



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA
UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ
PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Agrónomo

Autor:
Naula Lema Carlos Cuauhtemoc

Tutor:
Tapia Borja Alexandra Isabel

LATACUNGA – ECUADOR

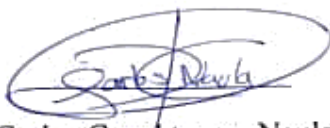
Agosto 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Naula Lema Carlos Cuauhtemoc con cédula de ciudadanía No 0550265185, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”**, siendo la Ingeniera Mg. Alexandra Isabel Tapia Borja, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 13 de agosto del 2024



Carlos Cuauhtemoc Naula Lema

C.C: 0550265185

ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **NAULA LEMA CARLOS CUAUHTEMOC**, identificado con cédula de ciudadanía **0550265185** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja Mg.

Tema: **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”**.

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b. La publicación del trabajo de grado.
- c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

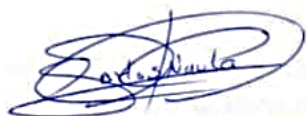
CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comuniqué, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 13 días del mes de agosto del 2024.



Carlos Cuauhtemoc Naula Lema

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación sobre el título:

“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”, de Naula Lema Carlos Cuauhtemoc, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 13 de agosto del 2024



Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.
C.C: 0502661754
DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Naula Lema Carlos Cuauhtemoc, con el título de Proyecto de Investigación: **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 13 de agosto del 2024



Ing. ~~Wilman Paolo~~ Chasi, Mg.

C.C: 0502409725

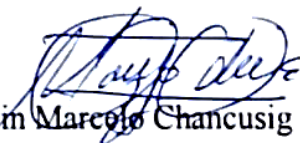
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Mercy Lucía Ibar Yupa Ph.D.

C.C: 0604147900

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Edwin Marcelo Chancusig Espin Ph.D.

C.C: 0501148837

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por las bendiciones que ha derramado en mí, la salud, la vida y la fortaleza que me ha brindado para afrontar las adversidades y guiar mi camino.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de diversas maneras a la culminación de este proyecto. A mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental a lo largo de este proceso. Gracias por su amor, paciencia y comprensión durante los momentos de mayor presión y estrés.

A mis hermanos, por su constante ánimo y por creer siempre en mí.

A mis compañeros de estudios, gracias por compartir conmigo esta aventura académica. Su amistad y compañía hicieron de este viaje una experiencia más llevadera y enriquecedora.

A mis docentes y asesores, cuyo guía y conocimiento fueron esenciales para el desarrollo de esta investigación. En especial, agradezco a las ingenieras Alexandra Tapia y Mercy Ilbay por su orientación experta y paciente. Sus consejos y palabras de aliento fueron clave para alcanzar esta meta.

Gracias a todos, de corazón.

Carlos Cuauhtemoc Naula Lema

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón esta investigación a mi madre, Yolanda Lema por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y por ser mi inspiración constante. Sin su sacrificio, paciencia y sabiduría, este logro no habría sido posible. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi pareja sentimental, Deisy Salazar, por ser mi fuente de fortaleza. Gracias por su comprensión, su amor y por estar siempre a mi lado, brindándome el ánimo y el apoyo necesarios para superar cada obstáculo. Su presencia ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

Carlos Cuauhtemoc Naula Lema

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO: “REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA
UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSE
PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”**

Autor:

Naula Lema Carlos Cuauhtemoc

RESUMEN

Este proyecto abordó el diseño, implementación y evaluación de un filtro multicapa piloto a escala para la remoción de arsénico en agua destinada a uso agrícola en la Junta Tiliche San José, provincia de Cotopaxi. Esta región enfrenta problemas de contaminación en sus fuentes de agua de riego debido a su origen volcánico. Según los antecedentes revisados, los niveles de arsénico en el agua superan los 0,1 mg/L, excediendo la normativa ecuatoriana de calidad de agua de riego establecida en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). Esto presenta un riesgo significativo tanto para la salud como para la producción agrícola. El filtro diseñado consta de 40 cm de zeolita de 1 mm, dos capas de 10 cm de piedra caliza grande (100-120 mm), dos capas de piedra caliza mediana (40-60 mm) y una capa de 1 cm de tela filtrante de polietileno. Durante las pruebas iniciales, el filtro redujo la concentración de arsénico en el agua de 0,88 mg/L a 0,75 mg/L, lo que representa una remoción del 14,77%. Tras realizar modificaciones en la configuración del medio filtrante, que incluyeron la adición de una capa de tela para dividir la zeolita en dos capas de 20 cm, la eficiencia del filtro mejoró significativamente, logrando una reducción de 0,80 mg/L a 0,48 mg/L, equivalente a una remoción del 40%. El filtro fue sometido a un monitoreo continuo cada 50 minutos durante 300 minutos de filtrado, distribuidos en dos turnos de riego. Durante el primer día, se obtuvo una remoción media del $15\% \pm 2,04\%$, mientras que en el segundo turno de riego la remoción fue del $12\% \pm 5,01\%$. El costo total estimado para la implementación y construcción del filtro fue de USD 341,04.

Palabras clave: Agua de riego, diseño, implementación, evaluación, remoción, arsénico, zeolita, piedra caliza, filtro multicapa.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

THEME: "ARSENIC REMOVAL FROM AGRICULTURAL WATER USING A FILTER IN JUNTA TILICHE SAN JOSÉ, COTOPAXI PROVINCE, PERIOD 24-24"

Author:

Naula Lema Carlos Cuauhtemoc

ABSTRACT

This project involved the design, implementation, and evaluation of a pilot multilayer filter for the removal of arsenic in intended water for agricultural use in the Tiliche San José Board, Cotopaxi Province. This region faces contamination problems in its irrigation water sources due to its volcanic origin. According to the reviewed background, the arsenic levels in the water exceed 0.1 mg/L, exceeding the Ecuadorian regulation of irrigation water quality established in the Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). This presents a significant risk to both health and agricultural production. The designed filter consists of 40 cm of 1 mm zeolite, two 10 cm layers of large limestone (100-120 mm), two layers of medium limestone (40-60 mm) and a layer of 1 cm polyethylene filter cloth. During initial testing, the filter reduced the arsenic concentration in water from 0.88 mg/L to 0.75 mg/L, representing a 14.77% removal. After making modifications to the filter media configuration, which included adding a layer of cloth to divide the zeolite into two 20 cm layers, the filter's efficiency significantly improved, achieving a reduction from 0.80 mg/L to 0.48 mg/L, equivalent to a 40% removal. The filter was monitored continuously every 50 minutes for 300 minutes of filtration, distributed in two irrigation shifts. On the first day, an average removal of $15\% \pm 2.04\%$ was achieved, while during the second irrigation round, the removal was $12\% \pm 5.01\%$. The total estimated cost for the implementation and construction of the filter was USD 341.04.

Keywords: Irrigation water, design, implementation, evaluation, removal, arsenic, zeolite, limestone, multilayer filter.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	3
3.1 Beneficiarios directos.....	3
3.2 Beneficiarios indirectos	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1 Objetivo General.....	4
5.2 Objetivos Específicos.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	8
7.1 Calidad de agua de riego.....	8
7.2 Parámetros de calidad de agua de riego.....	8
7.2.1 El pH del agua	8
7.2.2 Oxígeno Disuelto (OD)	9
7.2.3 Sólidos totales disueltos (TDS)	9
7.2.4 Conductividad Eléctrica (CE).....	9
7.2.5 Arsénico.....	10
7.3 Filtración.....	10
7.4 Filtros para mejorar calidad de agua.....	10
7.5 Tipos de medios filtrantes.....	11
7.5.1 Biológico	11
7.5.2 Mecánico	11
7.5.3 Químico	11
7.6 Materiales filtrantes	11

7.6.1	Piedra Caliza.....	11
7.6.2	Zeolita.....	12
7.6.3	Tela filtrante	12
7.7	Parámetros de diseño de filtro multicapa.....	12
7.7.1	Localización.....	12
7.7.2	Caudal de diseño.....	12
7.7.3	Área del filtro.....	13
7.7.4	Altura del filtro	13
7.7.5	Configuración del medio filtrante.....	14
7.7.6	Control de flujo.....	14
7.8	Monitoreo de calidad física y química de afluente y efluente	15
7.9	Determinación de la eficiencia.....	15
8.	PREGUNTA CIENTIFICA	15
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	15
9.1	Tipos de investigación	15
9.1.1	Investigación bibliográfica	15
9.1.2	Investigación estadística	15
9.2	Métodos de investigación	16
9.2.1	Científico	16
9.2.2	Inductivo.....	16
9.2.3	Deductivo.....	16
	Instrumentos de investigación.....	16
9.2.4	Cuaderno de campo	16
9.2.5	Gestores bibliográficos	16
9.2.6	Tablas.....	16
9.3	Área de estudio.....	16
9.4	Diseño del filtro multicapa.....	17
9.4.1	Localización.....	17
9.4.2	Caudal de diseño.....	17
9.4.3	Área del filtro.....	18
9.4.5	Diámetro del filtro	19
9.4.6	Volumen del filtro	19
9.5	Caja de filtración.....	20
9.6	Configuración del medio filtrante.....	20
9.6.1	I Configuración del medio filtrante	20

9.6.2	II Configuración del medio filtrante.....	21
9.6.3	Control de flujo.....	22
9.7	Implementación.....	22
9.7.1	I Implementación.....	22
9.7.2	II Implementación.....	23
9.8	Determinación de la eficiencia del filtro.....	25
9.8.1	Obtención de muestras de agua	25
9.8.2	Espectroscopia UV-Vis	26
9.9	Calidad físicoquímica del afluente.....	26
9.10	Calidad físicoquímica del efluente.....	27
9.11	Determinación de la eficiencia del filtro.....	27
9.12	Estudio de calidad de carrera de filtro	27
9.13	Estadística descriptiva.....	28
9.14	Tipos de estadística descriptiva	28
9.14.1	Distribución de frecuencias	28
9.14.2	Medidas de dispersión	28
9.14.3	Tendencia central.....	28
10.	ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	28
10.1	Pruebas de funcionamiento I implementación.....	28
10.1.1	Caudal de salida	30
10.2	Pruebas de funcionamiento II implementación.....	30
10.2.1	Caudal de salida	31
10.3	Determinación de la eficiencia del filtro.....	31
10.3.1	Remoción de arsénico.....	31
10.3.2	Reducción de pH	33
10.3.3	Reducción de la Conductividad Eléctrica.....	36
10.3.4	Remoción de Sólidos Disueltos Totales (TDS).....	38
10.3.5	Concentración de oxígeno disuelto.....	40
11.	ESTIMACIÓN DE COSTO DE CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO	42
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
12.1	Conclusiones	42
12.2	Recomendaciones	43
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.	5
Tabla 2. Parámetros de calidad de agua monitoreados en la investigación.....	8
Tabla 3. Antecedentes de estudios que indican presencia de arsénico en agua de riego de la Junta Tiliche San José.....	17
Tabla 4. I Distribución del medio filtrante	21
Tabla 5. II Distribución de material por tamaño de capa	22
Tabla 6. Remoción de arsénico del I diseño	29
Tabla 7. Cálculo del caudal	30
Tabla 8. Remoción de arsénico del II diseño.....	31
Tabla 9. Cálculo del caudal	31
Tabla 10. Análisis de datos de remoción de As.....	32
Tabla 11. Análisis de datos remoción de As.....	33
Tabla 12. Análisis de datos reducción de pH	34
Tabla 13. Análisis de datos reducción de pH	35
Tabla 14. Análisis de datos reducción de CE	36
Tabla 15. Análisis de datos de reducción de CE	37
Tabla 16. Análisis de datos de remoción de TDS.....	38
Tabla 17. Análisis de datos de remoción de TDS.....	39
Tabla 18. Análisis de datos de reducción de oxígeno disuelto	40
Tabla 19. Análisis de datos de reducción de oxígeno disuelto	41
Tabla 20. Precio de materiales utilizados para la implementación.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio.....	17
Figura 2. I Distribución de medio filtrante	20
Figura 3. II Distribución del medio filtrante	21

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Propuestas de configuración de medios filtrantes.	14
Gráfico 2. Resultados de remoción del I diseño	29
Gráfico 3. Resultados de remoción del II diseño.....	30
Gráfico 4. Resultados del filtrado del primer día	32
Gráfico 5. Resultados del filtrado del primer día.	33
Gráfico 6. Resultados de análisis de pH de afluente y efluente.....	34
Gráfico 7. Resultados de análisis de pH de afluente y efluente.....	35
Gráfico 8. Conductividad Eléctrica del afluente y efluente.....	36
Gráfico 9. Conductividad eléctrica del afluente y efluente	37
Gráfico 10. TDS del afluente y efluente	38
Gráfico 11. TDS del afluente y efluente.....	39
Gráfico 12. Oxígeno disuelto del afluente y efluente	40
Gráfico 13. Oxígeno disuelto del afluente y efluente	41

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título de investigación:

“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE USO AGRÍCOLA UTILIZANDO UN FILTRO, EN LA JUNTA DE TILICHE SAN JOSÉ PROVINCIA DE COTOPAXI PERÍODO 24-24”

Fecha de inicio:

Abril 2024

Fecha de finalización:

Agosto 2024

Lugar de ejecución:

Barrio San José- parroquia Tanicuchi- cantón Latacunga- provincia de Cotopaxi

Facultad que auspicia

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Ingeniería Agronómica

Equipo de Trabajo:

Tutora: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

Estudiante: Carlos Cuauhtemoc Naula Lema

Lector A: Ing. Wilman Paolo Chasi, Mg.

