



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y
SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA
PROVINCIA DE COTOPAXI 2025”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieras Agrónomas

Autoras:

Baltazaca Ante Daysi Karina

Oña Masapanta Lisseth Tatiana

Tutora:

Tapia Borja Alexandra Isabel

LATACUNGA-ECUADOR

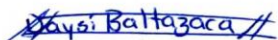
Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Baltazaca Ante Daysi Karina, con cédula de ciudadanía No. 0504228255 y Oña Masapanta Lisseth Tatiana, con cédula de ciudadanía No. 0550057764, declaramos ser autoras del presente Proyecto de Investigación: “**INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025**”, siendo la Ingeniera Mg. Alexandra Isabel Tapia Borja, Tutora del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 21 de julio del 2025



Daysi Karina Baltazaca Ante
C.C: 0504228255
ESTUDIANTE



Lisseth Tatiana Oña Masapanta
C.C: 0550057764
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 **BALTAZACA ANTE DAYSI KARINA**, identificada con cédula de ciudadanía **0504228255** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025”** 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: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Abril 2025 - Agosto 2025

Tutor: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

Tema: **“INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025”**

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, **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 comunique, 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 21 días del mes de julio del 2025.


Daysi Karina Baltazaca Ante

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 comunique, 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 21 días del mes de julio del 2025.



Lisseth Tatiana Oña Masapanta

LA 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 con el título:

“INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025” de Baltazaca Ante Daysi Karina y Oña Masapanta Lisseth Tatiana, 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 han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 21 de julio del 2025




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, las postulantes: Baltazaca Ante Daysi Karina y Oña Masapanta Lisseth Tatiana, con el título del Proyecto de Investigación: “**INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025**”, han 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, 21 de julio del 2025



Ing. Mercy Lucía Ilbay Yupa, Ph.D.
C.C: 0604147900
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, MsC.
C.C: 0501604409
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Wilman Paolo Chasi, Mg.
C.C: 0502409725
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía quien me dio la fortaleza y la salud para seguir adelante y culminar esta meta en mi vida, Gracias a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo, a mi hermana, quien supo brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, y a mis abuelos y tíos, quienes estuvieron cuando los necesitaba. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible, su apoyo ha sido la luz que guió mi camino a través de este viaje académico. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme las puertas para formarme profesionalmente, a los docentes de la carrera de Agronomía, quienes han compartido sus conocimientos, a mi tutora de tesis Mg. Alexandra Tapia, agradezco profundamente tu guía y todo el apoyo que me brindaste a lo largo de este proyecto, tus consejos, tu dedicación constante, tu paciencia infinita y tu experiencia ha sido fundamental para concluir esta en mi vida. A mi compañera de tesis Lisseth Oña por su colaboración y comprensión incondicional y ser parte del último y gran paso para culminar mi carrera universitaria.

Daysi Karina Baltazaca Ante

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por las bendiciones hacia mí, a mi familia, gracias por su amor incondicional, por ser mi pilar en los momentos difíciles y mi mayor fuente de inspiración.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en cada paso que he dado. Gracias por su amor incondicional, por los sacrificios que hicieron para que yo pudiera alcanzar mis sueños, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la honestidad. Todo lo que soy y lo que he logrado se lo debo a ustedes, este logro no es solo mío también es suyo, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible.

A mi hermano, por ser mi compañero incondicional en cada etapa de mi vida. Gracias por su apoyo constante, por animarme en momentos difíciles y por recordarme siempre que los sueños se cumplen con esfuerzo y dedicación.

A mi familia en general, quienes con su cariño y compañía hicieron que este camino fuera mas llevadero. Cada gesto, cada palabra de aliento y cada demostración de efecto me dieron fuerzas para continuar. A mi querida tutora Alexandra Tapia, no tengo palabras suficientes para agradecer por ser la voz serena que calmo mis miedos mis llantos y ser la fuerza que me impulsó cuando sentí desfallecer. Gracias por nunca soltar mi mano cuando pensé rendirme, por recordarme que los sueños se construyen con esfuerzo y dedicación, gracias por estar presente en cada etapa del proceso, desde el primer borrador hasta el último detalle, cada corrección suya cada observación y cada consejo fueron actos de amor y de enseñanza quiero agradecerle por su paciencia infinita y que siempre la recordare y la quiero.

Lisseth Tatiana Oña MasapaQWD

DEDICATORIA

A mi Dios, a mis padres Luis Baltazaca y Alicia Ante gracias por ser motivación de vida, por todo el esfuerzo que pusieron para formarme y hacer de mi una persona de bien, a través de sus consejos, enseñanzas, amor y por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas sin dejar de confiar en mí, sin ellos no podría estar a un paso de la gran meta, a mi hermana Mónica gracias por ser mi refugio, por tus palabras de aliento, mi compañía incondicional en este camino que me motivó a seguir adelante, mis abuelos, tios y tías gracias por su apoyo y sus sabios consejos, gracias por estar siempre presentes en mi vida.

Daysi Karina Baltazaca Ante

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi padre Fredy Oña y a mi madre Cecilia Masapanta, pilares de mi vida. Cada paso que doy es gracias a su amor cada logro mío es fruto de sus esfuerzos y cada página de esta tesis lleva grabado su sacrificio. Gracias por enseñarme a luchar, a soñar y a nunca rendirme.

A mi querido hermano Zahir Oña por estar siempre a mi lado, por apoyarme sin condiciones y por ser una de las razones que me impulsaron a seguir adelante cuando las fuerzas me faltaban. Este logro también es tuyo.

Lisseth Tatiana Oña Masapanta

TÍTULO: “INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025”

Autoras:

Baltazaca Ante Daysi Karina
Oña Masapanta Lisseth Tatiana

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la interacción del arsénico en el agua de riego y suelo agrícola en la Junta Tiliche, provincia de Cotopaxi. En la zona enfrentan una alta concentración de arsénico en el agua que superan ampliamente el límite establecido por la normativa ecuatoriana TULSMA ($<0,1$ mg/L), alcanzando valores de hasta 3,27 mg/L, representando un riesgo para la agricultura y la salud. Se realizó el análisis en el agua de riego en tres puntos (bocatoma, reservorio y parcela), se analizaron parámetros físicos químicos como pH, potencial redox, conductividad eléctrica, materia orgánica, sulfatos, fosfatos, hierro y arsénico en el suelo se analizó pH, conductividad eléctrica, humedad, clase textural, arsénico y potencial redox en un lote de terreno se realizó el muestreo. En el agua se evidencio una alta correlación entre arsénico y hierro ($R^2=0,96$), y la materia orgánica ($R^2=0,95$), lo que indica en condiciones reductoras ambos parámetros se liberan desde los minerales y facilitan su movilidad del arsénico. En el suelo la humedad ($R^2=0,87$), conductividad eléctrica ($R^2=0,55$) y pH influyen en su movilidad, predominando el arsenito (As^{3+}) la forma más tóxica y móvil. Además, se aplicaron tratamientos con diferentes concentraciones de materia orgánica (cuyasa) indicando que su incorporación reduce la disponibilidad del arsénico en el suelo, reduciendo hasta el 25% de su concentración de arsénico en el tratamiento de mayor dosis. Se concluye que la materia orgánica actúa como agente inmovilizador del arsénico, mejorando la calidad del suelo agrícola. El estudio recomienda implementar un monitoreo continuo de la calidad del agua de riego y suelo, especialmente en épocas críticas como sequía y lluvias intensas y sugiere el uso de enmiendas orgánicas como estrategia de remediación efectiva y sostenible en sistemas agrícolas contaminados.

Palabras claves: Interacción, adsorción, arsénico, agua de riego, suelo agrícola, parámetros físicos químicos, movilidad, contaminación.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

**THEME: “INTERACTION OF ARSENIC IN IRRIGATION WATER AND
AGRICULTURAL SOIL IN THE TILICHE JUNTA OF COTOPAXI
PROVINCE 2025”**

Authors:

Baltazaca Ante Daysi Karina
Oña Masapanta Lisseth Tatiana

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the interaction of arsenic in irrigation water and agricultural soil in Junta Tiliche, Cotopaxi province. The area faces high concentrations of arsenic in the water that far exceed the limit established by Ecuadorian regulations (TULSMA <0.1 mg/L), reaching values of up to 3.27 mg/L, which poses a risk to agriculture and health. The analysis was carried out on irrigation water at three points (intake, reservoir, and plot), physical and chemical parameters such as pH, redox potential, electrical conductivity, organic matter, sulfates, phosphates, iron, and arsenic were analyzed in the soil, and pH, electrical conductivity, moisture, textural class, arsenic, and redox potential were analyzed in a plot of land where sampling was carried out. In water, a high correlation was observed between arsenic and iron ($R^2=0.96$) and organic matter ($R^2=0.95$), indicating that under reducing conditions, both parameters are released from minerals and facilitate the mobility of arsenic. In soil, moisture ($R^2=0.87$), electrical conductivity ($R^2=0.55$), and pH influence its mobility, with arsenite (As^{3+}) being the most toxic and mobile form. In addition, treatments with different concentrations of organic matter (cuyasa) were applied, indicating that its incorporation reduces the availability of arsenic in the soil, reducing its concentration by up to 25% in the highest dose treatment. It was concluded that organic matter acts as an arsenic immobilizing agent, improving the quality of agricultural soil. The study recommended implementing continuous monitoring of irrigation water and soil quality, especially during critical periods such as droughts and heavy rains, and suggested the use of organic amendments as an effective and sustainable remediation strategy in contaminated agricultural systems.

Keywords: Interaction, adsorption, arsenic, irrigation water, agricultural soil, physicalchemical parameters, mobility, contamination.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	2
3.1 Beneficiario directo	2
3.2 Beneficiario indirecto.....	2
4 PROBLEMÁTICA	2
5 OBJETIVOS	3
5.1 Objetivo General.....	3
5.2 Objetivos Específicos.....	3
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	4
7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	5
7.1. Agua de riego	5
7.2. Contaminación de agua subterráneo por metales.....	5
7.3. Efectos en la agricultura en el agua de riego por metales pesados	6
7.4. Interacción del arsénico	6

7.5.	Especiación del arsénico	6
7.6.	Parámetros del agua de riego	7
7.6.1.	Arsénico	7
7.6.2.	pH	7
7.6.3.	Potencial Redox.....	7
7.6.4.	Conductividad eléctrica	8
7.6.5.	Hierro	8
7.6.6.	Sulfato	8
7.6.7.	Fosfato	9
7.7.	Materia Orgánica	9
7.8.	Parámetros del suelo	9
7.8.1.	pH	9
7.8.2.	Conductividad eléctrica	9
7.8.3.	Potencial Redox	10
7.8.4.	Materia orgánica	10
7.8.5.	Humedad	10
7.8.6.	Clase textura (Estructura)	11
7.8.7.	Arsénico	11
8.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA	11
9.	METODOLOGIA	11
9.1.	Área de estudio	11
9.2.	Tipo de investigación	12
9.2.1.	Investigación bibliografía	12
9.2.2.	Investigación de campo	12
9.3.	Revisión bibliográfica de artículos sobre las concentraciones de arsénico en el agua y suelo y su interacción.	13
9.4.	Parámetros de especiación química de Arsénico de Agua de riego	13
9.5.	Parámetros de especiación química de Arsénico del suelo	14

9.6.	Puntos de muestro de agua	15
9.7.	Punto de muestra de suelo.....	18
9.8.	Comparar los colores y niveles obtenidos para retener o liberar arsénico.	18
10	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
10.1.	Análisis de agua	19
10.2.	Parámetros del suelo.....	26
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
11.1.	Conclusiones	33
11.2.	Recomendaciones	34
12	BIBLIOGRAFÍA	35
INDICE DE FIGURAS		
Figura 1.	Ubicación de área de estudio.	12
INDICE DE GRAFICOS		
Gráfico 1.	Ph en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.	20
Gráfico 2.	Conductividad Eléctrica en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.....	21
Gráfico 3.	Potencial Redox en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.	22
Gráfico 4.	Materia Orgánica en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.	23
Gráfico 5.	Fosfato en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.	24
Gráfico 6.	Sulfatos en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.	25
Gráfico 7.	Hierro en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.	26
Gráfico 8.	pH vs Concentración de arsénico	27
Gráfico 9.	Conductividad vs Concentración de arsénico.....	28
Gráfico 10.	Potencial redox vs Concentración de arsénico	29
Gráfico 11.	Humedad vs Concentración de arsénico.....	30

Gráfico 12. Tendencia de Reducción de arsénico con materia orgánica. 32

Gráfico 13. *Reducción Porcentual de arsénico.* 32

INDICE DE IMÁGENES INDICE DE TABLAS **Tabla 1.** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 2. Características de área de estudio 12

Tabla 3 Parámetros de agua de riego 13

Tabla 4 Parámetros de suelo..... 15

Tabla 5. *Concentraciones de arsénico y especies químicas en el agua de riego*..... 19

Tabla 6 Comportamiento por sitio 21

Tabla 7. Concentraciones de arsénico y especies químicas y físicas en el suelo agrícola 30

Tabla 8. Retención de arsénico en suelo agrícola de forma cualitativa 34

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“INTERACCIÓN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO Y SUELO AGRÍCOLA EN LA JUNTA DE TILICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2025”

Fecha de inicio:

Abril 2025

Fecha de finalización:

Agosto 2025

Lugar de ejecución:

Provincia de Cotopaxi, Cantón Saquisilí, dentro de la Junta de Agua de Riego Tiliche San José.

