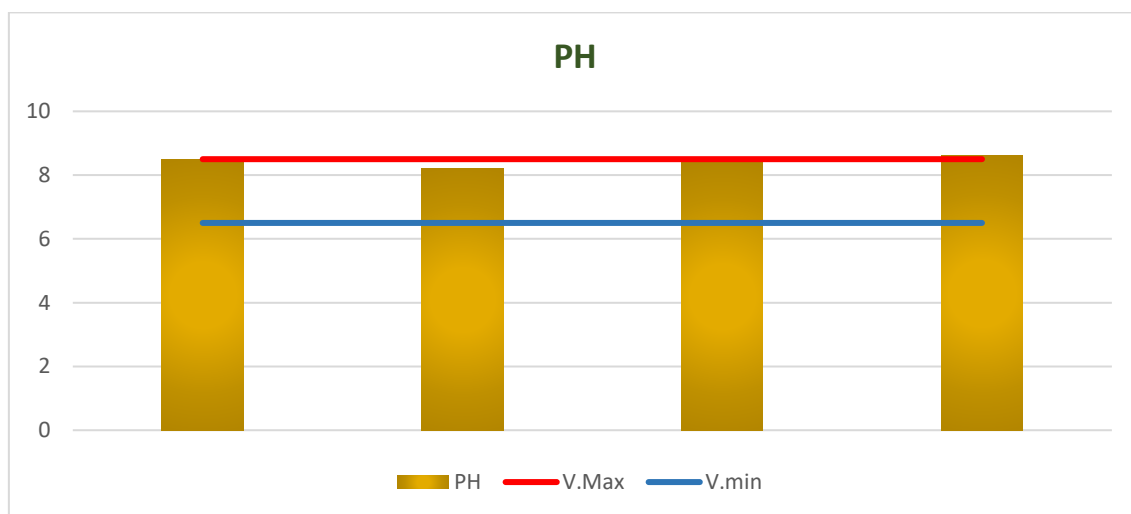
En la figura 9 lo resultante de las repeticiones del tratamiento se revelan en relación con las concentraciones de temperatura en las aguas subterráneas



sometidas a tratamiento. Se detecta una fluctuación de temperatura de 14,7 °C en el primer tratamiento (R1 - 2 días/35 unidades de Eichhornia crassipes) mediante la técnica de filtración de rizo. Por otro lado, se observan temperaturas de 14,9 °C en el tratamiento 2 (R2- 4 días/35 unidades de Eichhornia crassipes), se demuestran 14,8 °C en el tratamiento 3 (R3- 6 días/35 unidades de Eichhornia crassipes) y se detallan 14,7 °C en el tratamiento final (R3- 8 días/35 unidades de Eichhornia crassipes).

Figura 10

Repetición del Comportamiento de pH a 2, 4, 6 y 8 días



En la figura 10 se exponen los resultados relativos al pH del agua subterránea sometidas a tratamiento. Se destaca que la repetición del tratamiento 4 (R4- 8 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*) se observa un cambio de pH significativo, con un valor de 8.6 llevando con ello un agua ligeramente alcalina.