Lector B: Ing. Mercy Lucila Ilbay Yupa, Ph.D.

Lector C: Ing. Edwin Marcelo Chancusig Espín, Ph.D.

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Naula Lema Carlos Cuauhtemoc

Teléfono: 0980124767

Correo electrónico: carlos.naula5185@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Ingeniería, industria y construcción

Línea de investigación:

Línea 2: Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria

Hoy en día los países a través de la investigación e innovación se proponen dar respuestas tecnológicas para garantizar la seguridad alimentaria, permitiendo la alimentación requerida para mantener una vida saludable. El objetivo de esta línea será la investigación sobre productos, biomateriales, tecnología bioquímica, tratamiento de la biomasa y uso de la biotecnología vegetal para el desarrollo de procesos tecnológicos que faciliten el acceso de la comunidad a nuevos materiales y alimentos nutritivos e inocuos con el uso de la ciencia de la nutrición para la mejora de la economía local y nacional.

Línea de vinculación de la carrera:

Tecnologías para la agricultura, Agua y Suelos

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La Junta agua de riego Tiliche San José ubicada en la provincia de Cotopaxi, parroquia Tanicuchi perteneciente al cantón Latacunga, es una organización formada por 55 productores agrícolas, la principal fuente de agua para riego que proviene del complejo volcánico Ilinizas, en dónde se han realizado análisis en investigaciones anteriores y se evidencio la presencia de arsénico con valores de 2.77 mg/l para la bocatoma; en el ramal 1 de 3.54 mg/l y en el reservorio de 1.41 mg/l superando la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).

El proyecto busca reducir la contaminación por arsénico en el agua de riego de la Junta Tiliche San José, en la provincia de Cotopaxi. El arsénico en agua de uso agrícola es un contaminante tóxico que puede afectar gravemente la salud de las personas y la calidad de los cultivos, comprometiendo la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola. La exposición continua al arsénico puede provocar enfermedades graves y disminuir la productividad agrícola, por lo que es importante desarrollar soluciones prácticas y eficientes para su remoción del agua de riego.

En este contexto, la presente investigación se enfocó en implementar un proceso piloto de filtración multicapa a escala para eliminar el arsénico presente en el agua de la Junta de Agua de Riego. La presencia de arsénico en el agua afecta negativamente el rendimiento de los cultivos y también representa un serio problema de salud pública.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Beneficiarios directos

El presente trabajo investigativo beneficiara a los estudiantes y miembros de la universidad y los productores agropecuarios de la Junta de Agua de Riego Tiliche San José.

3.2 Beneficiarios indirectos

Los productores de la parroquia de Tanicuchi

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La contaminación de fuentes de agua por metales pesados plantea una problemática que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local (Reyes et al., 2016). El arsénico es considerado como toxico y cancerígeno ambiental muy peligroso, este metaloide puede afectar la fertilidad del suelo, disminuir las actividades microbianas, la biodiversidad y los rendimientos de los cultivos, además, este elemento se absorbe por las raíces de las plantas, es transportado y adherido a sus órganos estructurales. Luego este metal pasa al ser humano cuando son ingeridos como alimento, lo que provoca serios problemas de salud (Bayona Penagos, 2020).

En México, los municipios rurales cuentan con fuentes de abastecimiento de agua contaminadas con arsénico, en el Distrito de Riego 005 en el centro sur del estado de Chihuahua se encontró niveles de este metal en agua en seis sitios , con concentraciones de > 100 mg/L que pueden ocasionar un riesgo para la producción agrícola (Hermosillo-Muñoz et al., 2019)

En la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Rural de Tanicuchi, se encuentra la Junta de Agua de Riego Tiliche San José, en este sector el agua de captación de proviene del complejo volcánico los Ilinizas donde se ha evidenciado la presencia de arsénico. De acuerdo a (Mise, 2024) en la Junta Tiliche San José existe presencia de arsénico en el agua de riego en los puntos de muestreados con estos resultados: bocatoma de 2.77 mg/L; en el ramal 1 de 3.54 mg/l y en el reservorio de 1.41 mg/L, estas cifras son extremadamente superiores a la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), donde los criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego para Arsénico es de 0.1 mg/l,

La contaminación del agua con arsénico ha provocado inconvenientes para los pobladores de la comunidad, las plantas presentan un color amarillento en sus hojas debido a la absorción de los contaminantes, el pH ácido del agua ocasiona que los cultivos regados se quemen y la producción se pierda. (Córdova Cunalata & Molina Jácome, 2022)

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- Remover arsénico del agua para uso agrícola de la Junta de Agua de Riego Tiliche San José utilizando un prototipo del filtro de capas a escala.

5.2 Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un filtro utilizando (zeolita, tela filtrante polietileno, piedra caliza) para remover arsénico en el agua de riego.
- Determinar la eficiencia del filtro para remover arsénico presente en el agua de uso agrícola.
- Realizar una estimación de costo de construcción e implementación del filtro.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

OBJETIVO 1	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	MEDIO DE VERIFICACIÓN
<p>Diseñar e implementar un filtro utilizando (zeolita, piedra caliza, tela filtrante polietileno) para remover arsénico en el agua de riego</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar bibliográficamente los tipos de filtros para remoción de arsénico. • Determinar el material filtrante (zeolita, piedra caliza, tela filtrante polietileno) • Calcular caudal de diseño • Preparar de los materiales para la construcción del filtro. • Realizar el diseño del filtro 	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar información referente a la remoción de metales pesados • El medio filtrante se escogió de acuerdo a la información revisada • El caudal se halló por el método volumétrico. • Los materiales se adquirieron y se transporto hasta el lugar de la implementación. • El diseño fue realizado luego de calcular los parámetros del mismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Medios filtrantes • Diseño del filtro • Caudal de diseño • Documentos revisados

OBJETIVO 2	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	MEDIO DE VERIFICACIÓN
<p>Determinar la eficiencia del filtro para remover arsénico presente en el agua de uso agrícola.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el flujo de agua a través del filtro y realizar pruebas de funcionamiento para asegurarte de que el filtro esté operando correctamente. • Muestrear afluente (ingreso) y efluente (salida) del filtro • Análisis de laboratorio del agua de los siguientes parámetros: • pH • OD mg/l • Tds mg/l • Arsénico mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> • Las pruebas de funcionamiento determinaron los ajustes ejecutados. • El muestreo de afluente y efluente para el análisis de los parámetros mencionados determinan la eficiencia del filtro. • Capacidad de remoción de arsénico en agua se calcula mediante las ecuaciones revisadas. • El caudal después del filtro se calcula por el método volumétrico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados análisis de laboratorio • Porcentaje de eficiencia del filtro • Tablas • Gráfico de líneas • Libreta de campo • Fotografía • Cálculos realizados

OBJETIVO 3	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Realizar una estimación de costo de construcción e implementación del filtro.	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener cotizaciones de materiales. • Listar todos los materiales necesarios para la construcción del filtro • Adicionar todos los costos de los materiales 	<ul style="list-style-type: none"> • Enlistar los materiales necesarios y buscar proveedores y realizar cotizaciones. • Adquirir los materiales y sumar los precios para obtener el valor total de la implementación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facturas • Notas de venta • Sumatoria de costos

Elaborado por: (Naula, 2024)

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1 Calidad de agua de riego

El agua de riego es aquella que se aplican a través de distintos métodos en los cultivos, tiene la finalidad de abastecer las necesidades hídricas de los cultivos cuando el agua de lluvia es escasa, lo que permite el desarrollo de los mismos (Icarranco, 2024).

La calidad del agua de riego se determina a partir a la composición física y química del agua utilizada en la irrigación. Esta composición puede influir en el desarrollo de las plantas, la estructura del suelo y el funcionamiento del sistema de riego.(Sela, 2019)

7.2 Parámetros de calidad de agua de riego

Los criterios de calidad del agua de riego difieren significativamente de los criterios utilizados para el agua potable. Además, estos criterios pueden variar entre cultivos, ya que diferentes plantas tienen distintas susceptibilidades a los niveles de ciertos minerales o propiedades del agua (Sela, 2019).

Tabla 2. Parámetros de calidad de agua monitoreados en la investigación

Parámetros de calidad para agua de riego				
Parámetro	Unidades	Grado de restricción		
		Ninguno	Ligero- Moderado	Severo
Ph	rango normal		6,5-8,4	
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L			< 4 mg/L
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	0,7	0,7-3,0	
Sólidos totales disueltos (TDS)	mg/L		400-200	
Arsénico	mg/L			> 0,1 mg/L

Fuentes: Anexo 1 del libro vi del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Elaborado por: (Naula, 2024)

7.2.1 El pH del agua

La mediad de pH indica la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala del pH va del 1 al 14, la medida neutral del agua es 7. Por lo tanto, un pH mayor a 7 indica un agua alcalina. Otro punto importante es que, si el pH está por debajo de 7, señala que es un agua ácida. El rango ideal del agua de riego es entre 6,5 y 7,5. Para el cultivo es difícil absorber los

nutrientes con un pH mayor a 7, porque estos se insolubilizan y quedan bloqueados en el suelo. Por otra parte, al regar agua con niveles de pH por debajo de 7 el agua es muy ácida, dañan las raíces de las plantas, el suelo se vuelve tóxico y, dado que el agua se disuelve y filtra más rápido, el cultivo no alcanza a absorber los nutrientes (Agro, 2022).

7.2.2 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno que está disuelto en el agua es esencial para los riachuelos y lagos saludables (Pena Pulla & Chang Gómez, 2009). La concentración de oxígeno disuelto indicador de su calidad y capacidad de sustentar la vida vegetal y animal, un nivel más alto de oxígeno disuelto revela agua de mejor calidad (Cárdenas et al., 2019).

La temperatura influye sobre la concentración de OD, el agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua caliente (P. Rodríguez, 2011). El título C de la resolución, rige el valor para oxígeno disuelto para una fuente de agua aceptable debe ser mayor o igual a 4,0 mg/L.

7.2.3 Sólidos totales disueltos (TDS)

TDS es una medida del número de sustancias disueltas en el agua, el origen de este material puede ser orgánico o inorgánico ya sea en aguas superficiales o subterráneas (Fondriest, 2020). La concentración de sólidos se da por la existencia de gases, minerales, descomposición de compuestos orgánicos, químicos que proveen de color, olor, sabor (corrosivo, salado o salobre) y por ende toxicidad (Guevara & Suntaxi, 2020)

De acuerdo a la normativa (TULSMA, 2003) los niveles de TDS deben estar en un rango de entre 400 y 2000 mg/L. Los niveles de TDS por encima de unos 2.000 mg/L son muy propensos a causar problemas de crecimiento de las plantas (Swistock, 2024).