Facultad que auspicia

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales **Carrera**

que auspicia:

Carrera de Agronomía **Equipo**

de Trabajo:

Tutora: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

Estudiante: Daysi Karina Baltazaca Ante.

Estudiante: Lisseth Tatiana Oña Masapanta.

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

Lector B: Ing. MsC. Guido Euclides Yauli Chicaiza.

Lector C: Ing. Wilman Paolo Chasi, Mg.

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Baltazaca Ante Daysi Karina

Teléfono: 0987961020

Correo electrónico: daysi.baltazaca8255@utc.edu.ec

Nombre: Oña Masapanta Lisseth Tatiana

Teléfono: 0939707275

Correo electrónico: lisseth.ona7764@utc.edu.ec **Área**

de Conocimiento:

Agricultura, Silvicultura, pesca y veterinaria.

Línea de investigación:

Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria.

Línea de vinculación de la carrera:

Tecnologías para la agricultura, Agua y Suelos.

2. JUSTIFICACIÓN

Los microorganismos son esenciales en la especiación del arsénico, ya que muchos de ellos pueden cambiar su forma a pesar de ser perjudicial, debido a que han creado distintos métodos para integrarlo en su metabolismo, ya sea como arsenito en su estado reducido o como arseniato en su estado oxidado a través de reacciones redox, transformación enzimática, metilación, quelación, exclusión e inmovilización. Este trabajo, trata sobre el impacto que tiene la especiación de arsénico en el agua de riego y suelo, donde la contaminación es una fuente principal de arsénico en los sistemas agrícolas. Este contaminante, al ser empleado continuamente, se acumula en los suelos, lo que genera procesos de acumulación y afecta la retención de arsénico en el suelo. (David & Sebastián, 2024).

El arsénico se puede encontrar en diferentes estados de oxidación: As elemental (0) encontrándose más frecuentemente como arsenito o arseniato, lo cual es poco soluble en agua y, por tanto, menos biodisponible.

La presencia y la movilidad del arsénico en los sistemas agrícolas especialmente en el agua de riego y suelo, se caracteriza por una integración de elementos físicos, químicos y biológicos (Shi et al., 2020).

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1 Beneficiario directo

El trabajo de investigación beneficiará a los estudiantes y miembros de la Universidad y los productores agropecuarios de la Junta de Agua de Riego Tiliche San José.

3.2 Beneficiario indirecto

Los productores de parroquia de Tanicuchi.

4 PROBLEMÁTICA

En la provincia de Cotopaxi, particularmente en las zonas de Tiliche, se han detectado grados alarmantes de arsénico en los recursos acuáticos empleados para el riego de la agricultura. Una investigación llevada a cabo en la Junta de Agua Tiliche confirmó la existencia de arsénico total en muestras de aguas superficiales utilizadas para el riego de terrenos agrícolas (Rafael, 2024). En Cotopaxi, se han registrado niveles de arsénico en suelos agrícolas que superan los 70 mg/kg en algunas áreas, lo que representa un riesgo significativo para la producción agrícola. A nivel mundial, la preocupación por la contaminación por arsénico en los sistemas de agricultura está

en aumento. El contacto constante con arsénico inorgánico, principalmente por medio del agua y los alimentos, puede provocar una intoxicación crónica (Jiménez et al., 2024).

Este metal dañino puede ser asimilado por las plantas, disminuyendo su desarrollo, calidad y productividad. Aún más alarmante es el peligro de que los alimentos contaminados con arsénico se introduzcan en la cadena de alimentación, poniendo a los consumidores en contacto con un carcinógeno conocido. (Medina, 2018). El análisis de riesgos para la salud humana determinó el posible riesgo generado por la exposición al arsénico por vía oral y la calidad ambiental de los terrenos. El arsénico, en su forma inorgánica, es extremadamente tóxico, y su mayor riesgo para la salud pública se encuentra en el uso de agua contaminada para consumir, elaborar alimentos e irrigar cultivos alimentarios (Paulina, 2022).

El arsénico, un metal tóxico y carcinogénico, tiene la capacidad de infiltrarse en los sistemas agrícolas mediante fuentes naturales, como la erosión de minerales arsenicales, y acciones humanas, como la aplicación de pesticidas y el riego con aguas contaminadas. Esta polución supone un peligro considerable debido a la habilidad del arsénico de acumularse en los cultivos, ingresando de esta manera en la cadena alimenticia humana (Cuauhtemoc, 2024).

Un estudio abarcó la descripción de los sistemas productivos y la evaluación del arsénico en agua y suelo, contrastando los hallazgos con las regulaciones de Ecuador. Los descubrimientos subrayaron la importancia de supervisar y administrar la calidad del agua de irrigación para evitar la acumulación de arsénico (David & Sebastian, 2024).

Los niveles de Arsénico en el ambiente son variables ya que puede unirse a partículas y cambiar de estado de oxidación al reaccionar con oxígeno o con otras moléculas del aire, del agua o del suelo, o por acción de microorganismos (Jochen et. al., 2008).

5 OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Evaluar la interacción del arsénico en agua de riego y suelo agrícola en la Junta de Tiliche de la provincia de Cotopaxi 2025.

5.2. Objetivos Específicos

- Analizar las concentraciones de arsénico total y especies químicas en el agua de riego y suelo.
- Identificar la correlación de la concentración de arsénico con parámetros físicos químicos en el agua y suelo.

- Determinar el efecto de distintas concentraciones de materia orgánica en la movilidad del arsénico en suelo agrícola.

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 específico 1	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RESULTADOS
Analizar las concentraciones de arsénico total y especies químicas en el agua de riego y suelo	-Revisión bibliográfica sobre la especiación química del arsénico - Selección del área de estudio - Planificación de frecuencia del Muestreo de agua en tres puntos. (Captación, reservorio, parcela) -Enviar las muestras al laboratorio Identificar (arsénico total, PH, potencial redox, conductividad, hierro, sulfato, fosfato, materia orgánica). Revisión bibliográfica con las normas.	-Recolección de muestras en los puntos mencionados (Bocatoma, reservorio, parcela) para realizar tres repeticiones. - Las técnicas analíticas utilizadas de acuerdo al parámetro y laboratorio - Clasificar los resultados por concentraciones	-Reporte de los resultados de concentraciones del arsénico y especies químicas en el agua - Graficas
Objetivo Específico 2	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RESULTADOS
Identificar la correlación de la concentración de arsénico con parámetros físicos químicos en el agua y suelo.	-Recolección de muestras de suelo Mediciones: -pH -Conductividad -Humedad del suelo -Clase textural (Estructura) -Arsénico -Potencial redox	Realizamos la recolección de las muestras de suelo con ayuda de: - Pala -Ziploc -Regla Se realizará tres repeticiones Clasificar los resultados por concentraciones	Reporte de los resultados de los factores físico químicos del suelo - Graficas
Objetivo específico 3	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RESULTADOS

Determinar el efecto de distintas concentraciones de materia orgánica en la movilidad del arsénico en suelo agrícola.	Llevar al laboratorio cuatro muestras de suelo de diferentes puntos. Secar el suelo en laboratorio Preparar al suelo para la incorporación de la materia orgánico.	Observación con la utilización de cintas reactivas de arsénico.	Comparar los colores y niveles obtenidos para retener o liberar arsénico.
---	--	---	---

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Agua de riego

La calidad del agua utilizada para riego es la combinación química, física y biológica del agua y su adecuación para aplicaciones agrícolas. Esta calidad impacta la salud vegetal, la fertilidad del suelo y la funcionalidad de los sistemas de riego (Guy Sela, 2019). Según la norma NOM127-SSAI-2000, el límite máximo permitido de arsénico en el agua de riego se establece en 0,1 mg./L (Alvaro, 2017).

La calidad del agua para riego se determina por su composición y concentración de los constituyentes que pueda contener en solución o suspensión, adquiridos durante su transporte desde los puntos de precipitación e infiltración hasta donde es utilizada. Esa calidad es determinante en el comportamiento de los suelos y de los cultivos en los aspectos relacionados con la salinización, la dispersión o destrucción de la estructura (J. Orlando Argüello Tovar, 2022).

7.2. Contaminación de agua subterráneo por metales

La contaminación del agua subterránea causada por metales pesados, especialmente el arsénico, representa un asunto ambiental y de salud pública de gran inquietud a escala global. El arsénico puede llegar a los acuíferos de manera natural a través de procesos geogénicos o por acciones humanas como la minería, la aplicación de pesticidas o el manejo incorrecto de desechos industriales (Gauri et al., 2003).

El arsénico se encuentra en diversas clases de minerales y rocas. En circunstancias de escasez de oxígeno, se libera al agua subterránea a través de minerales como la arsenopirita (FeAsS), oropimente (As_2S_3) o la realgar (As_4S_4)

De acuerdo con Smedley y Kinniburgh (2002), los arsénicos principales en el agua subterráneo provienen de:

- Disolución mediante la liberación de minerales arsénicos.
- Actividad de los volcanes.
- Deshidratación debido a variaciones en el pH o al potencial redox del acuífero.

En cambio, las fuentes de origen humana comprenden:

- Minería de metal.
- Proceso de combustión de carbón.
- Uso de pesticidas y herbicidas que contiene arsénico.

7.3. Efectos en la agricultura en el agua de riego por metales pesados

La presencia de arsénico (As) en el agua para irrigación constituye un peligro considerable para la agricultura, tanto en lo que respecta a la productividad de las cosechas como a la seguridad alimentaria. Cuando el arsénico está presente en altas concentraciones, puede ser asimilado por las raíces de las plantas, almacenándose en tejidos alimentarios y disminuyendo la productividad de las plantas. Además, la exposición extendida incide en la germinación, el desarrollo de las raíces y la fotosíntesis, lo que pone en riesgo directamente la viabilidad de la agricultura (Meharg & Hartley-Whitaker, 2002).

7.4. Interacción del arsénico

La interacción del arsénico (As) en agua de riego influye en la movilidad puede absorberse en partículas del suelo o permanecer disuelto en el agua, afectando su disponibilidad para las plantas. La interacción del arsénico en el agua de riego está, presente naturalmente o debido a la contaminación, afecta la calidad del agua y su impacto en las plantas y el medio ambiente. El arsénico, incluso en bajas concentraciones, puede ser tóxico y causar problemas de salud, además de afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Smedley & Kinniburgh, 2002).

7.5. Especiación del arsénico

El proceso de especiación del arsénico es esencial en la geoquímica ambiental, pues facilita la identificación de las distintas formas químicas (especies) en las que se halla este metaloide. Esta información es crucial, ya que la toxicidad, movilidad, biodisponibilidad y comportamiento ambiental del arsénico están determinadas por su composición química, no únicamente por su concentración total (Castillo et al., 2013).

La especiación del arsénico implica el reconocimiento y cuantificación de las distintas formas químicas (especies) en las que el arsénico se manifiesta en un sistema específico (agua, suelo, sedimentos, organismos, entre otros). No solo es cuestión de determinar la cantidad de arsénico

presente, sino también determinar su composición química, dado que cada especie posee una toxicidad, movilidad y comportamiento en el medio ambiente distintos (Sadee et al., 2023).