Figura 11

Repetición del Comportamiento de arsénico a 2, 4, 6 y 8 días



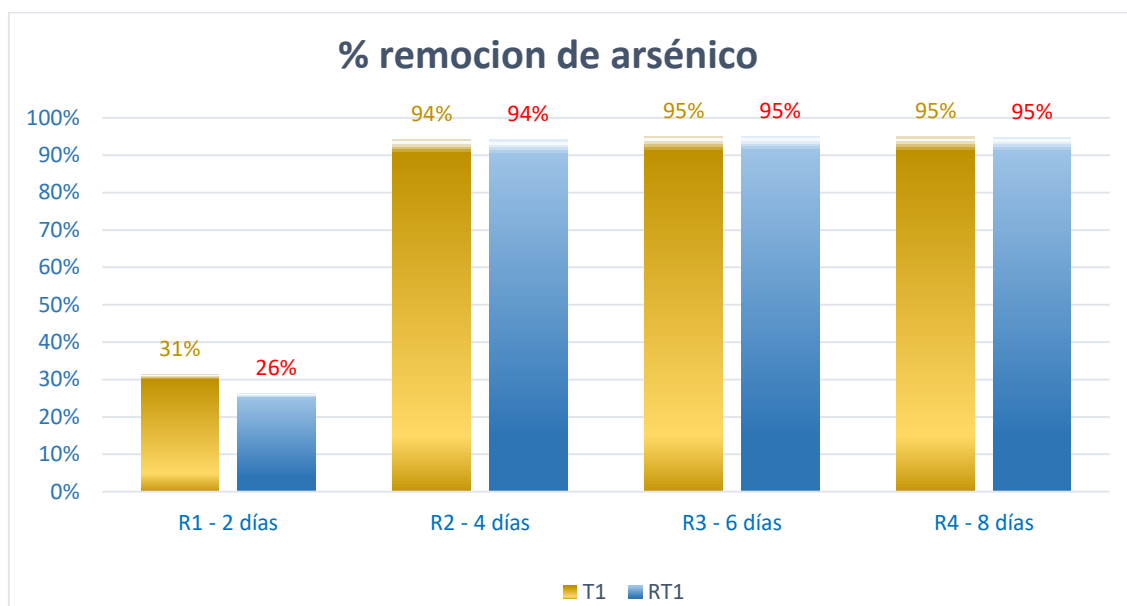
En la figura 11 Se muestran los resultados del contenido de arsénico en las aguas subterráneas tratadas, así como los resultados de las cuatro réplicas de tratamiento. Se exhibe que el tratamiento 1 (R1-2 días/35) tiene una presencia con un valor de 0,14 mg/L que supera el límite máximo legal. Utilizando el rizo de filtración, se observa que hay una reducción significativa en el segundo tratamiento (R2- 4 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*), que baja a 0,0112 mg/L. Del mismo modo, se observa que el tercer tratamiento también utiliza el rizo de filtración para bajar a 0,0112 mg/L. 0112 mg/L utilizando la rizofiltración, tras lo cual el contenido de arsénico desciende a 0,00935 mg/L en el tercer tratamiento y, por último, se observa un contenido de arsénico de 0,00975 mg/L en el cuarto tratamiento (R4: 8 días/35 unidades de *Eichhornia crassipes*).

4.1.3. Determinar el porcentaje de remoción de arsénico mediante la rizo filtración

Tabla 10

Porcentaje de remoción

N°	Código	Tiempo de retención	de <i>Eichhornia crassipes</i>	Porcentaje de remoción	
				Rizo filtración	Repetición con rizo filtración
1	R1	2 días	35 Und	31%	26%
2	R2	4 días	35 Und	94%	94%
3	R3	6 días	35 Und	95%	95%
4	R4	8 días	35 Und	95%	95%

Figura 12*Comportamiento del % de remoción*

La figura 12 muestra el porcentaje de reducción de arsénico en aguas para cada tratamiento en distintos periodos de retención. Los resultados confirman que los tratamientos R2, R3 y R4 fueron los más eficaces, ya que alcanzaron elevados porcentajes de eliminación, que oscilaron entre el 94% y el 95%.

4.2. Análisis estadístico

H0: Las condiciones operacionales de la rizofiltración con *Eichhornia crassipes* con un tiempo de exposición de 4 a 8 días no son óptimas para lograr una reducción significativa de arsénico en el agua subterránea de Juliaca.

Ha: Las condiciones operacionales de la rizofiltración con *Eichhornia crassipes* con un tiempo de exposición de 4 a 8 días son óptimas para lograr una reducción significativa de arsénico en el agua subterránea de Juliaca.