7.2.4 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica evalúa la corriente eléctrica que transportan las sustancias disueltas en el agua. La conductividad también suele denominarse "sales solubles" o "salinidad". Entre más sale se disuelven, la capacidad de conducir electricidad del agua aumenta, lo que da lugar a una lectura de conductividad más alta.

La conductividad suele valorarse en miliohms por centímetro (mohms/cm) o miliSiemens por centímetro (mS/cm), estas unidades son de igual valor. Los niveles elevados de conductividad en el agua pueden dañar los medios de crecimiento y la función de enraizamiento, lo que

provoca desequilibrios de nutrientes y problemas de absorción de agua. La conductividad del agua limpia típica es de 0 a 0,6 mohms/cm (Swistock, 2024).

7.2.5 Arsénico

El arsénico es un elemento químico cuyo símbolo es As de color blanco-plateado cristalino y semimetálico (Trujillo, 2023). El As se encuentran generalmente en la corteza terrestre, agua y aire por lo que pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas (Mancilla-Villa et al., 2012)

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Ecuador (TULSMA), el límite permisible de arsénico en el agua destinada al riego agrícola es de 0,1 mg/L (100 µg/L). Esta regulación está establecida para asegurar la calidad del agua utilizada en actividades agrícolas y proteger tanto el medio ambiente como la salud humana.

El arsénico es considerado como toxico y cancerígeno ambiental muy peligroso, ya que este elemento se absorbe por las raíces de las plantas, es transportado y adherido a sus órganos estructurales. Luego este metal pasa al ser humano cuando son ingeridos como alimento, lo que provoca serios problemas de salud (Bayona Penagos, 2020).

7.3 Filtración

La filtración elimina las impurezas y contaminantes del agua, obteniendo agua segura y apta para sus diversas aplicaciones, la filtración actúa haciendo pasar el agua a través de varios medios de filtración o procesos que eliminan o reducen física, química o biológicamente las sustancias no deseadas (*GC Tratamiento en LinkedIn: filtración -suavización*, 2024)

7.4 Filtros para mejorar calidad de agua

Para mejorar la calidad del agua de riego se puede utilizar sistemas de filtración para riego. Al implementar el filtro reduce partículas suspendidas en el agua como, sedimentos y microorganismos que puedan afectar la calidad del agua. Los filtros pueden ser de arena, de mallas, de anillas metálicos manuales, de anillas plásticos manuales entre otros («La Calidad del Agua de Riego», 2023).

Los filtros de agua de riego asegura el abastecimiento libre de contaminantes a los cultivos, esto contribuye así al éxito y la productividad de las operaciones agrícolas (Ari, 2023). Su función principal es eliminar contaminantes, sedimentos y residuos de las fuentes de agua. El proceso

comienza con la captación de agua de diversas fuentes, que pueden contener impurezas que van desde grandes desechos hasta organismos microscópico (Drori, 2024)

Existen sistemas avanzados que incorporan filtración química o biológica para tratar contaminantes específicos haciendo que el agua de irrigación sea de óptima calidad, promoviendo un crecimiento vegetal saludable y reduciendo los riesgos asociados a las impurezas. (Drori, 2024)

7.5 Tipos de medios filtrantes

Un medio filtrante es cualquier elemento colocado en un filtro que cambia la calidad del agua que lo atraviesa. Con la variedad de medios disponibles, se puede escoger tipos específicos para crear un entorno ideal para su aplicación (Warden Media, 2020)

Se diferencian 3 tipos de medios filtrantes

7.5.1 *Biológico*

Los medios biológicos están constituidos por elementos inertes propicio para bacterias benéficas que descomponen sólidos disueltos de manera menos tóxica. Este medio no debería reemplazarse hasta este se obstruya para funcionar.(Warden Media, 2020)

7.5.2 *Mecánico*

Es la filtración básica en la que todos inicialmente pensamos. Consiste en retener físicamente todas las partículas, grandes y pequeñas, que se encuentran en suspensión en el agua.(«Filtración mecánica, química y biológica | Zootecniadomestica.com», 2015).

7.5.3 *Químico*

La filtración química es la encargada de retirar los elementos y compuestos no deseados que se encuentran disueltos en el agua, así como añadir otros que pueden ser necesarios para acondicionarla (Warden Media, 2020).

7.6 Materiales filtrantes

7.6.1 *Piedra Caliza*

La piedra caliza es una roca que contiene 50% de carbonato de calcio en forma de calcita. Todas las calizas contienen un mínimo porcentaje de otros materiales (geotecnia, 2021).

Las especificaciones de este material obedecen a sus características físicas y químicas. Las propiedades físicas son importantes en la utilización directa del material como agregado de

construcción, debido a su resistencia al impacto y a la abrasión, forma y porosidad además, es neutralizante ya que anula las propiedades de los ácidos. (Guerra & Acevedo, 2005)

7.6.2 Zeolita

La Zeolita natural es un grupo de minerales que pertenecen a los aluminosilicatos cristalinos microporosos («Zeolita Natural», 2020), que permiten absorber agua y otros cationes rellenando así los microporos. Tienen una alta capacidad de intercambio catiónico facilitando la adsorción de moléculas de agua, amonio e iones de metales pesados (*Zeolita Natural | Desecante. Captador de contaminantes - Sercalia*, 2023).

La zeolita se utiliza en sistemas de filtración, su estructura porosa atrapa contaminantes como metales pesados, proporcionando agua más segura y limpia (*Zeonatec*, 2023). Este hecho hace que la zeolita se utilice para diversas aplicaciones naturales relacionadas con la agricultura, la nutrición animal, la depuración de aguas, entre otras aplicaciones (*Zeolita Natural | Desecante. Captador de contaminantes - Sercalia*, 2023)

Ensayos demuestran con 500 gramos de zeolita, colocado en la parte inferior al relave, fue el más eficiente para la absorción de metales pesados, con resultados de remoción de 51% en arsénico (Feijoo Calle & Luna, 2024).

7.6.3 Tela filtrante

La tela de filtro se utiliza para que el agua fluya mientras evitan el movimiento de las partículas, la elección de la tela filtrante adecuada para sus necesidades específicas depende de varios elementos, como flujo del afluente, si el proceso es continuo o discontinuo, el tipo y el tamaño de las partículas sólidas y las características del agua (*Geofantex*, 2023).

7.7 Parámetros de diseño de filtro multicapa

7.7.1 Localización

La localización del filtro debe proyectarse de manera que ofrezca una buena visibilidad al operador (Calderón et al., 2000).

7.7.2 Caudal de diseño

Para determinar el caudal se debe recolectar un volumen medido en un envase previamente calibrado, durante un tiempo definido, se debe tener un cronómetro, que lo activará cuando se ingrese el recipiente y lo detendrá cuando se llegue al volumen aforado. Y, así repetirlo por 3

veces, anotando el volumen de agua y los tiempos (*Conoce cómo realizar la medición de caudal*, 2023)

El caudal es el resultado del residuo del volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo transcurrido en recolectar dicho volumen, utilizando la Ecuación 1:

Ecuación 1. Caudal de diseño

$$Q(l/s) = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q = Caudal (litros/segundo)

V= Volumen de balde (litros)

T= Tiempo de demora en llenarse

7.7.3 Área del filtro

El área del filtro se calcula mediante la Ecuación 2, conociendo anteriormente el caudal de diseño y la velocidad de filtración:

Ecuación 2. Área del filtro

$$A = \frac{QD}{V_f}$$

Fuente: (Calderón et al., 2000)

Donde:

A= Área del filtro.

QD= Caudal de diseño, m³/día.

V_f= Velocidad de filtración, m/día.

7.7.4 Altura del filtro

El RAS Título C indica que la altura del lecho filtrante para filtros rápidos es de 0,6-1,8m, además, la altura del agua sobre las capas del medio filtrante puede ser variable o constante, según el tipo de control que se use, pero el filtro en ningún momento debe trabajar seco.

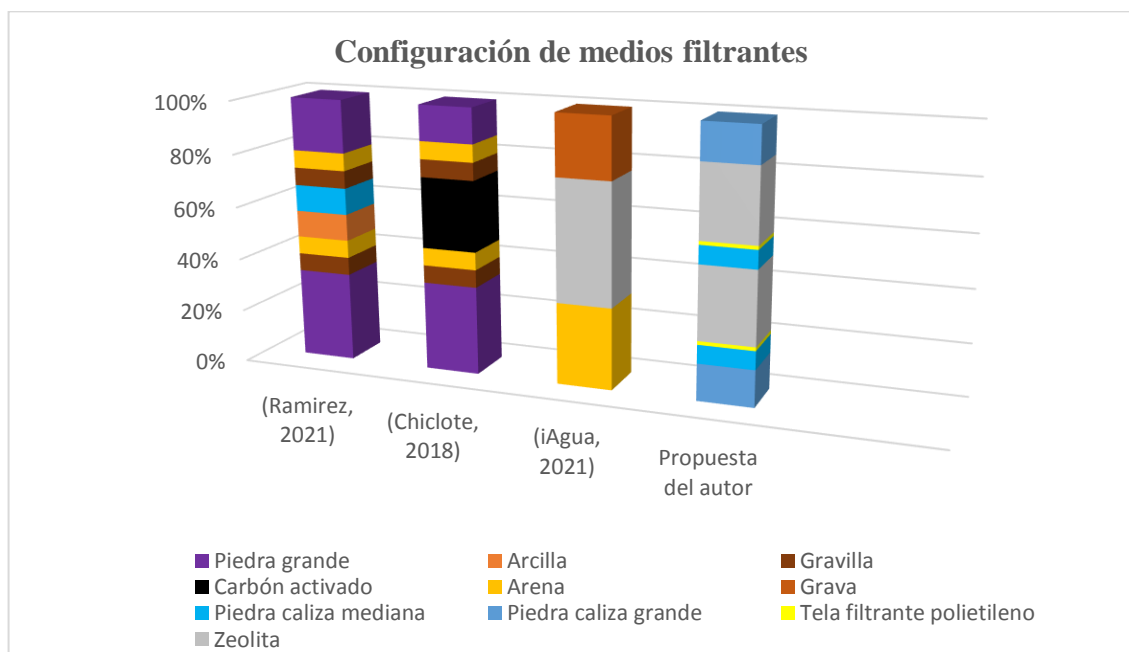
7.7.5 Configuración del medio filtrante

Existen varios diseños de filtros cada uno con diferente aplicación, entre ellos el filtro multicapa, el medio filtrante se ubica de acuerdo al tamaño de partículas que se busca retener («Filtro de lecho profundo o multimedia de grava, antracita», 2023)

La configuración del lecho filtrante se debe adaptar al uso final del agua, considerando la calidad requerida, tipo y concentración de contaminantes, caudal y volumen de agua, y disponibilidad y costo de los medios filtrantes.

A continuación, se muestra una serie de configuraciones del lecho filtrante de distintos autores con diferentes materiales, a partir de estas referencias se hace una propuesta de una distribución de los medios filtrantes que se utilizaran en el filtro implementado.

Gráfico 1. *Propuestas de configuración de medios filtrantes.*



Elaborado: Naula, 2024

7.7.6 Control de flujo

Debe emplearse un controlador variable que mantenga una pérdida de carga total constante al abrirse gradualmente la válvula, a medida que el filtro se colmata requiere medida de la pérdida de carga (Calderón et al., 2000). Este filtro es de filtración rápida con flujo descendente.

7.8 Monitoreo de calidad física y química de afluente y efluente

Las características fisicoquímicas deben determinarse, ya que afectan el comportamiento de los filtros. Debe determinarse la turbiedad, presencia de metales pesados, el pH entre otros parámetros (Calderón et al., 2000).

7.9 Determinación de la eficiencia

La eficiencia de filtración se obtiene a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 3. *Porcentaje de eficiencia del filtro*

$$Eficiencia(\%) = \left(\frac{Turbiedad (afluente) - Turbiedad (efluente)}{Turbiedad (afluente)} \right) \times 100$$

Fuente: (Calderón et al., 2000)

8. PREGUNTA CIENTIFICA

¿Es posible remover el arsénico del agua de uso en agrícola utilizando un filtro de capas a escala en la Junta de Agua de Riego Tiliche San José?