Parámetros del agua de riego

7.6.1. Arsénico

El arsénico es un oligoelemento tóxico que representa una gran preocupación ambiental debido a su presencia en el suelo, el agua, las plantas, los animales y los seres humanos. El arsénico facilita su entrada al sistema suelo y planta ya sea de forma natural mediante la meteorización de rocas y minerales arsénicos y el uso de aguas subterráneas contaminadas con arsénico (Kumari et al., 2020) también pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas pasar a la atmósfera por volatilización y moverse hacia el agua superficial o subterránea (Mancilla-Villa et al., 2010).

7.6.2. pH

El arsénico se presenta en diversas formas químicas que varían en función del pH del entorno. En circunstancias ácidas, el arsénico suele tener una movilidad reducida, mientras que en circunstancias alcalinas su movilidad se incrementa, lo que favorece su liberación en aguas superficiales. El arsénico puede ser liberado a través de procesos naturales como la disolución de minerales arsenicales en el agua subterránea, o por acciones humanas como la minería y la aplicación de pesticidas, entre otras (Francisca & Evelín, s. f.).

7.6.3. Potencial Redox

El potencial redox de los sistemas terrestres, acuáticos y marinos es una medida del potencial electroquímico o la disponibilidad de electrones dentro de estos sistemas. Los electrones son esenciales para todas las reacciones químicas inorgánicas y orgánicas el potencial redox se utiliza para describir la capacidad reductora u oxidante general de un sistema las mediciones del potencial redox permiten una rápida caracterización del grado de reducción y la predicción de la estabilidad de diversos compuestos que regulan la disponibilidad de nutrientes y metales en el suelo y los sedimentos (Søndergaard, 2009).

El As es un elemento sensible a la oxidación-reducción, y su movilidad en las aguas subterráneas está influenciada por el pH y el potencial redox en condiciones normales de potencial redox en sistemas acuáticos, el As es estable en cuatro estados de oxidación: (-3, +3, +5 y 0) (Verma & Chaurasia, 2024).

7.6.4. Conductividad eléctrica

El agua tiene una conductividad vinculada con la cantidad de sales disueltas. Un incremento en la conductividad podría sugerir un incremento en la existencia de iones que favorecen la solubilización del arsénico, lo que incrementa su presencia en el agua (Juanmmorales, 2024). El arsénico puede ser liberado mediante procesos naturales como la disolución de minerales arsenicales, o mediante acciones humanas como la aplicación de pesticidas y fertilizantes. En aguas con elevada conductividad, la existencia de determinados iones puede contribuir a la liberación del arsénico de los sedimentos (Smith et al., 1998).

7.6.5. Hierro

El hierro es un oligoelemento común en suelos y aguas subterráneas es el cuarto mineral más abundante en la corteza terrestre, el hierro puede estar presente en el agua en diversas formas (soluble, quelado, orgánico y precipitado) y puede ser o no visible a simple vista. Estas formas incluyen el hierro ferroso (Fe^{+2}) o disuelto, que es invisible, mientras que el hierro férrico (Fe^{+3}) u oxidado se hace evidente por precipitación y suele aparecer como partículas de color marrón rojizo suspendidas en el agua. El agua de riego con niveles de hierro superiores a 0,1 ppm puede obstruir los emisores de riego por goteo, y niveles superiores a 0,3 ppm pueden provocar manchas de óxido de hierro y decoloración en el follaje de las plantas en aplicaciones de riego por aspersión. Estos niveles generalmente están por debajo de los que causan toxicidad en el tejido vegetal, excepto cuando los niveles de hierro superan las 4 ppm o cuando el pH del sustrato radicular es inferior a 5,5 (Gladis Zinati & Xiufu Shuai, 2005).

7.6.6. Sulfato

Los sulfatos tienen la posibilidad de competir con el arsénico en sitios de adsorción en los sedimentos, lo que podría aumentar la cantidad de arsénico disuelto en agua. Además, en ambientes anaeróbicos, se puede transformar los sulfatos en sulfuro, lo que podría precipitar el arsénico en forma de sulfuros de arsénico, reduciendo de esta manera su capacidad para moverse (Mandal & Suzuki, 2002). La liberación de arsénico en el agua de irrigación puede ser causada por procesos naturales como la disolución de minerales arsenicales, o por acciones humanas como la utilización de pesticidas y fertilizantes. Cuando se encuentran sulfatos, puede aumentar la solubilidad del arsénico, especialmente en aguas con un elevado contenido de sulfatos de origen industrial, en particular en aquellas aguas con una alta concentración de sulfatos de procedencia industrial (Institutodelaguaes, 2024).

7.6.7. Fosfato

El fosfato se enfrenta al arsénico en la competencia por los lugares de adsorción en sedimentos y terrenos, lo que podría incrementar la cantidad de arsénico disuelto en agua. En ciertas situaciones, el fosfato puede restringir la asimilación de arsénico por las plantas (Sandhi et al., 2022). La existencia de fosfatos en el agua puede propiciar la liberación de arsénico de los sedimentos, incrementando así su desplazamiento. Además, la utilización excesiva de abonos fosfatados puede contribuir a la polución del agua y perjudicar la calidad del recurso acuático (Cruzito, 2019).

7.7. Materia Orgánica

La materia orgánica tiene la capacidad de influir en la movilidad del arsénico al alterar las condiciones químicas del agua. En entornos anaeróbicos, la degradación de materia orgánica puede provocar condiciones de reducción que promueven la solubilización del arsénico, elevando su nivel en el agua (Smedley & Kinniburgh, 2002). La materia orgánica también produce compuestos orgánicos disueltos, tales como ácidos húmicos y fúlvicos, que tienen la capacidad de acomplejarse con el As o con los lugares de adsorción del hierro, disminuyendo de esta manera la habilidad del suelo para acumular arsénico (Islam, 2004).

7.8. Parámetros del suelo

7.8.1. pH

En suelos ácidos pH reducido, el arsénico suele ser más soluble, lo cual favorece su desplazamiento y asimilación por las plantas. En suelos alcalinos el pH elevado, del arsénico puede acumularse y ser menos accesible, aunque algunos compuestos pueden potenciar su liberación (Hidrolab, 2022). La liberación del arsénico en el suelo se produce tanto por procesos naturales como la degradación de minerales arsenicales, como por acciones humanas como la aplicación de pesticidas y fertilizantes. Adicionalmente, las variaciones en el pH pueden influir en la adsorción del arsénico en los minerales del suelo, incrementando su nivel en el agua destinada al riego (Mundoagro, 2022).

7.8.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo es un parámetro clave que influye en la movilidad y liberación del arsénico, la conductividad eléctrica afecta la liberación de arsénico mayor concentración de sales la conductividad eléctrica mide la cantidad de sales disueltas en el suelo cuando hay una alta concentración de sales, se pueden generar cambios en la solubilidad del

arsénico, aumentando su movilidad (María Victoria Cremona, Andrea Soledad Enriquez, 2020). Un pH elevado junto con una alta conductividad eléctrica puede favorecer la disociación de compuestos de arsénico, liberándose en la solución del suelo. La presencia de sales en el suelo puede dar lugar a interacciones iónicas que influyen en la adsorción del arsénico en partículas de suelo (Kabata-Pendias, 2010).

7.8.3. *Potencial Redox*

El potencial redox es un indicador esencial que controla las reacciones de óxido-reducción en el terreno. Este valor establece la condición química de varios elementos, incluyendo el arsénico, y regula la especiación, movilidad y toxicidad de este componente en los sistemas ecológicos (Nickson et al., 2000). La liberación del arsénico en el suelo sucede cuando se alteran el potencial redox, como en el suelo con alta actividad de microorganismos. En entornos reductores, la actividad de microorganismos tiene el potencial de transformar el arseniato en arsenito, incrementando así su contenido en agua (Ghadiri & Rose, 1991).

7.8.4. *Materia orgánica*

La materia orgánica puede formar complejos con arsénico, reduciendo su movilidad al retenerlo en el suelo, en suelos con alta materia orgánica y condiciones anaeróbicas, los microorganismos pueden reducir el arsénico a formas más solubles, aumentando su liberación. La materia orgánica puede adsorber arsénico, evitando su lixiviación, sin embargo, cuando se descompone, puede liberar arsénico a la solución del suelo, algunos compuestos orgánicos disueltos pueden formar complejos con arsénico, aumentando su solubilidad y facilitando su transporte a través del perfil del suelo (Smedley & Kinniburgh, 2002).

7.8.5. *Humedad*

En suelos con alta saturación de agua, las condiciones anaeróbicas pueden favorecer la disminución del arsénico desde su forma menos móvil (arsenato, As^{5+}) hasta su forma más soluble (arsenito, As^{3+}), incrementando su presencia en el agua subterránea. La liberación del arsénico sucede cuando la humedad varía de manera drástica, como en épocas de fuertes lluvias o riego excesivo. Esto podría trasladar el arsénico de los sedimentos al agua de irrigación, deteriorando su calidad (Yamada & Shoji, 1982). En suelos secos, el arsénico suele quedarse atrapado en los minerales del suelo, disminuyendo así su capacidad para moverse (Olivella, 2022).

7.8.6. Clase textura (Estructura)

La clase textural proporción de arena, limo y arcilla determina la capacidad de retención o liberación de As en el suelo, afectando su biodisponibilidad y riesgo de contaminación de aguas subterráneas también la clase textural del suelo influye en la movilidad y liberación del arsénico, ya que afecta la retención de agua, la adsorción de minerales y la interacción con otros compuestos. En suelos arenosos tienen baja capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que facilita la lixiviación del arsénico hacia aguas subterráneas. Los suelos arcillosos poseen alta capacidad de adsorción, reteniendo el arsénico en sus partículas. Los suelos limosos presentan una interacción intermedia, donde la movilidad del arsénico depende de la cantidad de materia orgánica y minerales presentes (Infoagro, 2020).

7.8.7. Arsénico

La presencia de arsénico en el suelo puede modificar la actividad de los microorganismos, disminuir la fertilidad y perjudicar el desarrollo vegetal. En niveles altos, puede resultar tóxico para los seres vivos del suelo y restringir la asimilación de nutrientes esenciales por parte de las raíces (Violante & Pigna, 2002). El arsénico se emite en el suelo mediante fenómenos naturales como la erosión de minerales arsenicales y la actividad de los volcanes. Además, actividades humanas como la minería, la aplicación de pesticidas y fertilizantes contaminados pueden provocarlo. Su desplazamiento se basa en elementos como el pH, el potencial redox y la existencia de otras sustancias químicas (Meharg & Zhao, 2012).

8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿La interacción del arsénico permitirá determinar la especiación del arsénico para agua y suelo agrícola de la Junta Tiliche?

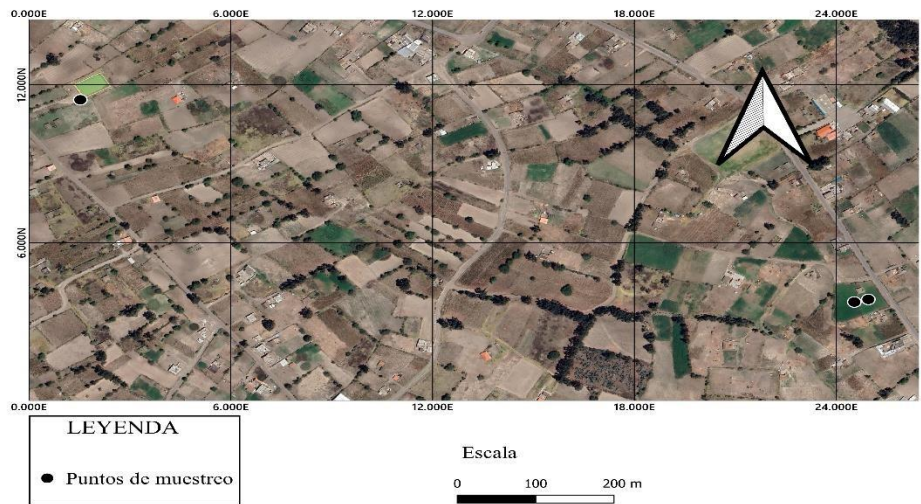
9. METODOLOGIA

9.1. Área de estudio

Esta investigación está ubicada en la Parroquia rural de Tanicuchi en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi dentro de la Junta de Agua de Riego Tiliche San José a una altura que comprende desde los 2.920 hasta 17 4.040 msnm, cuenta con una extensión de 5331,28 Ha (PDOT – GAD Parroquial Tanicuchi, 2023). La cuenca de la quebrada Tiliche San José se encuentra en el Complejo Volcánico y Reserva Ecológica los Ilinizas, integrándose al sistema de Áreas Protegidas (SNAP) en Ecuador (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición

Ecológica, n.d.). La investigación se refiere a las aguas utilizadas de la quebrada Tiliche San José en el proyecto de riego. Este proyecto dispone de un caudal de 8 L/s, adicional a los excedentes y residuos que se producen en la quebrada durante la recolección y captación del proyecto.