Tabla 11

Resumen del modelo: Efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con Eichhornia crassipes en la reducción de arsénico, con un tiempo de exposición de 4 a 8 días

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0,891	0,793	0,724	0,040

La variable independiente es Eichhornia crassipes.

Tabla 13 presenta un resumen del modelo que evalúa el efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con Eichhornia crassipes en la reducción de arsénico en el agua subterránea durante un tiempo de exposición de 4 a 8 días. El coeficiente de correlación ($R = 0.891$) indica una relación positiva fuerte entre la planta y la reducción de arsénico, lo que se respalda con un R cuadrado de 0.793, sugiriendo que aproximadamente el 79.3% de la variabilidad en la reducción de arsénico puede ser explicada por el modelo. El R cuadrado ajustado (0.724) también es alto, lo que indica que el modelo sigue siendo significativo al considerar el número de variables. Además, el error estándar de la estimación (0.040) sugiere que las predicciones del modelo son precisas, reflejando que las condiciones operacionales de la rizofiltración son efectivas para la eliminación de arsénico en el agua subterránea.

Tabla 12

ANOVA: Efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con Eichhornia crassipes en la reducción de arsénico, con un tiempo de exposición de 4 a 8 días

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,036	2	0,018	11,510	0,009
Residuo	0,009	6	0,002		
Total	0,046	8			

La variable independiente es Eichhornia crassipes.

La tabla 12 muestra el análisis de varianza (ANOVA) presentado en la Tabla 2 muestra los resultados de este análisis. La suma de cuadrados de la regresión es 0.036, con 2 grados de libertad, lo que indica que hay una variabilidad explicada por el modelo. La media cuadrática de la regresión es 0.018 y el valor de F (11.510) sugiere que hay una diferencia significativa entre los grupos evaluados. El valor p (Sig. = 0.009) es menor que el nivel de significancia comúnmente aceptado ($\alpha = 0.05$), lo que indica que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0).

Esto significa que las condiciones operacionales de la rizofiltración con Eichhornia crassipes durante un tiempo de exposición de 4 a 8 días son efectivas y óptimas para lograr una reducción significativa de arsénico en el agua subterránea de Juliaca. Por lo tanto, se apoya la hipótesis alternativa (H_a), validando la efectividad del método de rizofiltración en este contexto específico.

Tabla 13

*Coefficientes de la ecuación de regresión para el efecto de las condiciones operacionales de la rizofiltración con *Eichhornia crassipes* en la reducción de arsénico, con un tiempo de exposición de 4 a 8 días*

	Coeficientes		
	Coeficientes no estandarizados		estandarizados
	B	Desv. Error	Beta
Eichhornia crassipes	-0,099	0,054	-1,821
Eichhornia crassipes ²	0,008	0,008	0,966
(Constante)	0,292	0,077	

La ecuación de regresión correspondiente es:

$$Y = 0.292 - 0,099X + 0,008X^2$$

Donde:

Y = Arsenico

X = Eichhornia crassipes

Interpretación de los Coeficientes:

Constante: El coeficiente de la constante es 0.292, lo que indica que, en el caso de que no se utilice *Eichhornia crassipes* (o sea, su valor es cero), se espera que la reducción de arsénico sea de 0.292 unidades. Este valor sirve como un punto de referencia para evaluar la influencia de la planta en la reducción del contaminante.

Coefficiente de *Eichhornia crassipes*: El coeficiente asociado a *Eichhornia crassipes* es -0.099. Esto sugiere que por cada unidad adicional de *Eichhornia crassipes*, la reducción de arsénico se espera que disminuya en 0.099