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1 Tipos de investigación

9.1.1 *Investigación bibliográfica*

Implica examinar la documentación bibliográfica disponible sobre el tema de investigación, este proceso constituye uno de los pasos fundamentales en esta investigación, involucrando la elección de fuentes de información sobre el arsénico en el agua de uso agrícola y como remover este metal mediante filtros con el propósito de obtener los fundamentos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

9.1.2 *Investigación estadística*

Es un proceso donde se utilizará variables y métodos estadísticos que den información para interpretar y analizar datos de la concentración de arsénico removido mediante el filtro multicapa en la Junta de Agua de Riego Tiliche San José.

9.2 Métodos de investigación

9.2.1 Científico

La investigación del proyecto está basada en normas, técnicas para la estructuración del marco teórico aportando nuevos conocimientos para desarrollar las metodologías para diseñar e implementar el filtro para remover contaminantes del agua de riego.

9.2.2 Inductivo

Este método se utilizó en la presente investigación para encontrar una metodología de elaborar un filtro que logre remover el arsénico presente en el agua destinada al riego y un análisis del agua filtrada como medios de verificación para observaciones y conclusiones concretas.

9.2.3 Deductivo

Este método fue empleado con la intención de comenzar con aspectos generales para luego proporcionar explicaciones detalladas sobre los parámetros de diseño de un filtro multicapa, la elección y configuración del material filtrante.

Instrumentos de investigación

9.2.4 Cuaderno de campo

Se recolecto información sobre los procesos implicados para la parte estadística de la investigación, utilizándolo como un receptor de información.

9.2.5 Gestores bibliográficos

Son herramientas que almacenan las referencias bibliográficas de las bases de datos de revistas científicas, libros o investigaciones de titulación que permitirán organizar las citas y la bibliografía utilizada en esta investigación.

9.2.6 Tablas

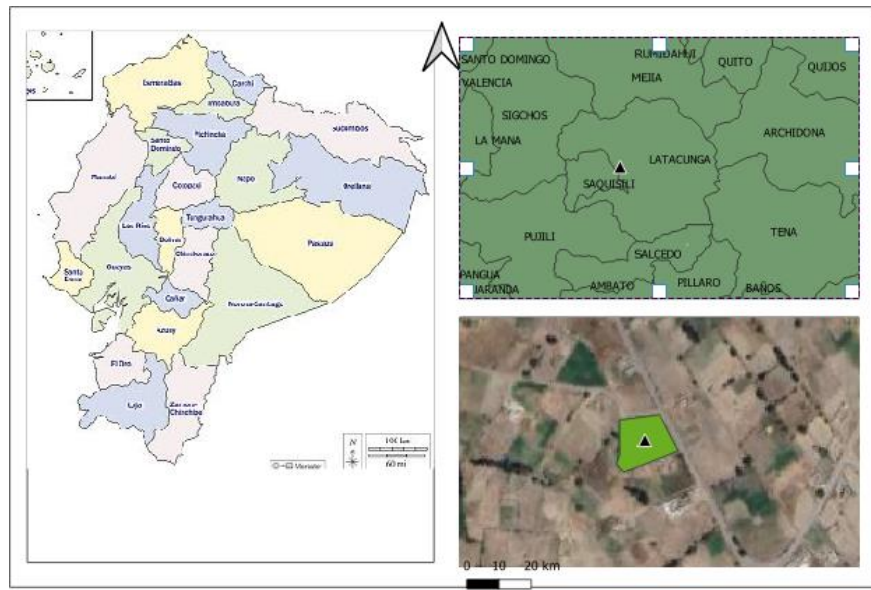
Se utilizaron tablas para el análisis e interpretación de resultados para tomar decisiones y obtener conclusiones verídicas.

9.3 Área de estudio

En proyecto está ubicado en la Parroquia rural de Tanicuchi se encuentra ubicada en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi sus límites son: Al Norte: Parroquia Pastocalle Sur: Parroquia Guaytacama Este: Parroquia Mulaló y Joséguango Bajo Oeste: Parroquia Toacaso. En las coordenadas UTM X: 0762870 Y: 9913597, a una altura que comprende desde los 2.920 hasta

4.040 msnm, cuenta con una extensión de 5331,28 Ha, con un alrededor de 15447 habitantes (PDOT – GAD Parroquial Tanicuchi, 2022)

Figura 1. Mapa del área de estudio



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 3. Antecedentes de estudios que indican presencia de arsénico en agua de riego de la Junta Tiliche San José

Parámetros	Unidades	Normativa TULSMA	Puntos de muestreo		
			Boca Toma	Ramal 1	Reservorio
Arsénico	mg/l	0,1	2,77	3,54	1,41

Fuente: (Tipán Mise, 2024)

9.4 Diseño del filtro multicapa

9.4.1 Localización

De acuerdo a la literatura el filtro se ubicó en un lugar visible para el operador del filtro y en un área libre que evite obstaculizar. Específicamente junto a la llave de paso de ingreso del agua al área de riego.

9.4.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño para el filtro se halló mediante el método volumétrico.

- **Materiales**

- Recipiente de 10 litros

- Cronometro

- Libreta de campo

- **Procedimiento**

1. Colocar la salida de la manguera en el recipiente con capacidad de 10 litros.
2. Habilitar la llave de paso y aforar el recipiente, registrar el tiempo que tardo
3. Realizar 3 repeticiones del procedimiento.
4. Calcular el caudal mediante la siguiente Ecuación 1.

$$Q \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{10 \text{ litros}}{8 \text{ segundos}} = 1,25 \text{ lt/s}$$

Foto 1. Método volumétrico



El riego se realiza pasando un día con una duración de 12 horas por turno por ende el consumo de agua por día es de 54000 litros/día o expresado como $54m^3/día$.

9.4.3 Área del filtro

El área del filtro se calcula con la ecuación 2 conociendo anteriormente el caudal de diseño y la velocidad de filtración se consideró 300 m/h para filtros rápidos según el RAS 2000 título C.

$$A = \frac{QD}{V_f}$$

$$A = \frac{54m^3/d}{300 \text{ m/h}} = 0,18 \text{ m}^2 \gg 0,2m^2$$

9.4.4 Altura del filtro

Fundamentado en el RAS se asumió una profundidad del 0,70m y 0,30m de altura del agua sobre lecho filtrante ya que en ningún momento el filtro debe trabajar seco. De acuerdo la estratificación del material filtrante y el espacio libre obtenemos una altura total de 1m.

9.4.5 Diámetro del filtro

El área del filtro es $0,2m^2$ con este dato se calcula el diámetro caja del filtro que es de forma cilíndrica.

Ecuación 4. *Diámetro del filtro*

$$A = \pi r^2$$

Despejamos r (radio)

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,2m^2}{\pi}}$$

$$r = 0,25 \text{ m} \gg d = 0,5 \text{ m}$$

9.4.6 Volumen del filtro

El volumen del filtro se encuentra mediante la ecuación:

Ecuación 5. *Volumen del filtro*

$$V = Ab * h$$

$$V = 0,2m^2 * 1m$$

$$V = 0,2m^3 \gg 200lt$$

9.5 Caja de filtración

Para construir la caja del filtro se empleó un tanque plástico azul con tapa y seguro de aro metálico con una capacidad de 200 litros, para el ingreso y salida se acopló un adaptador para tanque tipo unión de 3/4 pulgada y 2 adaptadores unión rosca 3/4”.

Foto 2. Caja de filtración

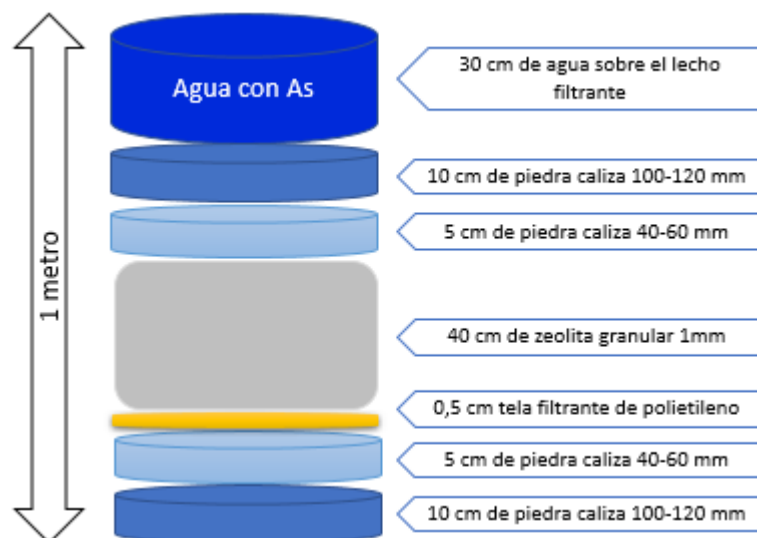


9.6 Configuración del medio filtrante

9.6.1 I Configuración del medio filtrante

Se revisó configuraciones de lechos filtrantes con diversos materiales, en base a estas referencias se propone la disposición del material filtrante en el filtro implementado en el usuario de la Junta Tiliche San José.

Figura 2. I Distribución de medio filtrante



Elaborado: Naula, 2024

Tabla 4. I Distribución del medio filtrante

Material	Tamaño de capa (cm)	%
Piedra caliza grande	10	14.3
Piedra caliza mediana	5	7.0
Tela filtrante polietileno	0.5	0.7
Zeolita	40	57
Piedra caliza mediana	5	7.0
Piedra caliza grande	10	14.3
Total	70	100

9.6.2 II Configuración del medio filtrante

Luego de realizar las pruebas de funcionamiento y determinar la eficiencia del primer diseño, se propone el segundo diseño y se realiza ciertos ajustes.

Figura 3. II Distribución del medio filtrante

Elaborado: Naula, 2024

Tabla 5. II Distribución de material por tamaño de capa

Material	Tamaño de capa (cm)	%
Piedra caliza grande	10	14.3
Piedra caliza mediana	5	7.1
Tela filtrante polietileno	0,5	0.7
Zeolita	20	28.6
Piedra caliza mediana	5	7.1
Tela filtrante polietileno	0,5	0.7
Zeolita	20	28.6
Piedra caliza grande	9	12.9
Total	70	100

Elaborado: Naula, 2024

9.6.3 Control de flujo

El tipo de filtración es rápida, directa de flujo descendente, para el control de flujo se utilizó la llave de paso ubicada en la salida del ramal y como controlador de pérdida de carga se utilizó la tela de polietileno que incrementa el tiempo de retención a través de filtro.

En el segundo diseño la capa de 40 cm de zeolita fue dividida en 2 capas de 20cm además fue añadida una capa extra de tela filtrante de polietileno

9.7 Implementación

Se utilizó un filtro multicapa para la caja de filtración se utilizó un tanque plástico con una capacidad de 200 litros que contiene como medio filtrante diferentes capas de zeolita, carbón activado, piedra caliza que tiene la capacidad de filtrar 54m³/d. Una vez implementado el filtro se realizó las pruebas de funcionamiento y sus respectivos ajustes.

9.7.1 I Implementación

El filtro se implementó en base al I diseño, en el lote que riego con el agua perteneciente a la Junta Tiliche San José.