Figura 1. *Ubicación de área de estudio.*



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Tabla 2. *Características de área de estudio*

Coordenas	Altitud	Latitud	Altitud msnm
Bocatoma	760676	9911887	3548 msnm
Reservorio	759676	9912230	3113 msnm
Parcela	760658	9911883	3130 msnm

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

9.2. Tipo de investigación

9.2.1. Investigación bibliografía

Basada en la revisión, análisis de la información recolectando de fuentes documentales de artículos científicos, tesis y publicaciones académicas disponibles en bases digital ya que permite comprender el tema de estudio desde diferentes enfoques sobre la interacción de arsénico en el agua de riego y suelo para uso agrícola.

9.2.2. Investigación de campo

La presente investigación es de tipo de campo ya que se llevó a cabo en el entorno natural donde se encuentran las fuentes de agua y los suelos utilizados para la actividad agrícola en la Junta

de Agua de Riego Tiliche San José se realizaron visitas al área de estudio para recolectar muestras de agua y suelo en distintos puntos estratégicos para ser llevadas al laboratorio.

9.3. Revisión bibliográfica de artículos sobre las concentraciones de arsénico en el agua y suelo y su interacción.

Se llevó a cabo una búsqueda de publicaciones científicas en las bases de datos Scopus y ScienceDirect y SciELO utilizando palabras claves para la recopilación de información hacia la investigación, los artículos científicos se encontraron en inglés y español después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, elegimos 9 artículos adecuados para la investigación con acceso a texto completo los artículos podemos encontrar en el **ANEXO 1**.

9.4. Parámetros de especiación química de Arsénico de Agua de riego

En este estudio, se analizaron los parámetros fisicoquímicos esenciales que influyen en la especiación, como el pH, el potencial redox (Eh), conductividad eléctrica, hierro, sulfatos, fosfato, materia orgánica y arsénico, dado que tienen un impacto directo en el balance entre As (III) y As(V). Los parámetros regidos por la normativa ecuatoriana Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) establece el valor límite para el uso de agua de riego y comprender los riesgos reales de toxicidad e impacto ambiental.

Tabla 3 *Parámetros de agua de riego.*

AGUA DE RIEGO		
PARAMETROS	OBJETIVO	RANGO
Arsénico	Cantidad total del arsénico presente en una muestra incluyendo todas sus formas químicas.	< 0.1 mg/L
Ph	Influye en la movilidad y especiación del arsénico, valores bajos favorecen As (III) mientras que valores altos favorecen al As (V).	6.5 – 8.5
Potencial redox	Afecta a la especiación del Arsénico, condiciones reductoras favorecen al	-200 a 600 Mv

	arsénico (más móvil y tóxico), mientras que condiciones oxidantes.	
Conductividad eléctrica	Indicar la cantidad de sales disueltas.	50 – 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Hierro	Puede influir en la adsorción del arsénico, los hidróxidos de hierro precipitados pueden retener en arsénico.	$\leq 0.3 \text{ mg/L}$
Sulfatos	Pueden competir con el arsénico por los sitios de adsorción en los óxidos de hierro afectando su movilidad.	$\leq 250 \text{ mg/L}$
Fosfato	Proveer nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.	$< 2 \text{ mg/L}$ (para evitar eutroficación y mantener calidad adecuada).
Materia Orgánica	Mejorar la fertilidad del suelo y la calidad del agua.	$< 5 \text{ mg/L}$ (para evitar contaminación y mantener equilibrio ecológico).

Fuente: (FAO, 2012)

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

9.5. Parámetros de especiación química de Arsénico del suelo

La especiación química del arsénico en el suelo implica el reconocimiento y cuantificación de las diversas formas químicas en las que este elemento se puede encontrar en el suelo. Aunque en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Ecuador (TULSMA) no especifica límites para todos los parámetros en suelos establece en el Libro VI, Anexo 2 los valores máximos permisibles para el uso de suelo para la agricultura.

Tabla 4 Parámetros de suelo

SUELO		
PARAMETROS	OBJETIVOS	RANGO
pH	Mantener un nivel adecuado para la disponibilidad de nutrientes.	6.0 – 7.0 (neutro a ligeramente ácido).
Conductividad eléctrica	Evaluar la sanidad del suelo.	< 2 dS/m (no salino).
Potencial Redox	Determinar condiciones oxidantes o reductoras.	+300 a +500 mV (condiciones oxidantes).
Materia Orgánica	Mejorar la fertilidad y estructura del suelo.	2% - 5% (contenido adecuado).
Humedad	Garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.	50% - 70% de la capacidad de campo (dependiendo el cultivo).
Clase textura (Estructura)	Evaluar la proporción de arena, limo y arcilla para determinar textura.	Arenoso, franca, arcilloso (según análisis granulométrico).
Arsénico	Controlar niveles tóxicos para evitar contaminación.	< 10 µg/L (según estándares internacionales de calidad del agua).




Fuente: (FAO, 2012)

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

9.6. Puntos de muestro de agua

El muestreo del agua que llevara a cabo en 3 puntos (bocatoma, reservorio, parcela) en la Junta de Agua de Riego Tiliche San José.

Imagen 1. Puntos de muestreo

Bocatoma	Reservorio	Parcela
		

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Bocatoma: se realizó el triple lavado del envase con el agua del mismo punto y luego sumergió el envase contra la corriente y se llenó sin dejar burbujas tapando inmediatamente y se rotulo con las etiquetas con: fecha, nombre del punto (bocatoma).



Reservorio para realizar la muestra del reservorio se realizó los siguientes pasos:

- ❖ **Primero paso:** Se realizo el triple lavado del envase con el agua del reservorio antes de tomar la muestra.



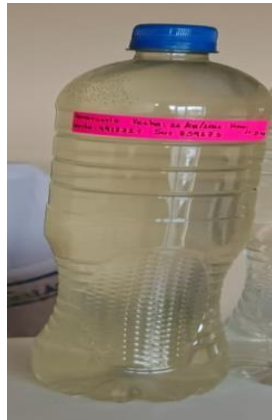
- ❖ **Segundo paso:** Se introdujo el envase con la boca hacia abajo, gira el envase hasta llenar completamente sin dejar burbujas.



❖ **Tercer paso:** Se subió de manera rápida para evitar la contaminación.



❖ **Cuarto paso:** Etiquetar las muestras con su respectivo nombre (Reservorio).



Parcela: Enciende el sistema de riego y esperamos que el flujo se estabilice y dejar de 1 a 2 minutos, después se realizó el lavado de los recipientes 3 veces con el agua de la parcela luego se procedió a tomar la muestra hasta llenarlo sin dejar espacios del aire, cerrar rápidamente, etiquetar la muestra con fecha, hora, nombre (Parcela) y colocar en el cooler para llevar al laboratorio.



9.7. Punto de muestra de suelo

Muestra de suelo

Se realizó una limpieza del área la muestra del suelo se tomará de una profundidad de 15 a 20 centímetros, se recolectará por el método de zigzag, cavar un hoyo se tomó una porción y colocar en fundas de ziploc, se etiquetó las muestras: lugar y fecha, llevar las muestras de suelo al laboratorio para el análisis respectivo (Estructura, materia orgánica, arsénico total, pH, potencial redox, conductividad eléctrica, humedad del suelo).



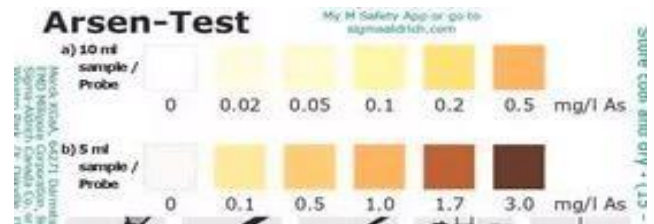
9.8. Comparar los colores y niveles obtenidos para retener o liberar arsénico.

Se realizará en el laboratorio para comparar los colores y niveles obtenidos para retener o liberar arsénico, utilizaremos 4 tratamientos de suelo con diferentes cantidades de materia orgánica.

Preparación de tratamientos

Tratamiento Materia Orgánica

- T1 Solo suelo
- T2 Suelo + 1 cucharadita de MO
- T3 Suelo + 2 cucharaditas de MO
- T4 Suelo + 4 cucharaditas de MO



Procedimiento

- ❖ Coloca 100 g de suelo seco en cada frasco.
- ❖ Agrega la cantidad correspondiente de materia orgánica a cada tratamiento.
- ❖ Añade agua 150 mL aprox, para humedecer bien el suelo sin que quede flotando.
- ❖ Deja reposar los frascos tapados por 5 a 7 días en un lugar oscuro.
- ❖ Luego, filtra el agua de cada frasco usando tela o papel filtro.
- ❖ Usa las tiras reactivas para medir el arsénico en el líquido filtrado.
- ❖ Anota y compara los colores o niveles obtenidos.

10 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Análisis de agua

La tabla 5 se muestra los promedios de los parámetros analizados en tres puntos de un sistema de riego la boca toma, el reservorio y la parcela, los resultados completos se encuentran detallados en el **ANEXO 2**.

Tabla 5. Concentraciones de arsénico y especies químicas en el agua de riego.

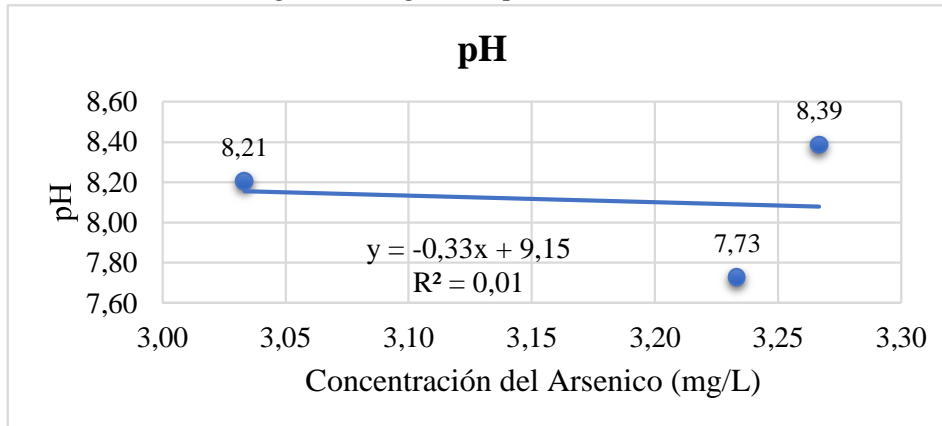
Parámetros	Unidades	Boca Toma	Reservorio	Parcela	Normas Tulsma
pH	Unidades de Ph	7,73	8,39	8,21	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	938,33	865,33	834,67	< 3000 μS/cm
Potencial Redox	Mv	-52,97	-91,20	-78,77	
Materia Orgánica	mg/L	1,21	1,13	0,53	< 5 mg/L
Fosfatos	mg/L	2,69	1,95	2,37	< 1 mg/L

Sulfatos	mg/L	82,24	112,51	86,84	<1000 mg/L
Hierro	mg/L	3,96	3,85	2,21	< 5.0 mg/L
Arsénico	mg/L	3,23	3,27	3,03	< 0.1 mg/L

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Gráfico

1. Ph en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

En la gráfica 1 muestra una pendiente negativa (-0.33), lo que indica que, al aumentar la concentración de arsénico el pH tiende a disminuir ligeramente, mientras el valor de $R^2=0.01$ lo que indica que solo el 1% tiene relación estadísticamente significativa entre las dos variables.