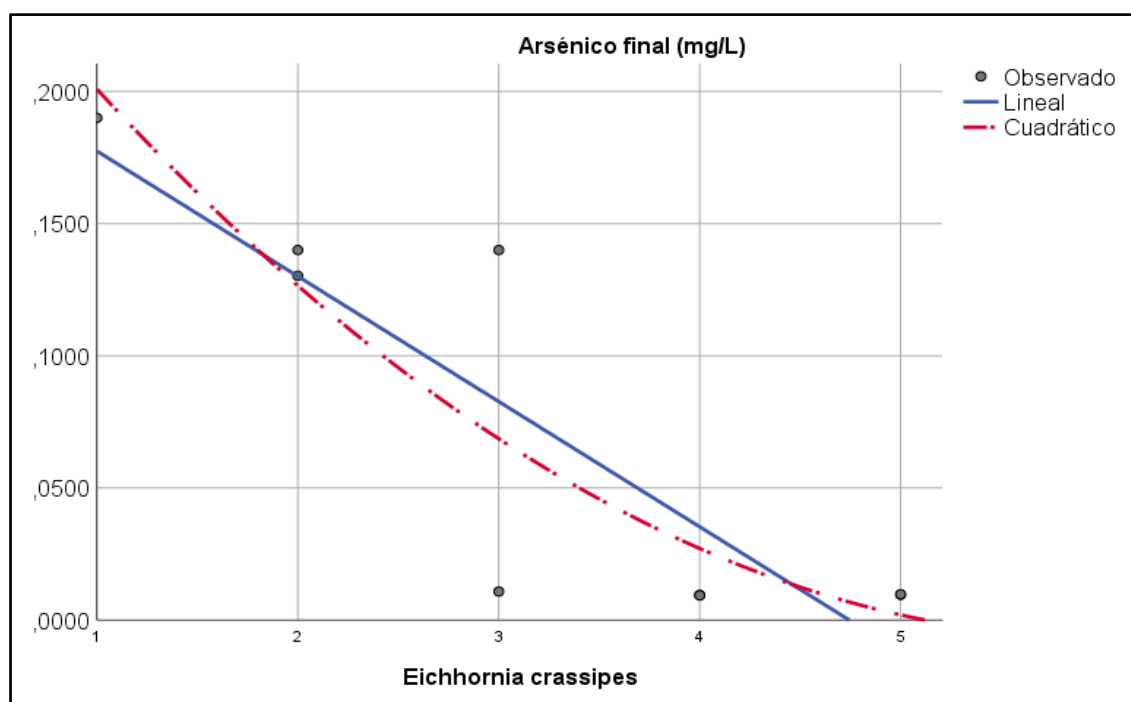
unidades. Este hallazgo podría indicar que el aumento de la biomasa de la planta no contribuye de manera efectiva a la reducción del arsénico, lo cual es un resultado importante a considerar en el diseño del sistema de rizofiltración.

Coefficiente de *Eichhornia crassipes*²: El coeficiente cuadrático es 0.008.

Este término sugiere que hay un efecto cuadrático positivo de la biomasa de *Eichhornia crassipes* en la reducción de arsénico, lo que podría implicar que al incrementar la cantidad de planta, la reducción de arsénico podría aumentar a un ritmo decreciente.

Figura 13

*Optimización de la rizofiltración con *Eichhornia crassipes* para la remoción de arsénico*





La gráfica revela una relación no lineal entre la cantidad de *Eichhornia crassipes* y la reducción de arsénico en el agua, confirmando lo que sugiere la ecuación de regresión cuadrática. A medida que aumenta la cantidad de *Eichhornia crassipes*, la concentración de arsénico disminuye inicialmente, pero a partir de cierto punto, el efecto se atenúa o incluso se invierte. Esto indica la existencia de un punto óptimo de *Eichhornia crassipes* donde la remoción de arsénico es máxima. La línea de regresión cuadrática representa mejor esta tendencia que una línea recta,