- **Materiales**

- Caja de filtro
- 40 lb de zeolita granular
- 1 bulto de piedra caliza grande 100-120mm
- 1 bulto de piedra caliza mediana 20-60mm

- **Procedimiento**

1. Primero se agrega 10cm de piedra caliza grande 100-120mm
2. Se añade 5 cm de piedra caliza mediana. 20-60 mm
3. Luego se agrega la tela filtrante de polietileno esta nos ayudara a que haya mayor tiempo de retención y se logre un mayor contacto del agua con el medio filtrante.
4. Después se añadió 40 cm de zeolita granular 1mm
5. Se ubica 5cm de piedra caliza mediana.
6. Por último, agregamos 10 cm de piedra caliza grande

Foto 3. Procedimiento de distribución de medio filtrante



Fuente: (Naula, 2024)

9.7.2 II Implementación

El filtro se implementó a partir del II diseño realizado, en un lote perteneciente a la Junta de agua de riego Tiliche San José para ello se preparó la entrada, salida del filtro y la distribución de las capas del lecho filtrante

- **Materiales**

- Caja de filtro
- 40 lb de zeolita granular
- 1 bulto de piedra caliza grande 100-120mm
- 1 bulto de piedra caliza mediana 20-60mm

- **Procedimiento**

1. Primero se agrega 10cm de piedra caliza grande 100-120mm
2. Se añade 5 cm de piedra caliza mediana. 20-60 mm
3. Luego se agrega la tela filtrante de polietileno esta nos ayudara a que haya mayor tiempo de retención y se logre un mayor contacto del agua con el medio filtrante.
4. Después se añadió 20 cm de zeolita granular 1mm
5. Se ubica 5cm de piedra caliza mediana.
6. Seguido a esto se coloca la segunda tela.
7. Se ubica otra capa de zeolita de 20cm
8. Por último, agregamos 10 cm de piedra caliza grande

Foto 4. Procedimiento de distribución de medio filtrante



Fuente: (Naula, 2024)

9.8 Determinación de la eficiencia del filtro

9.8.1 Obtención de muestras de agua

Se realizó un muestreo simple que consiste en tomar las muestras de un lugar específico para luego ser enviadas y analizadas por la técnica de la espectrofotometría de absorción atómica indicada por el laboratorio.

Se recolectó 24 muestras en total de las cuales 12 son antes de ingresar al filtro y 12 muestras son filtradas, estas muestras se obtuvieron con un intervalo de tiempo de 50 minutos cada uno.

- **Materiales**

- 24 frascos de 1000ml
- Etiquetas
- Cinta adhesiva
- Cooler

Procedimiento

1. Llenar la caja de filtro y controlar que el afluente y efluente mantengan el mismo caudal.
2. Esperamos 50 minutos y se toma la primera muestra de ingreso y salida.
3. El frasco debe ser de un solo uso y debe ser enjuagado 3 veces antes de recolectar la muestra.
4. La muestra recolectada debe ser etiquetada y llevada al cooler para su conservación.

Foto 5. Muestras de afluente y efluente.



Fuente: (Naula, 2024)

9.8.2 Espectroscopia UV-Vis

Para determinar la concentración de As en agua se utilizó espectroscopia UV-Vis, la preparación de la curva de calibración se utilizó una solución patrón de arsénico de 1000 ppm a partir de la cual se prepararon patrones de las siguientes concentraciones:

0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 ppm

Procedimiento

1. Se tomaron 2 ml de muestra previamente digestada y se llevó a un volumen de 50 ml
2. Se añadieron dos gotas de metil naranja y luego se neutralizó con hidróxido de amonio diluido hasta coloración amarilla
3. Se añade 10 ml de ácido clorhídrico diluido hasta que tome una coloración roja
4. Se calienta a 50 °C y se añade 5 ml de molibdato de amonio
5. Finalmente se añade 2 ml de sulfato de hidracina y se mantiene en baño caliente por 15 minutos y se afora a 100 ml
6. Se tratan los patrones igual que a la muestra. Se mide la absorbancia en espectrofotómetro UV Genesis a una longitud de onda de 660 nm, se realizan los cálculos respectivos y se reporta en mg/L

9.9 Calidad fisicoquímica del afluente

Se recolecto 12 muestras antes de que ingrese al filtro con un intervalo de 50 minutos por muestra, la recolección fue dividida en 6 muestras por día en dos días diferentes de acuerdo al turno de agua de la Junta Tiliche San José, las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio de agua en la Universidad Técnica de Cotopaxi donde se realizó la evaluación de 4 parámetros calidad con el equipo multiparámetros HANNA HI98194 pH/EC/DO Multiparameter.

Foto 6. Monitoreo de calidad física-química de calidad de agua.



Fuente: (Naula, 2024)

9.10 Calidad fisicoquímica del efluente

Se recolecto 12 muestras luego de atravesar el filtro con un intervalo de 50 minutos por muestra, la recolección fue dividida en 6 muestras por día en dos días diferentes de acuerdo al turno de agua de la Junta Tiliche San José, las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio de agua en la Universidad Técnica de Cotopaxi donde se realizó la evaluación de 4 parámetros calidad con el equipo multiparámetros.

Foto 7. Monitoreo de calidad física-química de calidad de agua



9.11 Determinación de la eficiencia del filtro

La eficiencia del filtro de los diferentes parámetros (pH, OD, CE, TDS, As) se determina mediante la Ecuación 1, reemplazando turbiedad por los parámetros señalados.

$$Eficiencia(\%) = \left(\frac{Turbiedad (afluente) - Turbiedad (efluente)}{Turbiedad (afluente)} \right) \times 100$$

Fuente:(Calderón et al., 2000)

9.12 Estudio de calidad de carrera de filtro

Debe estudiarse la evolución de los parámetros del proceso citados anteriormente, en función del tiempo sobre una carrera de filtración. Además, se recomienda controlar la variación de la concentración de metales pesados en el efluente.

9.13 Estadística descriptiva

Estadística descriptiva analiza, resume y presenta los resultados relacionados con un conjunto de datos, comprende tres categorías principales: distribución de frecuencias, medidas de tendencia central y medidas de variabilidad. El uso de la estadística descriptiva permite resumir y presentar un conjunto de datos mediante una combinación de descripciones tabuladas y gráficas. (Ortega, 2021).

9.14 Tipos de estadística descriptiva

9.14.1 Distribución de frecuencias

La distribución de frecuencias agrupa los datos en intervalos para contar cuántas observaciones caen en cada intervalo. Luego, esta información se puede presentar en forma de un histograma, gráfico de líneas o circular, que muestra la frecuencia de cada intervalo. Esto proporciona una imagen visual de cómo se distribuyen los datos (J. Rodríguez, 2023).

9.14.2 Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión, como el rango y la desviación estándar, ofrecen información sobre la variabilidad de los datos. El rango es la diferencia entre el valor más alto y el más bajo, indicando cuán amplia es la dispersión. La desviación estándar mide cuánto se alejan los valores individuales de la media; un valor más alto indica una mayor variabilidad de datos (J. Rodríguez, 2023).

9.14.3 Tendencia central

La tendencia central se refiere al resumen descriptivo de un conjunto de datos utilizando un único valor que refleja el centro de la distribución de los datos. La media es considerada la medida de tendencia central, es el valor medio o más común en un conjunto de datos. La mediana se refiere a la puntuación media de un conjunto de datos en orden ascendente. La moda muestra la puntuación o valor más frecuente en un conjunto de datos (Ortega, 2021).

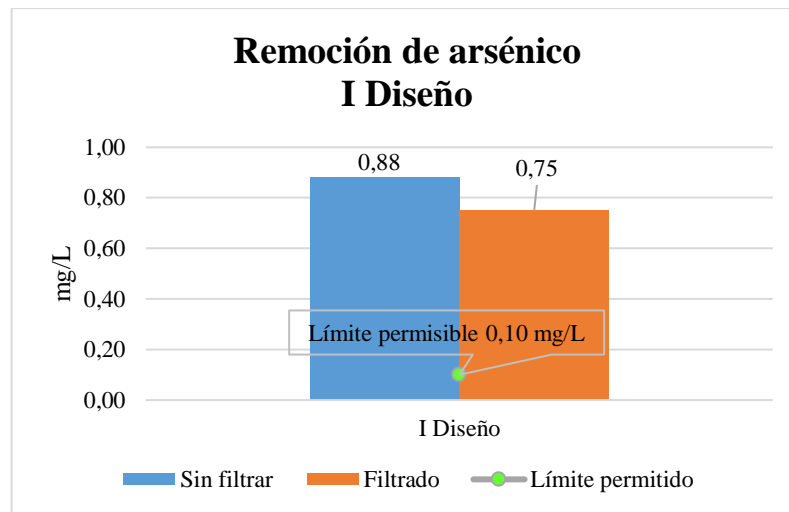
10. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

10.1 Pruebas de funcionamiento I implementación

La gráfica 2 muestra que la concentración inicial del afluente de 0,88 mg/L y luego de atravesar el filtro el efluente tiene una concentración de 0,75 mg/L, reduciendo 0,13 mg/L equivalente a un 14,77% de eficiencia del filtro, si bien hubo una remoción de arsénico no se encuentra dentro

de los parámetros regidos por la normativa ecuatoriana Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

Gráfico 2. Resultados de remoción del I diseño



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 6. Remoción de arsénico del I diseño

Muestras	Arsénico mg/L			Límite permitido
	Sin filtrar	Filtrado	% Remoción	
I Diseño	0,88	0,75	14,77	0,10

Fuente: Resultados de análisis químico del Laboratorio TotalChem

El filtrado no logra alcanzar los límites adecuados, por ello se realiza otra configuración del medio filtrante y se implementa utilizando los mismos materiales y agregando otra capa de tela que permita mayor tiempo de retención.

10.1.1 Caudal de salida

Tabla 7. Cálculo del caudal

Caudal después del filtrado		
Tiempo (seg)	Volumen (L)	Q (L/s)
24	1	0,042
27	1	0,037
25	1	0,040
Q promedio		0,040

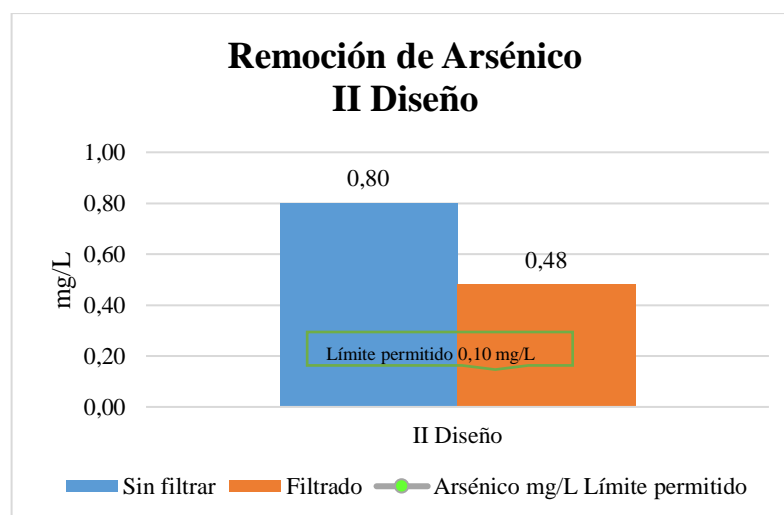
Elaborado por: (Naula, 2024)

El cálculo del caudal señala que el promedio es de 0,040 L/s.

10.2 Pruebas de funcionamiento II implementación

En la gráfica muestra que la concentración inicial del afluente de 0,80 mg/L y luego de atravesar el filtro el efluente tiene una concentración de 0,48 mg/L, reduciendo 0,32 mg/L equivalente a un 40% de eficiencia del filtro para remover arsénico, esta segunda implementación muestra una reducción significativa y todo el proceso de evaluación del filtro se realiza con el prototipo.