Las especies de arsénico no se comportan como ácidos o bases fuertes, no aportan ni consumen iones de H^+ en cantidades significativas, si el sistema tiene capacidad buffer resiste cambios de pH (Meharg & Hartley-Whitaker, 2002)

Tabla 6 Comportamiento por sitio

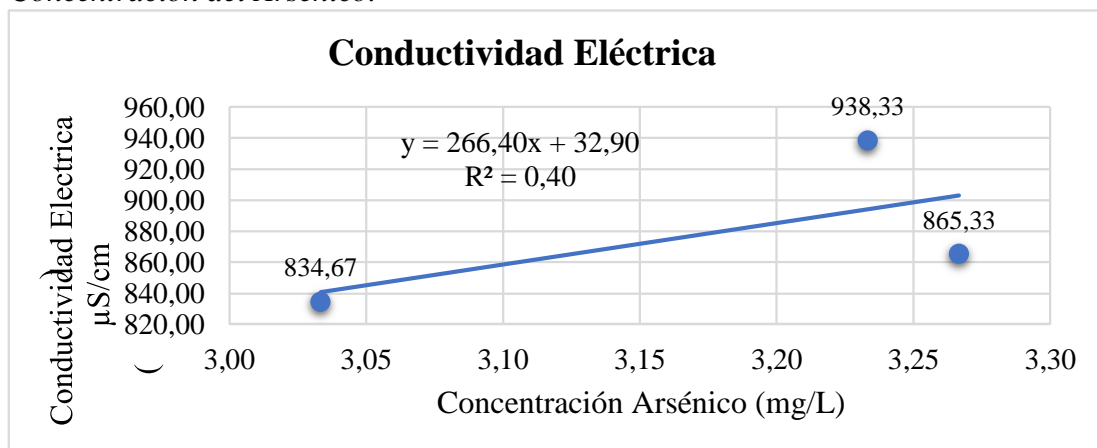
Puntos de Muestreo	pH	Arsénico (mg/L)	
Boca Toma	7,8	2,35	pH moderado; Arsénico bajo.
Reservorio	8,48	3,15	Mayor pH y mayor arsénico: Posible liberación por cambio de condiciones.
Parcela	8,19	2,55	Disminuye levemente pH y también arsénico.

Fuente: (Zheng et al., 2016)

Gráfico . Discusión

En valores alcalinos ($\text{pH} > 8$), los grupos funcionales de los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio se desprotonan, disminuyendo su carga positiva y reduciendo la capacidad de adsorber iones arsenato (AsO_4^{3-}). En estas condiciones, los iones arsenato permanecen en solución debido a la repulsión y la disminución de los sitios de adsorción activos, lo que favorece la desorción un elevado es un factor clave que potencia la liberación del arsénico (Smedley & Kinniburgh) 2002.

Gráfico 2. Conductividad Eléctrica en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

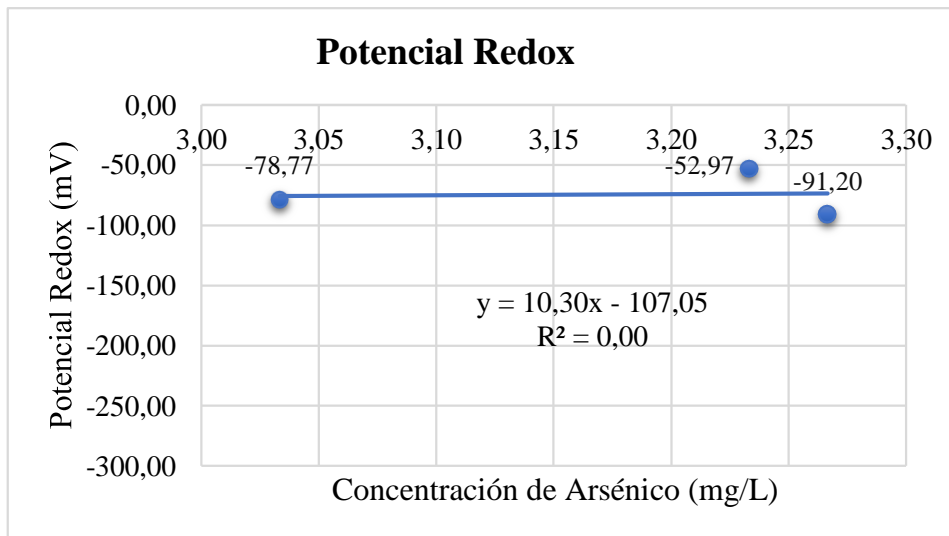
Interpretación

En la gráfica 2 se observa una pendiente positiva (266,40), lo que indica que, al aumentar la concentración del arsénico, la conductividad eléctrica tiende a elevarse. Sin embargo, el valor de $R^2=0.40$ indica que solo un 40%, lo cual implica una correlación moderada. La conductividad eléctrica del agua aumenta con el arsénico porque el arsénico se disuelve en formas iónicas. Sin embargo, la relación es moderada porque otros iones y sales presentes en el agua también contribuyen significativamente a su conductividad (Radiation and health (RAD), 2017).

Discusión

La elevada concentración de sales disueltas, iones compiten directamente con el arsenato y arsenito por los sitios de adsorción en minerales, esta competencia provoca un desplazamiento del arsénico previamente adsorbido hacia la fase acuosa (Dixit & Hering, 2003).

3 Potencial Redox en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

En la gráfica 3 se observa una pendiente positiva (10,30), muestra que no hay una relación lineal estadísticamente significativamente entre la concentración del arsénico y en potencial redox. El valor $R^2=0,00$ implica que no aporta ninguna capacidad al respecto al potencial redox.

La conductividad eléctrica en el agua no está significativamente controlada por el arsénico, ya que otros iones y procesos químicos y biológicos con los principales factores que determinan el potencial redox del sistema (Nordstrom, 2002).

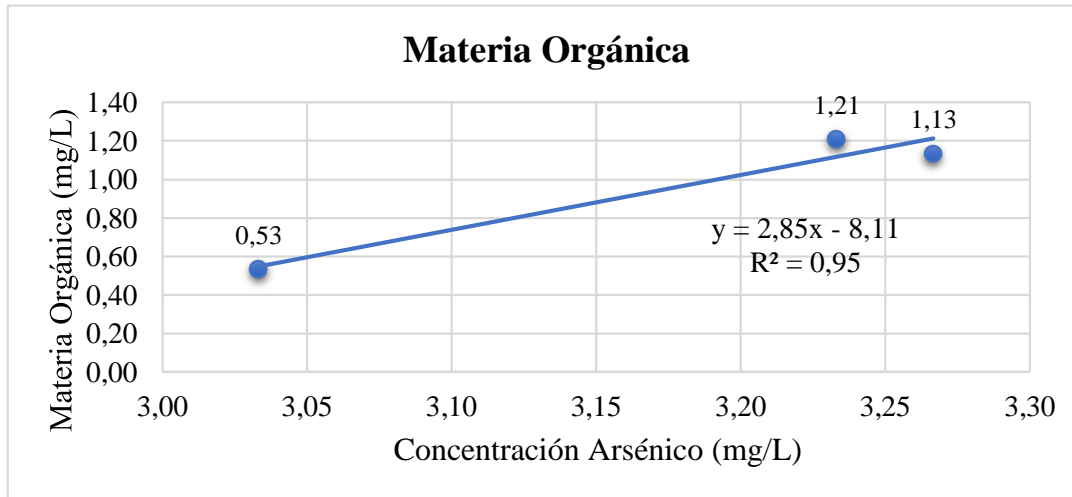
Discusión

Un bajo potencial redox negativo (condiciones reductoras), es termodinámicamente favorable la reducción de arsenato (As^{5+}) a arsenito (As^{3+}), el arsenito es más soluble, más móvil y más tóxico que el arsenato, lo que incrementa su concentración en agua subterránea y superficial (Gilbertson, 2001).

Gráfico .

Gráfico .

4 Materia Orgánica en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del Arsénico.



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

En la gráfica 4 se observa una pendiente positiva (2,85) lo que indica que aumenta la concentración de arsénico, la materia orgánica tiende a disminuirse mientras, el valor de $R^2=0,95$ lo que indica que un 95% lo que refleja una relación estadísticamente muy significativa entre ambas variables.

La correlación entre la concentración del arsénico y materia orgánica se debe la movilización del arsénico aumentando su solubilidad y transporte en el agua adicionalmente, la materia orgánica puede alterar las condiciones redox facilitando la liberación de arsénico de los sedimentos (Ravenscroft et al., 2009).

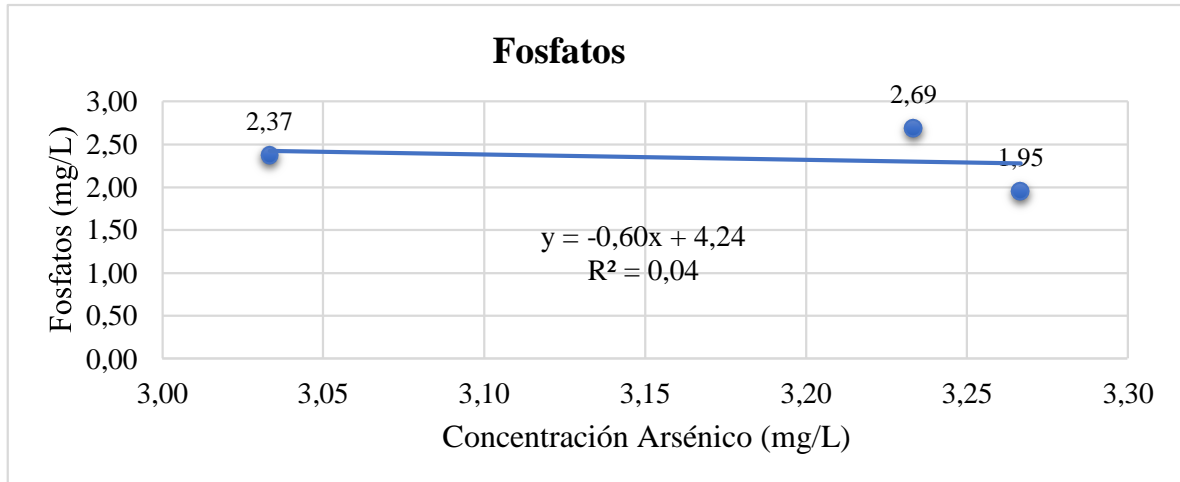
Discusión

Al descomponerse, la Materia Orgánica sirve de sustrato para microorganismos reductores que consumen oxígeno y generan ambientes anóxicos, favoreciendo reacciones de reducción de Fe (III) y As(V), liberando arsénico atrapado en minerales de hierro. (Ghosh et al., 2004).

Gráfico .

Arsénico.

5 Fosfato en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

En la gráfica 5 se observa una pendiente negativa (-0,60) lo que indica que al aumentar la concentración del arsénico y los fosfatos tienden a disminuir ligeramente. Mientras el valor $R^2 = 0,04$ lo que indica que solo un 4%, lo que refleja una relación estadísticamente no significativa y muy débil entre ambas variables.