4.3. Discusiones

Discusión con respecto a Quishpe (2020) En su estudio, evaluó la efectividad del uso de pasto azul (*Dactylis glomerata*) para la rizofiltración para remover arsénico (As) de modelos de agua tomadas de dos cuerpos de agua y 2 efluentes de instalaciones de procesamiento de oro en la región minera. Debido a la capacidad de esta especie para eliminar el 96% del As de soluciones sintéticas, fue elegida previamente. Las muestras de los ríos Siete y Chico tenían valores iniciales de As de 0,13 y 0,15mg L⁻¹, mientras que los efluentes de dos instalaciones de procesamiento tenían contenidos iniciales de As de 0,14 y 0,24 mg L⁻¹. Tras el cuarto día de tratamiento, el contenido de As mostró valores inferiores al nivel máximo permitido (0,05 y 0,1 mg L⁻¹) establecido en las normas medioambientales ecuatorianas, lo que indica una tasa de eliminación del 80%. Conclusiones similares se extraen de nuestro estudio, que muestra que hasta el 95% del arsénico se elimina a partir del cuarto día.



CONCLUSIONES

- PRIMERA:** Se deduce que el nivel inicial de la concentración de arsénico se sitúa en 0.1900 mg/L Indicando que el agua subterránea posee alto indicador de arsénico superiores a los límites establecidos, siendo el límite según D.S 031-210-SA 0.01 mg/l.
- SEGUNDA:** Se infiere que los resultados relativos a la existencia de aAr en las aguas subterráneas procesadas. Se subraya que el tratamiento 1 (R1- 2 días/35 unidades) se evidencia una presencia superior al límites máximo permisible con un valor de 0.13024 mg/l. en el segundo tratamiento (R2- 4 días/35 unidades) y experimenta una considerable disminución, descendiendo a 0.01083 mg/L mediante la rizo filtración, para luego observa que el tercer tratamiento disminuye a 0.0095 mg/L la concentración de arsénico, y por último en el cuarto tratamiento (R4- 8 días/35 unidades de Eichhornia crassipes) se evidencia una concentración de arsénico de 0.0096mg/l notándose que la concentración de arsénico en el día 6 y 8 no tiene una variación considerable.
- TERCERA:** Se deduce la proporción de eliminación de arsénico de las aguas subterráneas en cada tratamiento a distintos tiempos de retención. Los datos confirman que los tratamientos R2, R3 y R4 alcanzaron elevados porcentajes de eliminación, siendo entre el 94% y el 95% los más idóneos.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se aconseja que posteriores estudios se trabaje con efluentes de residuos mineros e industriales para aumentar el tiempo de retención trabajando con mayores contenidos de arsénico.

SEGUNDA: Se aconseja que futuros investigadores realicen más estudios sobre el tratamiento de aguas subterráneas con una biomasa de *Eichhornia crassipes* superior a 35 unidades y en conjunción con varios periodos de retención superiores a 8 días.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANA. (2016). *AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA* .
- Apaza, Y. A. (2022). *Sistema combinado de filtro rotativo y biofiltro empacado de hydrocotyle vulgaris para el tratamiento de aguas residuales, Cabanillas, Puno - 2022*. Repositorio Universidad César Vallejo. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12692/106372>
- Bayona, D. (2016). *Evaluación de la capacidad remediadora de la especie Eichhornia Crassipes del rio Chira para el tratamiento de aguas servidas en la planta de tratamiento de aguas residuales El Indio*. Repositorio Universidad Alas Peruanas. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12990/1925>
- Campoverde, M. (2017). *"Remoción de materia organica mediante Chrysopogon zizanioides en el tratamiento secundario de aguas residuales domesticas de citar"*. Repositorio Universidad Nacional Tecnología de Lima Sur. doi:http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/246/1/Campoverde_Martin_Trabajo_Suficiencia_2017.pdf
- Castro, J. (1997). *ARSÉNICO*.
- CEPIS. (1991). *DETERMINACION DEL RIESGO DE CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS*. CENTRO PANAMERICADO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, LIMA. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/riesgo7645.pdf>
- Chávez, M. (2008). *EVALUACIÓN DE DOS TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA INS*, lima.
- Coronel, E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (eichhornia crassipes) y lenteja de agua (lemna minor) en el tratamiento de las aguas de la Universidad*



Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas, 2015. Repositorio Universidad Nacional "Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas".

doi:<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gabykell. (20 de enero de 2013). El agua un medio de vida. Obtenido de Gabykell.blogspot.com

Hernández, R., & Fernández, C. (2018). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGRAW-HILL.