Gráfico 3. Resultados de remoción del II diseño



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 8. *Remoción de arsénico del II diseño*

Muestras	Arsénico mg/L			
	Sin filtrar	Filtrado	% Remoción	Límite permitido
II Diseño	0,80	0,48	40,00	0,10

Fuente: Resultados de análisis químico del Laboratorio TotalChem

10.2.1 Caudal de salida

Tabla 9. *Cálculo del caudal*

Caudal después del filtrado		
Tiempo	Volumen	Q
(seg)	(L)	(L/s)
44	1	0,023
43	1	0,023
44	1	0,023
Q promedio		0,023

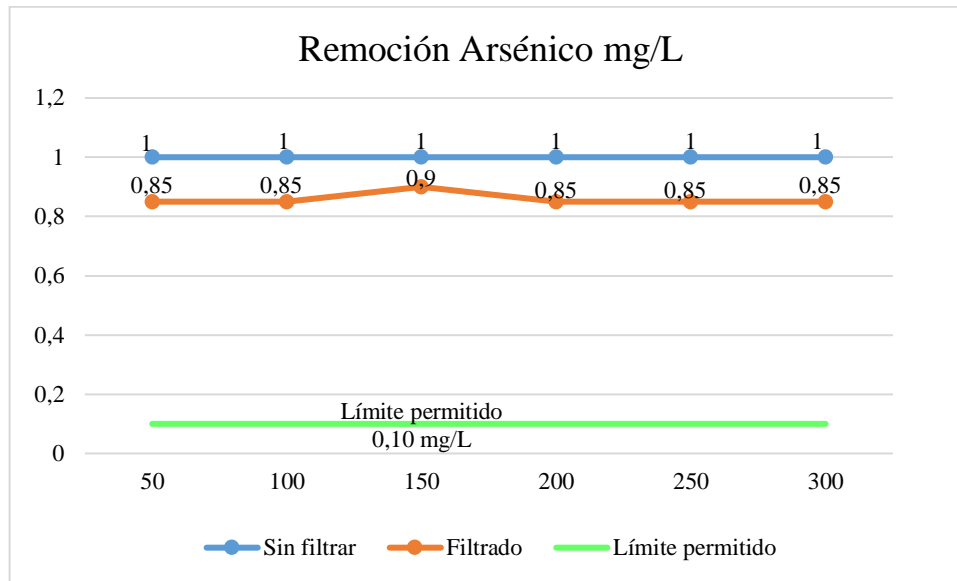
Elaborado por: (Naula, 2024)

El caudal promedio con el segundo diseño fue de 0,023 l/s.

10.3 Determinación de la eficiencia del filtro

10.3.1 Remoción de arsénico

El afluente ingresa al filtro con una concentración inicial y constante de 1 mg/l de agua de riego durante los 300 minutos de filtrado, mientras que el efluente tiene una variación entre 0,85mg/l y 0,90 mg/l lo que indica que durante los 300 minutos de filtrado la remoción de arsénico tiene una mediana del $15 \pm 2,04\%$, lo que evidencia una remoción considerable de la concentración de este metal; sin embargo, esta reducción sigue sobre los rangos máximos permitidos la Norma TULSMAS para calidad de agua riego.

Gráfico 4. Resultados del filtrado del primer día

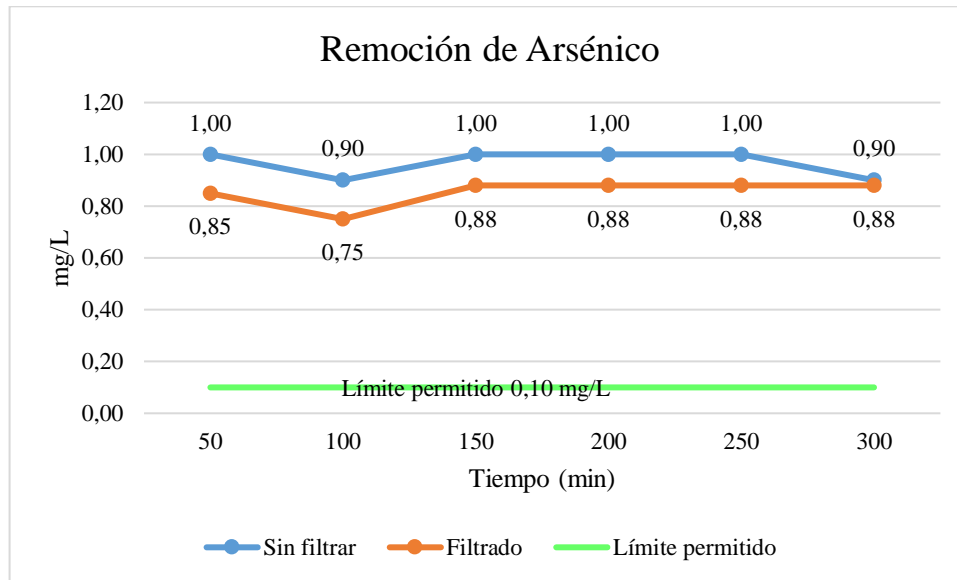
Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 10. Análisis de datos de remoción de As

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	14,17
Error típico	0,83
Mediana	15
Moda	15
Desviación estándar	2,04

Elaborado por: (Naula, 2024)

En la gráfica 5 del segundo día de filtrado el afluente ingresa al filtro con una concentración inicial entre 0,90 mg/l y 1 mg/l durante los 300 minutos de filtrado, mientras que el efluente tiene una variación entre 0,75mg/l y 0,88 mg/l, durante los 300 minutos de filtrado la remoción de arsénico es $12 \pm 5,01$, a los 300 minutos se observa una mínima reducción, debido a que otros minerales y sólidos disueltos totales compiten con el arsénico y afectan la duración del proceso.

Gráfico 5. Resultados del filtrado del primer día.

Elaborado por: (Naula, 2024)

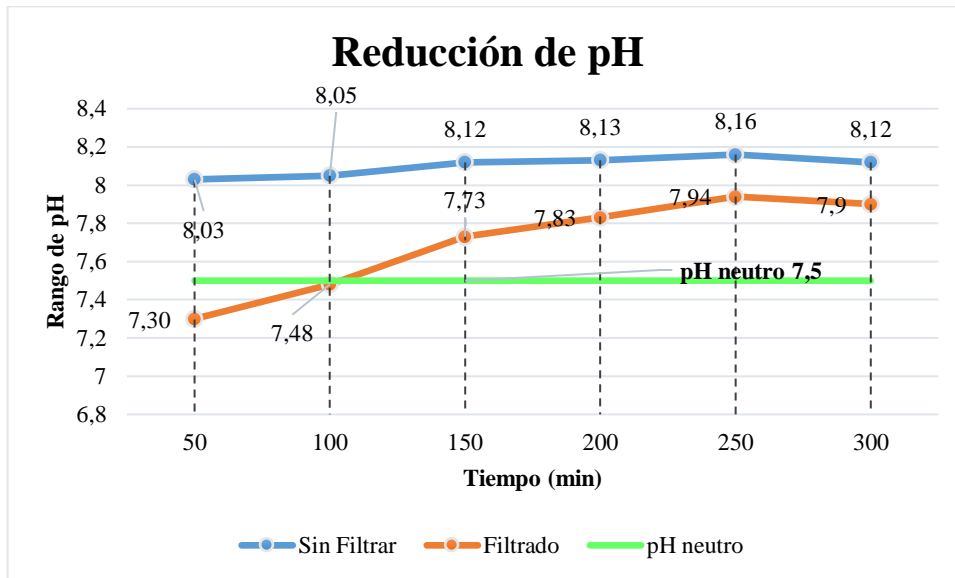
Tabla 11. Análisis de datos remoción de As

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	11,64
Error típico	2,04
Mediana	12
Moda	12
Desviación estándar	5,01

Elaborado por: (Naula, 2024)

10.3.2 Reducción de pH

El pH del afluente es ligeramente alcalino a los 50 minutos tiene 8,03 y a los 250 minutos alcanza el valor más alto de 8.16, luego de atravesar el filtro el efluente tiene un pH neutro de ,.30-7.48, entre los 50-100 minutos de filtrado, posteriormente se incrementa a 7,73-7,94 obteniendo una mediana de $4.24 \pm 2.058\%$ de reducción de unidades de pH ubicándose dentro de los rangos permisibles según la normativa ecuatoriana TULSMA de calidad de agua de riego.

Gráfico 6. Resultados de análisis de pH de afluente y efluente.

Elaborado por: (Naula, 2024)

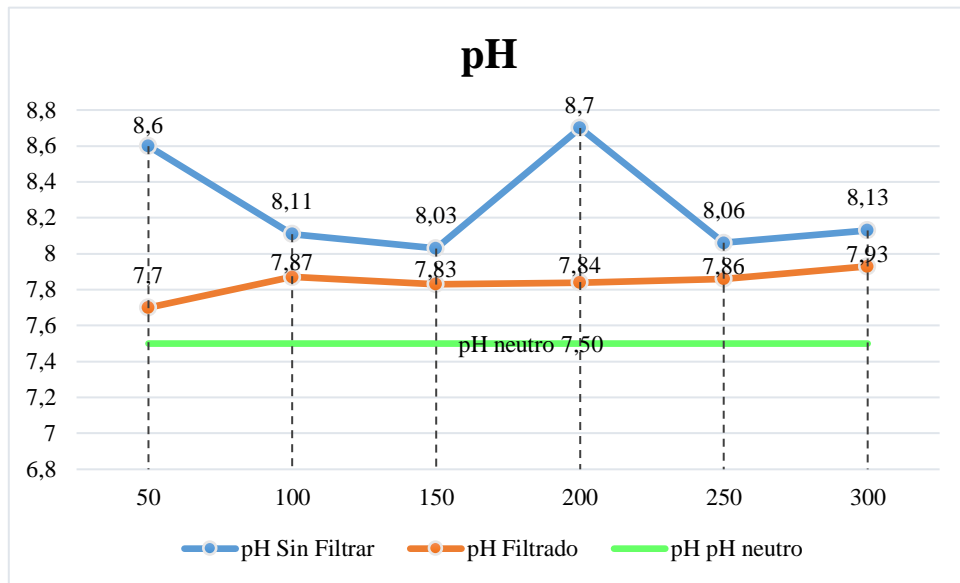
Tabla 12. Análisis de datos reducción de pH

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	5,01
Error típico	1,05
Mediana	4,25
Moda	#N/D
Desviación estándar	2,58

Elaborado por: (Naula, 2024)

En la gráfica 7 del segundo día de filtrado el pH del efluente es ligeramente alcalino y varía entre 8,03-8,7 después de la filtración el pH del afluente se reduce entre a 7,7 -7,93 existe una reducción de $5,12 \pm 2,72\%$, se acercan al valor neutral y siguen dentro de los límites máximos permitidos para agua de riego.

Gráfico 7. Resultados de análisis de pH de afluente y efluente



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 13. Análisis de datos reducción de pH

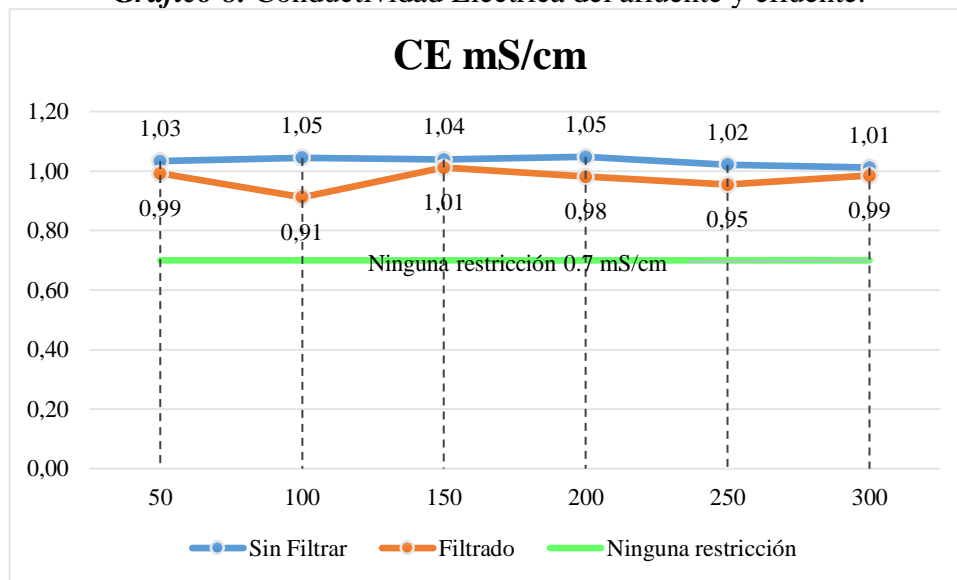
<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	5,12
Error típico	1,60
Mediana	2,72
Moda	#N/D
Desviación estándar	3,92
Varianza de la muestra	15,379142

Elaborado por: (Naula, 2024)

10.3.3 Reducción de la Conductividad Eléctrica

En el gráfico 8 se observa que la CE del agua de ingreso filtrado el valor menor es de 1,01 mS/cm y el más alto es de 1,05 mS/cm, mientras que el efluente presenta mayor reducción a los 100 minutos 0,14 mS/cm y existe menor reducción en el minuto 300 de 0,02 mS/cm. La reducción tiene una mediana de $5,18 \pm 3,81\%$ manteniéndose dentro de los rangos adecuados de calidad de agua de riego.