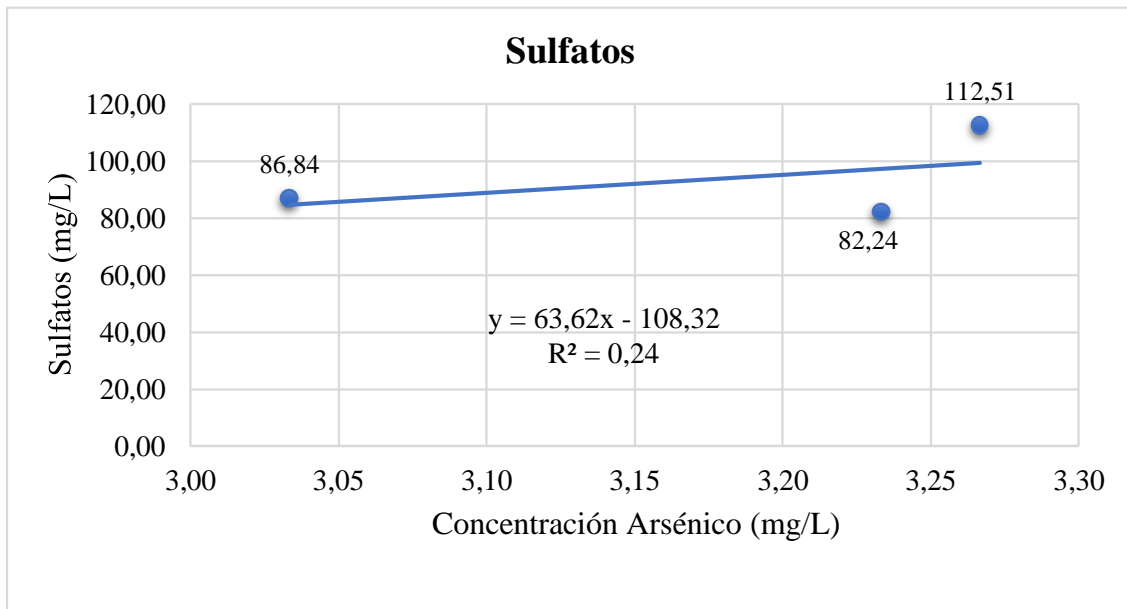
El arsénico y el fosfato puede competir químicamente por los mismos sitios de adsorción en el agua debido a su similitud estructural, pero en este caso la relación es muy débil. El bajo valor $R^2 = 0,04$ indica que el arsénico apenas influye en la concentración de fosfatos, lo que sugiere que otros factores controlan su comportamiento (Violante & Pigna, 2002).

Discusión

Los fosfatos comparten una estructura química similar al arsenato, lo que los convierte en competidores directos en los sitios de adsorción de minerales férricos y a lumínicos. En ambientes agrícolas o zonas con fertilización intensa, la infiltración de fosfatos puede desplazar arseniatos adsorbidos, elevando su concentración en aguas subterráneas presentado una lixiviación de arsénico (Zhao et al., 2010)

Gráfico .
Arsénico.

6 Sulfatos en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

En la gráfica 6 se observa una pendiente positiva (63,62), la línea de tendencia sube ligeramente, indicando que, si el arsénico aumenta, los sulfatos también tienden a subir un poco, Sin embargo, el valor $R^2=0,24$ lo que indica que solo un 24% de la variabilidad esto dice que la conexión entre arsénico y sulfatos no es muy fuerte y que la mayoría de las variaciones en los sulfatos se deben a otros factores.

La relación entre concentración del arsénico y los sulfatos pueden deberse a la oxidación de minerales como la arsenopirita, que libera ambos compuestos al agua, esto indica que esta relación es débil, por lo que otros factores como fertilizantes o procesos naturales, influyen más en la variación de los sulfatos (Bhattacharya et al., 2007).

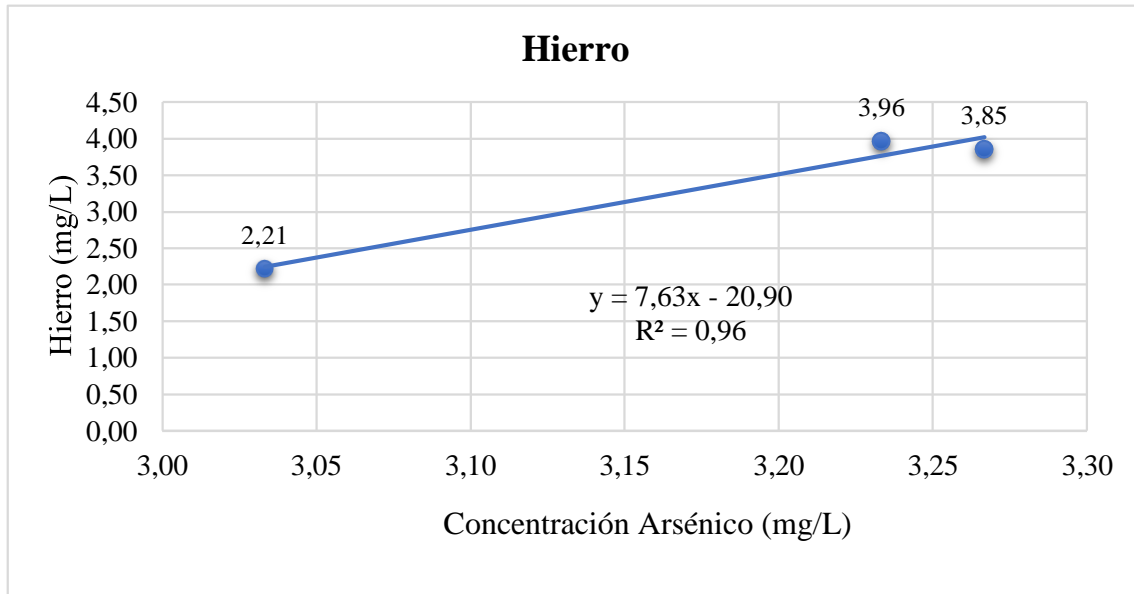
Discusión

En ambientes anaerobios, los sulfatos pueden ser utilizados como aceptores de electrones por bacterias sulfato reductoras, generando sulfuros (S^{2-}), favoreciendo a la formación de sulfuros y precipitación de arsénico como sulfuros metálicos (Newman et al., 2003).

Gráfico .

Arsénico.

7 Hierro en el agua de riego en 3 puntos de muestreo con la Concentración del



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

En la gráfica 7 se observa una pendiente positiva (7,63) lo que indica que, al aumentar la concentración de arsénico, el hierro tiende a aumentar significativamente, el valor $R^2=0,96$ lo que indica que un 96% de la variabilidad en hierro puede ser directamente explicado por los cambios en el arsénico.

El arsénico y el hierro muestran una fuerte relación porque ambos se liberan juntos desde minerales de hierro en condiciones reductoras. Cuando los óxidos de hierro se disuelven, liberan hierro y también el arsénico que estaba ligado a ellos, lo que explica que al aumentar el arsénico también aumenta el hierro en el agua (Williams et al., 2006).

Discusión

Es evidente que el hierro funciona como un agente adsorbente principal del arsénico a través de óxidos e hidróxidos. Sin embargo, procesos como la disolución reductiva, el cambio del pH y la integración con la materia orgánica pueden potenciar su liberación del agua (Welch et al., 2009).

Gráfico .

Arsénico.

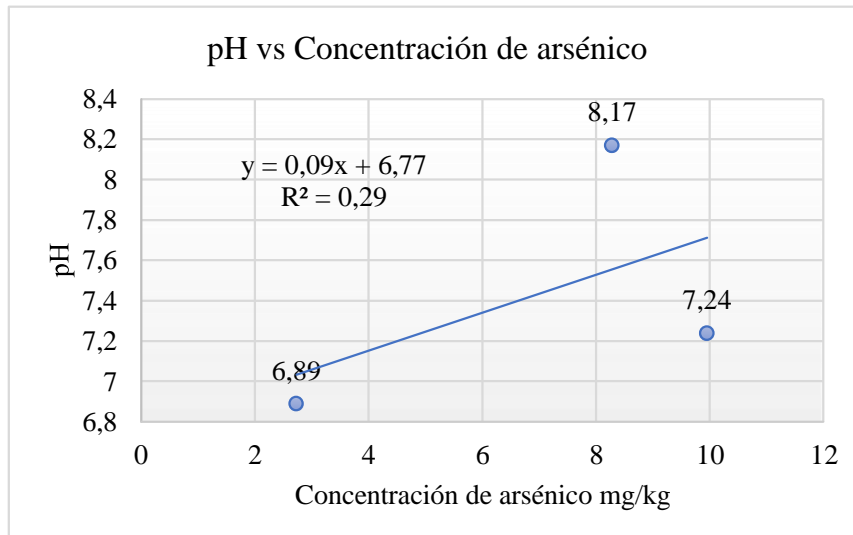
10.2.Parámetros del suelo

En la siguiente tabla muestra los resultados del análisis de suelo de los parámetros físicos y químicos en tres muestras.

Tabla 7. Concentraciones de arsénico y especies químicas y físicas en el suelo agrícola.

Muestra Suelo							
Parámetros	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Normas TULSMA	Normas FAO	Tipo
pH	Unidades de pH	7,24	8,17	6,89	5,5 - 8,5		Químico
Conductividad Eléctrica	μS/cm	666	96,8	37,40	≤ 2000 μS/cm		Físico
Potencial Redox	mV	-25,3	-77,2	-4,10		> +100 mV	Químico
Humedad	g/100g	0,49	0,3	1,51		> 1 g/100g	Físico
Arsénico	mg/kg	9,95	8,28	2,73	5 mg/kg		Químico
Clase textura	Tipo: Franco arcillo arenoso						Físico

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Gráfico 8. pH vs Concentración de arsénico

Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

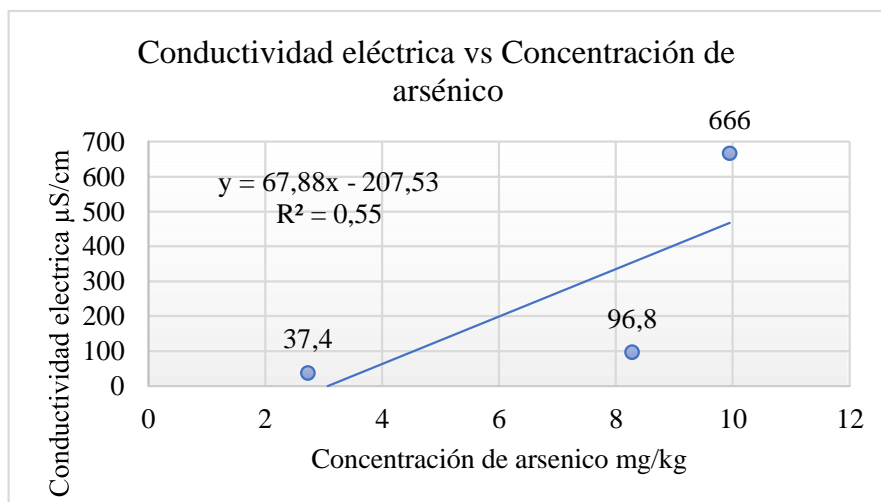
La gráfica 8 muestra una relación positiva a mayor concentración de arsénico, el pH tiende a incrementarse, estadísticamente la correlación es débil y $R^2 = 0,29$ sugiere que solo el 29 % de la variabilidad en el pH puede explicarse por la concentración de arsénico. Desde el punto de vista químico el pH se presenta como un parámetro útil para entender la movilidad y especiación del arsénico en ambientes donde se favorece la liberación de arsénico a medida que el pH es neutro, alcalino predominan especies como el arsenato (As^{5+}), que tienden a liberarse más

fácilmente desde la superficie de minerales férricos (Fe_3O_4) u óxidos metálicos según (Jackson & Miller, 2000).

Discusión

La movilidad del arsenato (As^{5+}) en el suelo varía según el pH en condiciones ácidas, se adsorbe más debido a las cargas positivas en óxidos de hierro y aluminio, mientras que en medios alcalinos su retención disminuye por cargas negativas y competencia con otros aniones como fosfato y carbonato según (Abbas et al., 2018).