Hirata, R. (2002). *Carga Contaminante Y Peligros A Las Aguas Subterráneas*. Revista Latino-Americana de Hidrogeología. Obtenido de <https://revistas.ufpr.br/hidrogeologia/article/viewFile/2624/2166>

Huaracha Astete, J. A., & Quispe Flores, L. (2019). *Determinación de la concentración de arsénico en aguas subterráneas en las salidas: Puno, Lampa y Arequipa de la ciudad de Juliaca*. Puno: Repositorio Universidad Peruana Unión. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3321>

Laguna, L., & Ricaldi, E. (2017). *Determinación de plomo y arsénico en lápices labiales de diferentes*. Obtenido de cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6478/Laguna_gl.pdf?se

Llacza, Z. (2018). *“Uso de rizofiltración mediante la Myriophyllum aquaticum y el método de osmosis inversa en el efluente minero de la zona de*



Uchumayo Arequipa, 2018". Repositorio Universidad César Vallejo.
doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12692/73631>

Maquera Puma, J. A. (2022). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Nasturtium officinale (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico, distrito de Torata*. Moquegua: Tesis de pregrado, repositorio de la Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13897>

Metcalf, & Eddy. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION*. McGraw-Hill. doi:84-481-1727-1 (Vol. I)

Ocas Jave, R. E., & Villar Boza, F. d. (2019). *Influencia del tiempo de residencia en la reducción de metales por rizofiltración con chrysopogon zizanioides en un efluente minero*. Algamarca: Repositorio Universidad Privada del Norte. doi:<https://hdl.handle.net/11537/23855>

OMS. (21 de Marzo de 2022). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Ordoñez, J. (2012). *Aguas subterráneas acuíferos*. Sociedad Geográfica del, Lima.

Quishpe Ballagán, Á. M. (2020). *Remoción de arsénico de efluentes líquidos de plantas de beneficio de oro y cuerpos hídricos, de la zona minera de Ponce Enríquez, por rizofiltración con pasto azul (dactylis glomerata)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20939>

Sandoval Polo, B. J. (2021). *Eficiencia de la vetiveria (Chrysopogon zizanioides) en la rizofiltración de suelos agrícolas contaminados con metales, en el*



caserío de Plazapampa – distrito Salpo – provincia Otuzco. La Libertad:

Repositorio Privada del Norte. doi:<https://hdl.handle.net/11537/30808>

Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2022). *Geoquímica Aplicada*.

Vanegas, E. (2020). *Eficiencia del Jacinto de Agua (Eichhornia Crassipes) en la Fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)*. Universidad Nacional Abierta y A Distancia -UNAD.

doi:<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/35009/evvanegasg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zelada, J., Arreola Martínez, H., Herrera García, J., & Salazar, A. (2011). *Remoción de metales pesados del agua por ninfa (Eichhornia cassipes (Mart.) Solms) y vetiver (Vetiveria zizanioides (L.) nash)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.



ANEXOS



ANEXO 1.

Resultados del análisis en laboratorio



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA106 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Recilda Mamani Coaquira
1.2. **Proyecto** : RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas
2.2. **Numero de muestras** : 01
2.3. **Muestreado por** : Recilda Mamani Coaquira
2.4. **Fecha de ensayo** : 01/10/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : San Román
2.7. **Distrito** : Juliaca
2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
M - I	E: 380120.723 N: 8282293.056	30/09/2023	10:11 a.m.