Gráfico 8. Conductividad Eléctrica del afluente y efluente.



Elaborado por: (Naula, 2024)

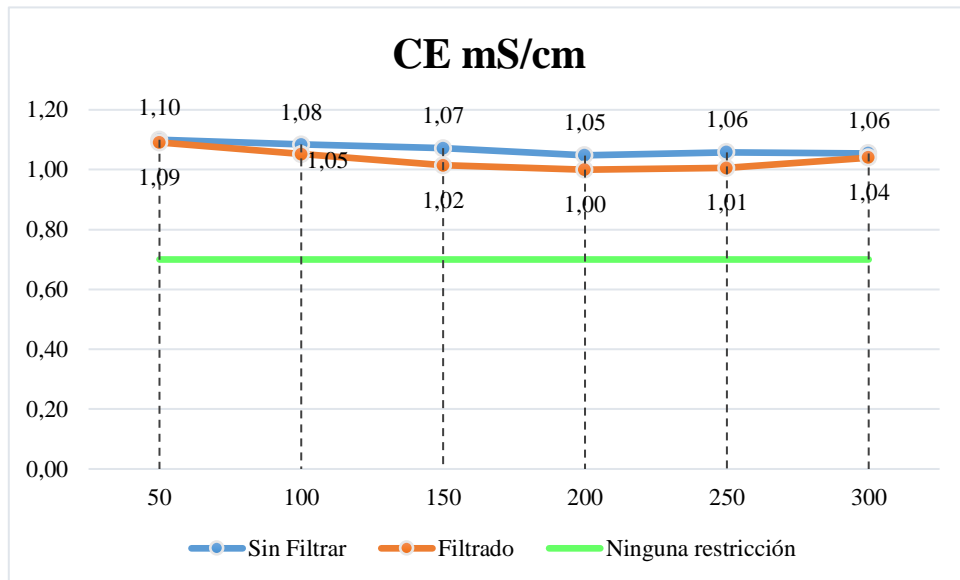
Tabla 14. Análisis de datos reducción de CE

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	5,83
Error típico	1,55
Mediana	5,18
Moda	#N/D
Desviación estándar	3,81

Elaborado por: (Naula, 2024)

En el gráfico 9 se observa que el afluente tiene valores de CE de 1,05-1,10 mS/cm y la reducción en el efluente es de 1,00-1,09, la mediana de esta reducción es de $5,06 \pm 3,69\%$. Existe una reducción mínima pero los valores están de acuerdo a la normativa para agua de riego.

Gráfico 9. Conductividad eléctrica del afluente y efluente



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 15. Análisis de datos de reducción de CE

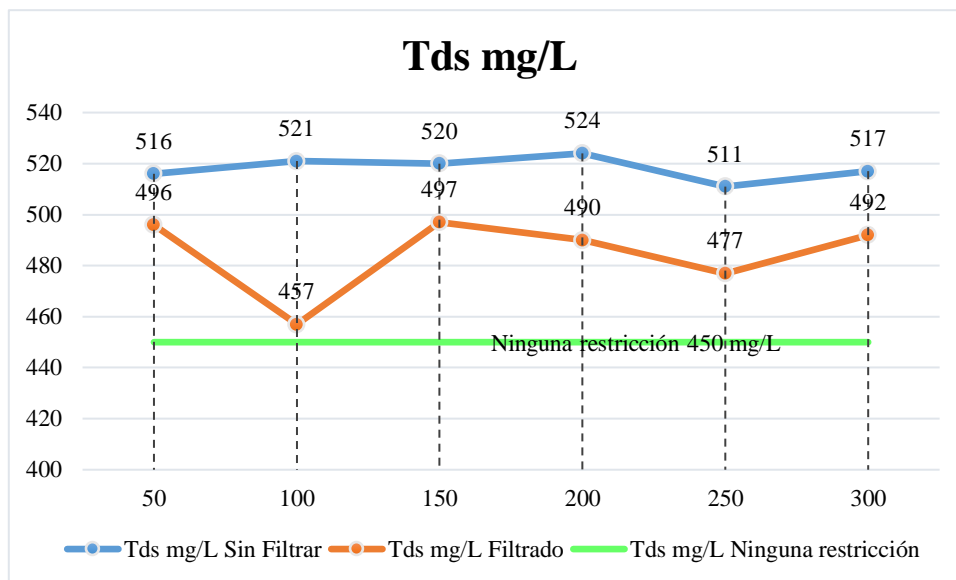
<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	5,65
Error típico	1,51
Mediana	5,06
Moda	#N/D
Desviación estándar	3,69

Elaborado por: (Naula, 2024)

10.3.4 Remoción de Sólidos Disueltos Totales (TDS)

Se observa que el agua sin filtrar tiene entre 511-524 mg/L de sólidos disueltos totales, después de atravesar el filtro se obtienen valores de 457-497 mg/L, la mediana de este decrecimiento es de $5,66 \pm 3,08\%$, esta reducción se acerca a los valores que no tienen restricción, se encuentra en un grado de restricción ligero, pero sigue acorde a los parámetros de la normativa TULSMA

Gráfico 10. TDS del afluente y efluente



Elaborado por: (Naula, 2024)

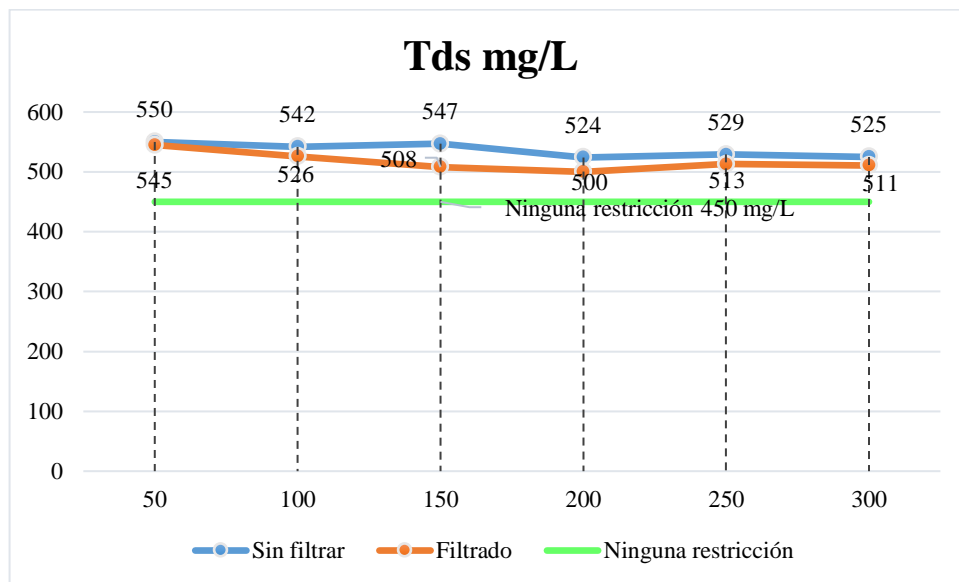
Tabla 16. Análisis de datos de remoción de TDS

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	6,43
Error típico	1,26
Mediana	5,66
Moda	#N/D
Desviación estándar	3,08

Elaborado por: (Naula, 2024)

En el gráfico 11 se observa niveles de TDS en el efluente entre 524-550 mg/L y una remoción mínima del afluente de 500-545 mg/L, estos valores sobrepasan el rango de ninguna restricción pero con el $2,99 \pm 2,11\%$ de remoción sigue dentro de los parámetros de calidad de agua de riego con una restricción ligera.

Gráfico 11. TDS del afluente y efluente



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 17. Análisis de datos de remoción de TDS

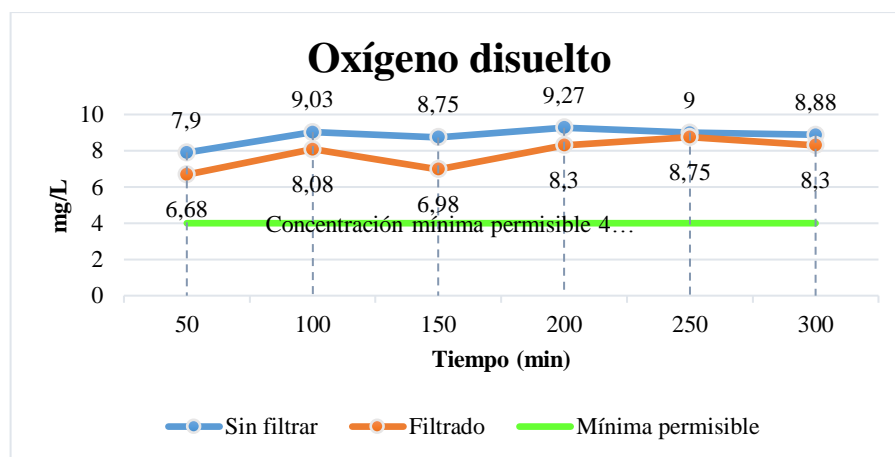
<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	3,54
Error típico	0,86
Mediana	2,99
Moda	#N/D
Desviación estándar	2,11

Elaborado por: (Naula, 2024)

10.3.5 Concentración de oxígeno disuelto

En el gráfico 12 se observa una variación de la concentración de oxígeno disuelto entre 7,9-9,27 para el afluente y se observa un descenso en el efluente con cifras que comprenden de 6,68-8,75 mg/L, la disminución de la concentración de oxígeno disuelto oscila entre $10,49 \pm 6,21\%$, estos valores siguen por encima del límite mínimo están acorde a los parámetros de agua de riego.

Gráfico 12. Oxígeno disuelto del afluente y efluente



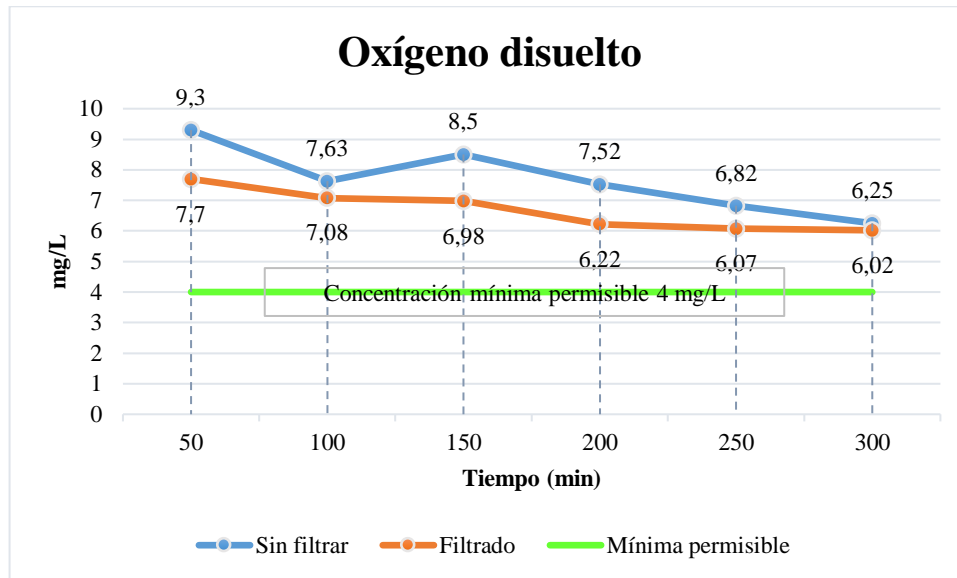
Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 18. Análisis de datos de reducción de oxígeno disuelto

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	3,54
Error típico	0,86
Mediana	2,99
Moda	#N/D
Desviación estándar	2,11

En el gráfico 13 se muestra los valores de concentración de oxígeno disuelto en el agua sin filtrar que van desde 9,3 mg/L hasta 6,25 mg/L, si bien, existe una disminución considerable de $14,10 \pm 6,03\%$ luego del filtrado, pero aún sigue sobre los 4 mg/L estando dentro de los límites permitidos para agua de uso agrícola.