Gráfico 9. Conductividad vs Concentración de arsénico



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

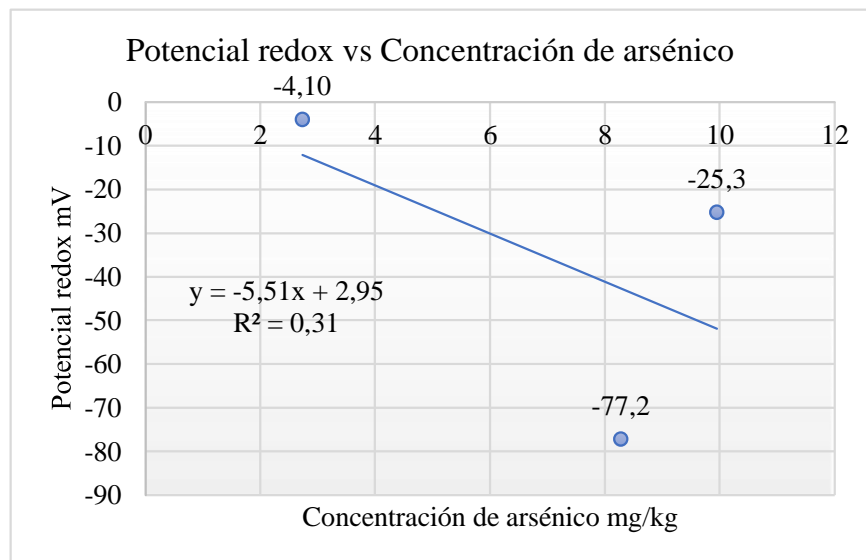
Interpretación

El gráfico 9 indica estadísticamente una relación positiva y una correlación modernamente fuerte entre ambas variables, $R^2=0.55$, muestra que el 55 % existe cambios en la variabilidad en la conductividad eléctrica y arsénico. Desde el punto de vista químico, la conductividad eléctrica es un buen parámetro indicador del grado de movilidad iónica y el comportamiento geoquímico del arsénico en medios acuosos o suelos saturados es decir que a medida que aumenta la concentración de arsénico, también se incrementa la presencia de especies iónicas en solución como arsenato (As^{5+}) o arsenito (As^{3+}), lo cual contribuye directamente al aumento de la conductividad eléctrica del medio. (Romero-Freire 2015).

Discusión

La conductividad eléctrica, indicador de la cantidad de iones solubles, influye al favorecer la competencia iónica, quienes señalan que mayor concentración de sales solubles pueden desplazar una alta concentración de aniones y cationes favorece la competencia por sitios de adsorción, facilitando su movimiento en el suelo según (Dai et al., 2024).

Gráfico 10. Potencial redox vs Concentración de arsénico



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

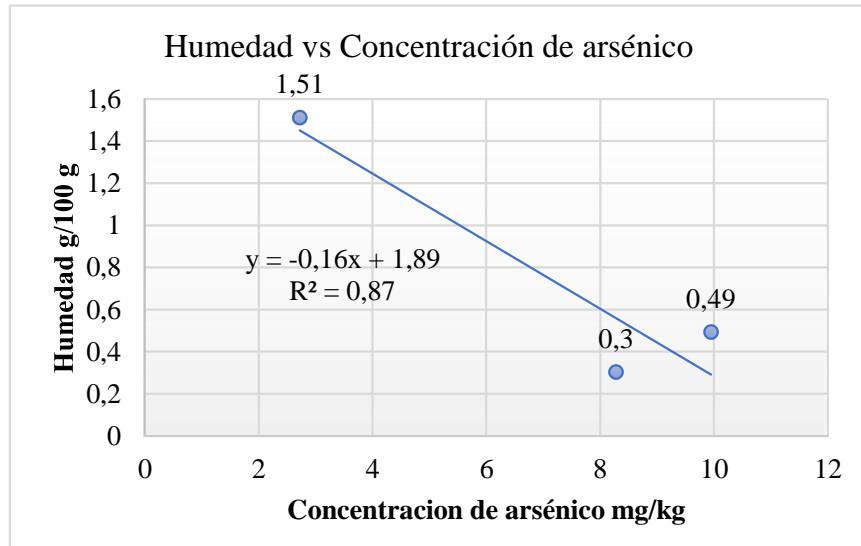
En la gráfica 10 la correlación estadística entre la concentración de arsénico y el potencial redox es moderado $R^2=0.31$ indica que solo el 31% de los cambios en el potencial redox del suelo se deben a la concentración de arsénico, existe una tendencia negativa. Esta relación sugiere que el potencial redox es un parámetro útil y representativo para evaluar el comportamiento del arsénico en el ambiente, ya que condiciones más reductoras favorecen la presencia de formas más móviles y tóxicas, como el arsenito (As^{3+}) indicando que el potencial redox puede considerarse un indicador clave para inferir la movilidad, especiación y riesgo ambiental del arsénico según (Masscheleyn, 2002).

Discusión

En suelos con condiciones reductoras, el arsénico se presenta como arsenito (As^{3+}), más tóxico y móvil altamente soluble y débilmente adsorbido por los minerales del suelo, mientras que en

ambientes oxidantes predomina el arseniato (As^{5+}), se convierte en oxianiones como arsenato ácido (H_2AsO_4^-) que, al tener carga negativa, muestran una afinidad por superficies minerales que tiene cargas positivas, sobre todo óxidos de hierro (Fe_2O_3) y de aluminio (Al_2O_3). Estos minerales funcionan como sitios activos de adsorción a través de interacciones electrostáticas e intercambio iónico, lo que inmoviliza al arseniato según (Álvarez-Benedí, 2003).

Gráfico 11. Humedad vs Concentración de arsénico



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

Interpretación

La gráfica 11 muestra una correlación alta entre humedad y concentración de arsénico y $R^2 = 0.87$ indica que el 87 % existe cambios en la humedad y concentración de arsénico en el suelo. La humedad es un parámetro clave para entender la dinámica de la concentración del arsénico y su movilidad ya puede explicarse en condiciones de baja humedad, se reduce la dilución y dispersión del arsénico, favoreciendo su acumulación en formas más concentradas en el sólido. También, una menor humedad limita los procesos de lixiviación y transporte, promoviendo la retención del arsénico en fases sólidas del suelo según (Kroeksakul., 2016).

Discusión

La humedad regula la movilidad química del arsénico, en suelos más húmedos se incrementa la solubilidad y difusión del arsénico, aunque puede generarse reducción de As^{5+} a As^{3+} si las condiciones son anóxicas, la baja humedad reduce la lixiviación, lo cual incrementa la retención del arsénico en la matriz sólida, la humedad también influye en el estado de oxidación del arsénico en ambientes más secos y oxidantes, predomina la forma arsenato (As^{5+}), que tiene

mayor afinidad por los coloides minerales, favoreciendo su fijación. lo cual está bien documentado por (Mansfeldt & Overesch, 2013).

Clase textural

La clase textural del suelo según el análisis de laboratorio del **ANEXO 3** se clasifica como franco arcillo-arenoso, predominando la arena con un 66,58 %, esta alta proporción de arena resulta en una baja capacidad de adsorción de arsénico, debido a su limitada superficie específica, el limo está presente en un 5,28 %, contribuyendo a este proceso, la arcilla constituye el 28,29 % del suelo y es el componente más efectivo en la retención de arsénico, gracias a su gran superficie específica y carga superficial, que facilitan la adsorción de este metaloide.

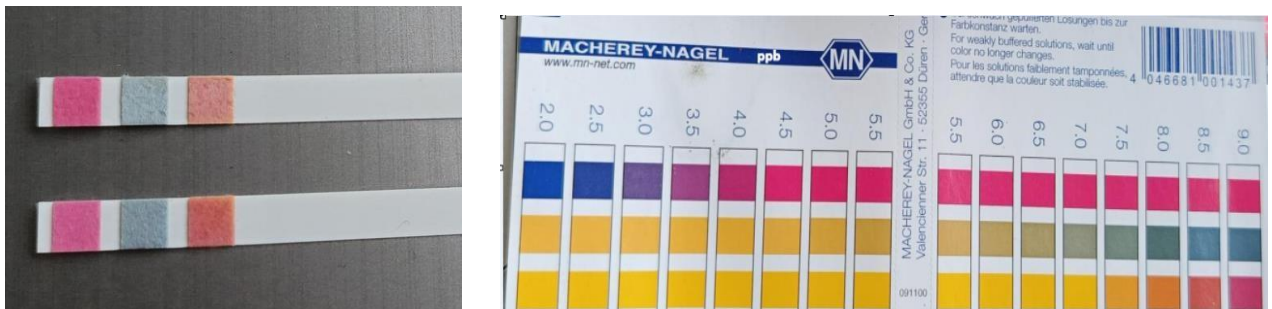
La textura del suelo, particularmente el contenido de arcilla, es crucial para la retención química del arsénico, ya que su superficie cargada negativamente favorece la adsorción de especies aniónicas como el arseniato a través de interacciones electrostáticas y de complejos de superficie (Reyes-Bozo 2025).

Tabla 8. Retención de arsénico en suelo agrícola de forma cualitativa

Tratamiento	Materia Orgánica	Concentración de arsénico mg/Kg
T1	100 gr Suelo	0,008
T2	100 gr Suelo + 15 gr de MO (cuyasa)	0,007
T3	100 gr Suelo + 30 gr de MO (cuyasa)	0,0065
T4	100 gr Suelo + 60 gr de MO (cuyasa)	0,006

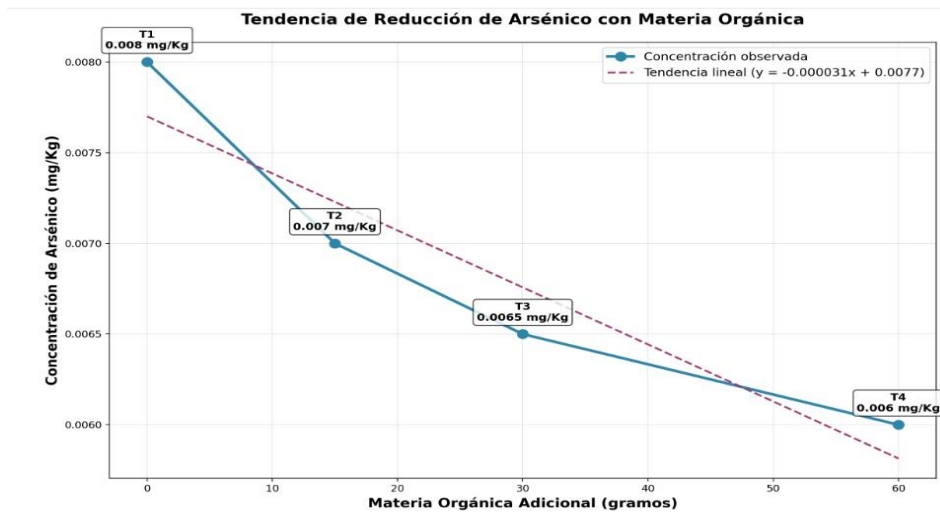
Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025) **Imagen**

2. pH.



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

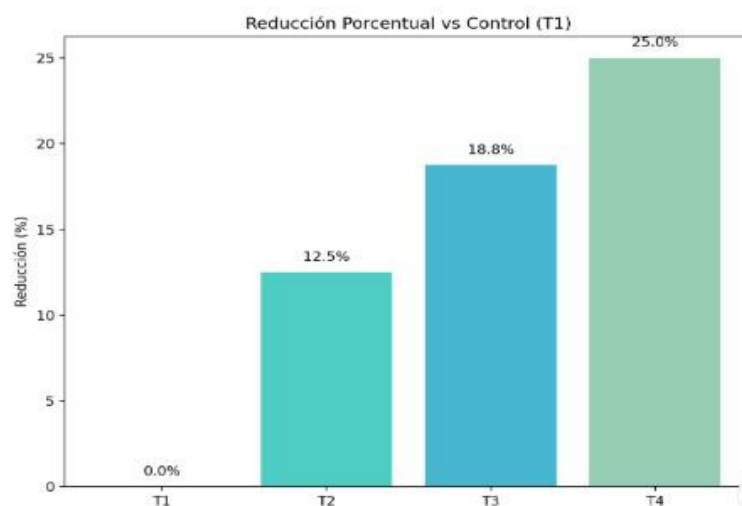
Gráfico 12. *Tendencia de Reducción de arsénico con materia orgánica.*



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

En la gráfica 12 se observa que existe la disminución en la concentración de arsénico en el suelo en función de la cantidad de materia orgánica adicional en gramos que se explica. Se observa que, a medida que la materia orgánica aumenta desde 0 a 60 gramos, la concentración de arsénico se reduce progresivamente, pasando de 0.008 mg/kg en T1 (sin materia orgánica) a 0.006 mg/kg en T4 (con 60 gramos de materia orgánica). La línea azul conecta los puntos medidos, mientras que la línea punteada representa una tendencia lineal descendente, lo que indica que, por cada gramo adicional de materia orgánica, la concentración de arsénico disminuye aproximadamente 0.000031 mg/kg.