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M - I
Temperatura	°C	15.2
pH		7.8
Arsénico	mg/L	0.1900

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 15 de octubre del 2024

N°.B.E.: 00225134
Página 1 de 3



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA107 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Recilda Mamani Coaquira
- 1.2. **Proyecto** : RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas
- 2.2. **Numero de muestras** : 04
- 2.3. **Muestreado por** : Recilda Mamani Coaquira
- 2.4. **Fecha de ensayo** : 01/10/2024

I. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	R - 1	R - 2	R - 3	R - 4
Temperatura	°C	14.5	14.2	14.6	14.4
pH		8.0	8.3	8.4	8.6
Arsénico	mg/L	0.13024	0.01083	0.00952	0.00960

II. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 15 de octubre del 2024



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA108 - 2024

III. DATOS DEL SERVICIO

- 3.1. Solicitante : Recilda Mamani Coaquira
- 3.2. Proyecto : RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSENICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024

IV. DATOS DEL ENSAYO

- 4.1. Producto : Aguas
- 4.2. Numero de muestras : 04
- 4.3. Muestreado por : Recilda Mamani Coaquira
- 4.4. Fecha de ensayo : 01/10/2024

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	R - 1	R - 2	R - 3	R - 4
Temperatura	°C	14.7	14.9	14.8	14.7
pH		8.5	8.2	8.4	8.6
Arsénico	mg/L	0.1400	0.01120	0.00935	0.00975

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 15 de octubre del 2024

ANEXO 2. MATRIZ DE CONSISTENCIA

RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSÉNICO EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p>¿Cuál será la incidencia de la Rizofiltración en el tratamiento de aguas subterráneas con arsénico en condiciones de laboratorio Juliaca 2024?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>1) ¿Qué concentración de arsénico tendrán las aguas de Juliaca?</p> <p>2) ¿Cuáles serán las condiciones operacionales de la rizofiltración?</p> <p>3) ¿Qué porcentaje de remoción de arsénico se dará mediante la rizofiltración?</p>	<p>Evaluar la influencia de la Rizofiltración para el tratamiento de aguas freáticas con arsénico en condiciones de laboratorio Juliaca 2024</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1) Determinar el contenido de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca</p> <p>2) Determinar las condiciones operacionales de la rizofiltración</p> <p>3) Determinar la cantidad de remoción de arsénico mediante la rizofiltración</p>	<p>la Rizofiltración para la depuración de aguas subterráneas con arsénico en condiciones de laboratorio será significativa.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</p> <p>1) La concentración de arsénico que tendrán las aguas del distrito de Juliaca supera la normatividad</p> <p>2) Las condiciones operacionales de la rizofiltración son optima</p> <p>3) La cantidad de reducción de arsénico se dará mediante la rizofiltración será significativa</p>	<p>Variable independiente</p> <p><input type="checkbox"/> Rizofiltración</p> <p>Variables dependientes.</p> <p><input type="checkbox"/> Niveles de concentración de arsénico en aguas subterráneas</p>	<p>Tipo de investigación.</p> <p>el estudio adopta una estrategia de investigación aplicada</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>el nivel de investigación es el relacional</p> <p>Diseño de la investigación</p> <p>El análisis utilizará una técnica cuantitativa y una estrategia de investigación experimental. Esto sugiere que los procedimientos de tratamiento -las variables independientes- se modificarán intencionadamente para ver cómo afectan a la variable dependiente, que es la calidad del agua tratada</p>



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 15 - 11 - 2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RECILDA MAMANI COAQUIRA

Dirección: AV. FERROCARRIL N° 2854

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74761604

Teléfono: 953515745 email: mamanicoaquira99@gmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARSÉNICO
EN CONDICIONES DE LABORATORIO JULIACA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): AGUA SUBTERRÁNEA, ARSÉNICO, RIZOFILTRACIÓN

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: SANEAMIENTO AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

15 - 11 - 2024

Fecha