Gráfico 13. Oxígeno disuelto del afluente y efluente



Elaborado por: (Naula, 2024)

Tabla 19. Análisis de datos de reducción de oxígeno disuelto

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	12,38
Error típico	2,46
Mediana	14,10
Moda	#N/D
Desviación estándar	6,03

Elaborado por: (Naula, 2024)

11. ESTIMACIÓN DE COSTO DE CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO

Tabla 20. Precio de materiales utilizados para la implementación

Cantidad	Material	Precio unitario	Sub total
1	Tanque plástico azul de 200 L con tapa y seguro de aro metálico	30	30
2	adaptador para tanque tipo unión de 3/4	3,29	6,58
2	adaptador unión rosca 3/4".	0,33	0,66
2	bultos de piedra caliza	60	120
2	Saco de 21,5 KG -Zeolita	64,4	128,8
2	Tela filtrante polietileno 1,5m	7,5	15,00
	Mano de obra	20	20,00
	Logística	20	20,00
TOTAL			341,04

Elaborado por: (Naula, 2024)

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó un prototipo piloto de filtro multicapa a escala en la Junta de Agua de Riego Tiliche San José, el filtro consta de doble capa de 10 cm con piedra caliza grande, dos capas de 5 cm con piedra caliza mediana, doble capa de 20 cm con zeolita y dos capas de tela de polietileno. Los resultados demostraron que este diseño removió arsénico del agua de uso agrícola de $80 \text{ mg} \cdot \text{lt}^{-1}$ a $48 \text{ mg} \cdot \text{lt}^{-1}$, lo que representa una reducción del 40%
- Se determinó que el filtro diseñado e implementado removió arsénico del agua de riego en $15\% \pm 2,04\%$, mientras que en el segundo monitoreo la remoción fue del $12\% \pm 5,01\%$. Aunque se logró una reducción significativa en los niveles de arsénico, esta aún no cumple con los parámetros establecidos por la normativa TULSMA para la calidad del agua de riego. En cuanto a las propiedades físico-químicas, el pH y el oxígeno disuelto (OD) se mantuvieron dentro de los límites permisibles para el agua de uso agrícola, mientras que la conductividad eléctrica (EC) y los sólidos disueltos totales (TDS) mostraron una ligera restricción.
- Para implementar y construir el filtro se estima un de costo de los materiales de \$301, mano de obra de \$20 y servicio logístico \$20, con un costo total de \$341,04.

12.2 Recomendaciones

- Evaluar por un tiempo más prolongado y estudiar mayor número de muestras para definir el intervalo en que la remoción es eficiente.
- Se sugiere evaluar la carrera del filtro para determinar el tiempo que el proceso es adecuado y planificar un lavado de filtro.
- Agregar más capas de medio filtrante para mejorar la capacidad de remoción del filtro.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía:

Agro, R. (2022, enero 26). Todo sobre el pH del agua para riego. *Rotoplas Agroindustria*.

<https://rotoplas.com.ar/agroindustria/todo-sobre-el-ph-del-agua-para-riego/>

Ari, Z. (2023, noviembre 5). La Ciencia detrás de los Filtros de Agua de Riego: Cómo

Eliminar los Factores de Obstrucción y Mejorar el Rendimiento del Emisor. *Amiad*

Water Systems. [https://es.amiad.com/blog/the-science-behind-irrigation-water-filters-](https://es.amiad.com/blog/the-science-behind-irrigation-water-filters-how-they-remove-clogging-factors-and-improve-emitter-performance-es/)

[how-they-remove-clogging-factors-and-improve-emitter-performance-es/](https://es.amiad.com/blog/the-science-behind-irrigation-water-filters-how-they-remove-clogging-factors-and-improve-emitter-performance-es/)

Bayona Penagos, L. V. (2020). Efecto y mitigación de la toxicidad por arsénico y cadmio en

cultivo de arroz. *Revista Ciencias Agropecuarias (RCA)*, 6(2), 49-70.

Calderón, J. M. S., Cardona, L. F. H., Mustafá, I. F., Castillo, M. C., Méndez, J. M., &

Liévano, A. V. (2000). Presidente de la República. En *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*.

Cardenas, C., Cerrud, R., González, A., & Widney, M. (2019). *Oxígeno disuelto – Demanda*

Bioquímica de Oxígeno. [https://www.studocu.com/latam/document/universidad-](https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-de-panama/mediciones-hidrologicas-y-ambientales/lab-4-nota-97/5501505)

[tecnologica-de-panama/mediciones-hidrologicas-y-ambientales/lab-4-nota-](https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-de-panama/mediciones-hidrologicas-y-ambientales/lab-4-nota-97/5501505)

[97/5501505](https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-de-panama/mediciones-hidrologicas-y-ambientales/lab-4-nota-97/5501505)

Conoce cómo realizar la medición de caudal. (2023, julio 21). SGS. [https://www.sgs.com/es-](https://www.sgs.com/es-pe/noticias/2023/02/como-realizar-medicion-caudal)

[pe/noticias/2023/02/como-realizar-medicion-caudal](https://www.sgs.com/es-pe/noticias/2023/02/como-realizar-medicion-caudal)

Córdova Cunalata, C. D., & Molina Jácome, C. V. (2022). *Evaluación del sistema islas*

flotantes artificiales (ifa) para la remoción de arsénico, a escala real en el reservorio

del proyecto de riego Tiliche San José alto en el periodo 2021 – 2022.

[bachelorThesis, Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].

<http://localhost/handle/27000/8543>

- Drori, J. (2024, febrero 12). Agua Limpia, Cosechas Abundantes: El Impacto de los Filtros de Riego en la Agricultura. *Amiad Water Systems*. <https://es.amiad.com/blog/clean-water-bountiful-harvests-the-impact-of-irrigation-filters-on-agriculture-es/>
- Feijoo Calle, E. P., & Luna, E. (2024). Use of calcium zeolite as an absorption agent for arsenic and lead in mine tailings. *Revista Minerva: Multidisciplinaria de Investigación Científica*, 5(13), 4.
- Filtración mecánica, química y biológica | Zootecniadomestica.com. (2015, marzo 16). *Zootecnia Doméstica*. <https://www.zootecniadomestica.com/filtracion-mecanica-quimica-y-biologica/>
- Filtro de lecho profundo o multimedia de grava, antracita. (2023, mayo 15). *Carbotecnia*. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-lecho-profundo/>
- Fondriest. (2020). *Turbidity, Total Suspended Solids & Water Clarity—Environmental Measurement Systems*. Fondriest. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/?fbclid=IwAR0xmCS-YpZ71omN03feoLpLUM4mAyDC6O3I1ILY3iNkHKFXyayh-2IzoZs>
- GC Tratamiento en LinkedIn: Filtración -suavización*. (2024, julio 22). Linked In. https://es.linkedin.com/posts/gc-tratamiento_filtraci%C3%B3n-suavizaci%C3%B3n-filtraci%C3%B3n-activity-7221144476273065984-36KH
- Geofantex. (2023, agosto 10). Algodón, poliéster, microfibra: ¿Cuál es tu filtro? *Geofantex*. <https://es.geofantex.com/blog/que-es-el-material-de-tela-de-filtro/>
- geotecnia. (2021, marzo 14). *Caliza roca: Descripción, propiedades y características*. [geotecniafacil.com. https://geotecniafacil.com/caliza-roca/](https://geotecniafacil.com/caliza-roca/)

- Guerra, R., & Acevedo, H. (2005). *Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de caliza en la región Metropolitana*.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111195>
- Guevara, L., & Suntaxi, H. (2020). *Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa*.
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/23414>
- Hermosillo-Muñoz, M. C., Valles-Aragón, M. C., Ballinas-Casarrubias, M. de L., Rocha-Gutiérrez, B. A., & Prieto-Amparan, J. A. (2019). TRAZABILIDAD DE ARSÉNICO EN AGUA DE RIEGO AGRÍCOLA EN EL CENTRO SUR DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 81-91. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.10>
- Icarranco. (2024, febrero 14). Agua de riego: ¿qué es y para qué se utiliza? *GC Tratamiento*.
<https://gctratamiento.mx/agua-riego-que-es/>
- Jacas, A., Ortega, P., Velasco, M., Camblor, M., & Rodriguez, M. (2012). Síntesis de zeolita LTA sobre soportes de corindón: Evaluación preliminar para la eliminación de metales pesados de efluentes acuosos. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 51, 249-254. <https://doi.org/10.3989/cyv.352012>
- La Calidad del Agua de Riego: Esto es lo que Debes Saber | Lamastore. (2023, mayo 9). *Blog Lamastore*. <https://www.lamastore.es/blog/calidad-agua-riego/>
- Mancilla-Villa, Ó. R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(1), 39-48.
- Mise, C. (2024, febrero). *EVALUACIÓN AGRONÓMICA PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ, CANTÓN*

SAQUISILÍ, PROVINCIA COTOPAXI 2023-2024.

[https://www.google.com/search?q=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-](https://www.google.com/search?q=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-2024+tipan+mise&oq=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-2024+tipan+mise&aqs=chrome..69i57.4577j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

[2024+tipan+mise&oq=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-](https://www.google.com/search?q=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-2024+tipan+mise&oq=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-2024+tipan+mise&aqs=chrome..69i57.4577j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

[2024+tipan+mise&aqs=chrome..69i57.4577j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-2024+tipan+mise&oq=EVALUACI%C3%93N+AGRON%C3%93MICA+PARA+LA+JUNTA+ADMINISTRADORA+DE+AGUA+DE+RIEGO+TILICHE+SAN+JOS%C3%89%2C+CANT%C3%93N+SAQUISIL%C3%8D%2C+PROVINCIA+COTOPAXI+2023-2024+tipan+mise&aqs=chrome..69i57.4577j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

Ortega, C. (2021, mayo 18). Estadística descriptiva: Qué es, objetivo, tipos y ejemplos.

QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/estadistica-descriptiva/>

PDOT – GAD Parroquial Tanicuchi. (2022). <https://tanicuchi.gob.ec/pdot/>

Pena Pulla, E. F., & Chang Gómez, J. V. (2009, julio 27). *Oxígeno disuelto*.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6162>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., & González Jimenez, E. E. (2016).

Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, 16(2), 66-77.

Rodríguez, J. (2023, agosto 22). Estadística Descriptiva: Definición, conceptos y ejemplos.

Fundación iS+D. <https://isdfundacion.org/2023/08/22/estadistica-descriptiva-definicion-conceptos-y-ejemplos/>

Rodríguez, P. (2011). *Determinacion de oxigeno disuelto | Sergio Fl—Academia.edu*.

https://www.academia.edu/10788222/Determinacion_de_oxigeno_disuelto

Sela, G. (2019, mayo 1). *Descubre la calidad del agua de riego | Cropaia*.

<https://cropaia.com/es/blog/calidad-agua-de-riego/>

Swistock, B. (2024, mayo 20). *Interpretación de los análisis del agua de riego*.

<https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>

Tipán Mise, C. R. (2024). *Evaluación agronómica para la junta administradora de agua de riego Tiliche San José, cantón Saquisilí, provincia Cotopaxi 2023-2024*.

[bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].

<http://localhost/handle/27000/12074>

Trujillo, W. (2023, octubre 28). Arsénico en el agua potable ¿Cómo eliminarlo? Toxicidad,

salud. *Carbotecnia*. [https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-](https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/remove-arsenico-del-agua-potable/)

[agua/remove-arsenico-del-agua-potable/](https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/remove-arsenico-del-agua-potable/)

TULSMA. (2003). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE / Ecuador—Guía Oficial de Trámites y Servicios*.

<https://www.gob.ec/regulaciones/texto-unificado-legislacion-secundaria-medio-ambiente>

Warden Media. (2020). *Medios filtrantes*. <https://es.wardenbiomedia.com/process/filter.htm>

Zeolita Natural. (2020). *Agrosolar System*. <https://agrosolarsystem.com/producto/zeolita-natural/>

Zeolita Natural | Desecante. Captador de contaminantes—Sercalia. (2023).

<https://sercalia.com/zeolita-natural/>

Zeonatec, M. (2023, mayo 17). *Descubriendo los diversos usos de la zeolita*. *zeonatec*.

<https://www.zeonatec.com/post/descubriendo-los-diversos-usos-de-la-zeolita>