Gráfico 13. *Reducción Porcentual de arsénico.*



Elaborado por: Baltazaca D. & Oña L. (2025)

En la gráfica 13 se observa la disminución porcentual del arsénico aumenta de forma progresiva a medida que se incrementa la cantidad de materia orgánica aplicada, en comparación con el testigo (T1). El tratamiento T2 alcanza una la disminución al 12,5%, y el tratamiento T3 eleva esta reducción al 18,8%, el tratamiento T4 logra la mayor consigue la reducción con un 25%. Este comportamiento indica que la adición de materia orgánica ejerce un efecto positivo y acumulativo en la inmovilización o fijación del arsénico en el suelo, mejorando la calidad del medio y reduciendo su disponibilidad para las plantas, lo que refuerza la importancia de las enmiendas orgánicas como estrategias de remediación.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Conclusiones

- ❖ Las concentraciones de arsénico total en el agua de riego de la Junta Tiliche son significativamente superiores a los límites establecidos por la normativa TULMAS (< 0.1 mg/L), con valores entre 3,23 y 3,27 mg/L en los puntos de muestreo (bocatoma, reservorio, y parcela), donde las condiciones fisicoquímicas de pH alcalino y potencial redox negativo indica que el arsénico se encuentra predominante en forma de arsenito (As^{5+}), siendo la más tóxica y móvil, mientras que en el suelo los parámetros fisicoquímicos de las tres muestras de suelo el pH como la conductividad eléctrica cumplen con los límites establecidos por la normativa del TULSMA. El potencial redox en las tres muestras no se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa. La humedad y el contenido de arsénico, las muestras 1 y 2 presentan niveles superiores a los límites establecidos por la FAO para humedad (>1 g/100 g) y por el TULSMA para arsénico (5 mg/kg).
- ❖ En el agua de riego se encontró una alta correlación entre el arsénico y el hierro ($R^2=0,96$) y la materia orgánica ($R^2=0,95$), lo que indica que en condiciones reductoras ambos se liberan y facilitan la movilidad del arsénico. La conductividad eléctrica mostro una relación moderada ($R^2=0,40$), sugiriendo que el arsénico aporta carga iónica. En cambio, el pH ($R^2=0,01$), fosfatos ($R^2=0,04$), sulfatos ($R^2=0,24$) y su no mostraron una relación significativa con el arsénico, indicando que este no influye directamente en su comportamiento, mientras que en el suelo los parámetros físicos, químicos analizados muestran que la concentración de arsénico en el suelo está influenciada por factores como la clase textural, la humedad, el pH, la conductividad eléctrica y el potencial redox. La correlación más alta es la humedad ($R^2 = 0.87$), lo que indica que ambientes húmedos favorecen la movilidad del arsénico, también se evidencian condiciones

reductoras potencial redox bajo que favorecen formas más móviles y tóxicas como el arsenito As^{3+} .

- ❖ Los tratamientos con materia orgánica lograron reducciones porcentuales de arsénico del 12.5%, 18.8% y hasta un 25% en comparación con el suelo sin materia orgánica lo que indica que la materia orgánica inmoviliza el arsénico al suelo mejorando la calidad del medio y la reducción de la disponibilidad del arsénico en las plantas.

11.2 Recomendaciones

- ❖ Monitoreo constante de la calidad del agua de riego, especialmente en lo referente a arsénico total y sus especies químicas, para evitar la acumulación en los suelos y cultivos se sugiere realizar análisis en época seca y lluviosa.
- ❖ Se recomienda ampliar el número de muestras de agua y suelo para mejorar la precisión estadística y permita identificar tendencias o relaciones más claras entre los parámetros analizados.
- ❖ Incorporar materia orgánica de manera controlada, ya que puede favorecer la adsorción del arsénico en algunos contextos, pero también puede aumentar su movilidad bajo condiciones reductoras.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Aftabtalab, A., Moreno-Jiménez, E., Henschel, J., Nowak, S., Schaller, J., & Knorr, K. (2022). The Impact of Dissolved Organic Matter on Arsenic Mobilization from Goethite in the Presence of Silicic Acid and Phosphate under Reducing Conditions. *Water*, *14*(19), 2975. <https://doi.org/10.3390/w14192975>
- Álvarez-Benedí, Bolado Rodríguez, Cancillo Carro, C. Calvo Revuelta. (2003, 10 10). DINÁMICA DE ADSORCIÓN – DESORCIÓN DE ARSÉNICO (V) EN SUELOS DE CULTIVO EN CASTILLA Y LEÓN. Retrieved 07 21, 2025, from https://abe.ufl.edu/faculty/carpna/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p331-338.pdf
- Alvaro. (2017, 09 19). *El Problema del Arsénico en las Aguas de Riego*. Fertilab. Retrieved May 4, 2025, from <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/182-El-Arsenico-en-lasAguas-de-Riego.pdf>
- Bauer, M., & Blodau, C. (2005). Mobilization of arsenic by dissolved organic matter from iron oxides, soils and sediments. *The Science Of The Total Environment*, *354*(2-3), 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.027>
- Dai, W., Shi, R., Li, X., Zhao, Z., Xia, Z., Li, D., Li, Y., Cui, G., & Ding, S. (2024). Factors and Mechanisms Affecting Arsenic Migration in Cultivated Soils Irrigated with Contained Arsenic Brackish Groundwater. *Microorganisms*, *12*(12), 2385. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12122385>
- FAO. (2012, 04 11). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS LIBRO VI ANEXO 2*. Retrieved 06 13, 2025, from <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>
- FAO. (2012, 4 11). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. LIBRO VI Anexo 1*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- FAO. (2021, 10 06). *¿QUÉ ES el pH del Suelo?* FAO Knowledge Repository. Retrieved May 7, 2025, from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e434293fc9d1-4585-a799-b7c9107ea64e/content>
- FAO. (n.d.). 6. *TEXTURA DEL SUELO*. 6. TEXTURA DEL SUELO. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

- Gladis Zinati & Xiufu Shuai. (2005, 12). *FS516: Management of Iron in Irrigation Water (Rutgers NJAES)*. New Jersey Agricultural Experiment Station. Retrieved May 5, 2025, from <https://njaes.rutgers.edu/fs516/>
- Guy Sela. (2019, May 1). *Descubre la calidad del agua de riego*. Cropaia. Retrieved May 4, 2025, from <https://cropaia.com/es/blog/calidad-agua-de-riego/>
- Han, Y., Park, J., Kim, S., Jeong, H. Y., & Ahn, J. S. (2019). Redox transformation of soil minerals and arsenic in arsenic-contaminated soil under cycling redox conditions. *Journal Of Hazardous Materials*, 378, 120745. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120745>
- Ibáñez, J. J. (2010, 22 enero). El Potencial Redox de los Suelos - Un Universo invisible bajo nuestros pies. *Un Universo invisible bajo nuestros pies - Los suelos y la vida*. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/28/83434>
- Ima Water Technology S.L. (2016). *Información técnica filtros para eliminar fosfatos del agua*. Plantas de ósmosis. Retrieved May 5, 2025, from <https://www.plantasdeosmosis.com/productos/filtros-de-aguaindustriales/informacion-tecnica-filtros-ima-water/105/informacion-tecnica-filtrospara-eliminar-fosfatos-del-agua.html>
- Infoagro. (2010, 04 20). *¿Qué es la Textura del Suelo, cómo se clasifica?* InfoAgronomo. Retrieved July 16, 2025, from <https://infoagronomo.net/que-es-la-textura-del-suelocomo-se-clasifica/>
- J. Orlando Argüello Tovar. (2022, 04 26). *CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO*. Retrieved 05 04, 2025, from https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37104/Ver_Documento_37104.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Jackson, B. P., & Miller, W. P. (2003). Effectiveness of Phosphate and Hydroxide for Desorption of Arsenic and Selenium Species from Iron Oxides. *Soil Science Society Of America Journal*, 64(5), 1616-1622. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451616x>
- Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants. En *CRC Press eBooks*. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kroeksakul, P., Srisuwan, P., Uaesukpakdee, T., & Panichpaisarn, J. (2024). An Interactive Behavior of Soil Moisture Influences the Concentration of Arsenic in the Acidic Soil of the Plow Layer of the Central Region of Thailand. *Journal Of Ecological Engineering*, 25(8), 168-178. <https://doi.org/10.12911/22998993/190131>

- Kroeksakul, P., Srisuwan, P., Uaesukpakdee, T., & Panichpaisarn, J. (2016). An Interactive Behavior of Soil Moisture Influences the Concentration of Arsenic in the Acidic Soil of the Plow Layer of the Central Region of Thailand. *Journal Of Ecological Engineering*, 25(8), 168-178. <https://doi.org/10.12911/22998993/190131>
- Kumari, P. B., Singh, Y. K., Mandal, J., Shambhavi, S., Sadhu, S. K., Kumar, R., Ghosh, M., Raj, A., & Singh, M. (2020). Determination of safe limit for arsenic contaminated irrigation water using solubility free ion activity model (FIAM) and Tobit Regression Model. *Chemosphere*, 270, 128630. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128630>
- Liu, G., Fernandez, A., & Cai, Y. (2011). Complexation of Arsenite with Humic Acid in the Presence of Ferric Iron. *Environmental Science & Technology*, 45(8), 3210-3216. <https://doi.org/10.1021/es102931p>
- MAGALI JAZMIN ESTUDILLO CLAVERIA. (2015, 03 24). *TESIS: CONTENIDO DE ARSÉNICO EN SUELOS AGRÍCOLAS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS*.
- Mancilla-Villa, Ó. R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (s. f.). *Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992012000100004
- Mansfeldt, T., & Overesch, M. (2013). Arsenic Mobility and Speciation in a Gleysol with Petrogleyic Properties: A Field and Laboratory Approach. *Journal of Environmental Quality*, 42(4), 1130–1141. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0225>
- María Victoria Cremona, Andrea Soledad Enriquez. (2020, 08 11). *ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE CONDICIONAN SU COMPORTAMIENTO: El pH y la conductividad eléctrica*. Retrieved 05 07, 2025, from https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/209253/CONICET_Digital_Nro.098b0587-3a5b-412f-a386-de286bd8fde0_L.pdf?sequence
- Masscheleyn, P. H., Delaune, R. D., & Patrick, W. H. (2002). Effect of redox potential and pH on arsenic speciation and solubility in a contaminated soil. *Environmental Science & Technology*, 25(8), 1414-1419. <https://doi.org/10.1021/es00020a008>

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (n.d.). *MAE conserva Reserva Ecológica Los Ilinizas, tesoro natural de los Andes ecuatorianos – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Retrieved June 8, 2025, from <https://www.ambiente.gob.ec/mae-conservareserva-ecologica-los-ilinizas-tesoro-natural-de-los-andes-ecuatorianos/>
- Nguyen, K. T., Ahmed, M. B., Mojiri, A., Huang, Y., Zhou, J. L., & Li, D. (2021). Advances in As contamination and adsorption in soil for effective management. *Journal Of Environmental Management*, 296, 113274. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113274>
- Rahman, Clark, M., Yee, L., Comarmond, M., Payne, T., & Burton, E. (2019). Effects of pH, competing ions and aging on arsenic(V) sorption and isotopic exchange in contaminated soils. *Applied Geochemistry*, 105, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.04.016>
- Reyes-Bozo, L., Vyhmeister, E., Castane, G. G., Chirinos, J., Zárraga, J., Sandoval-Yáñez, C., & Valdés-González, H. (2025). A Systematic literature review on the use of clays for arsenic removal. *Water*, 17(9), 1402. <https://doi.org/10.3390/w17091402>
- Romero-Freire, A., Peinado, F. J. M., Ortiz, M. D., & Van Gestel, C. A. M. (2015). Influence of soil properties on the bioaccumulation and effects of arsenic in the earthworm *Eisenia andrei*. *Environmental Science And Pollution Research*, 22(19), 15016-15028. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4659-4>
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568. [https://doi.org/10.1016/s0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/s0883-2927(02)00018-5)
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002b). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568. [https://doi.org/10.1016/s0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/s0883-2927(02)00018-5)
- Søndergaard, M. (2009). Redox potential. En *Elsevier eBooks* (pp. 852-859). <https://doi.org/10.1016/b978-012370626-3.00115-0>
- Verma, S. K., & Chaurasia, S. (2024). Implicating the effects of consuming water with a high level of arsenic content: highlighting the cause and consequences of arsenic contamination in drinking water. *Water Practice & Technology*. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.072>