



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS

NATURALES

CARRERA DE AGRONOMIA

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*Medicago sativa*), ACHIRA (*Canna indica*), Y SIGSE (*Cortaderia nitida*) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros Agrónomos

**Autores:**

Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin  
Chuquimarca Vasco Tania Lizeth

**Tutora:**

Ilbay Yupa Mercy Lucila

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2024


## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin, con cédula de ciudadanía No. 1752851368 y Chuquimarca Vasco Tania Lizeth, con cédula de ciudadanía No. 1751734482, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*), ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”** siendo la Ingeniera Ilbay Yupa Mercy Lucila. Ph. d, Tutor 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, 15 de agosto del 2024

  
Edison Stalin Chicaiza Guanoquiza  
C.C: 1752851368  
**ESTUDIANTE**

  
Tania Lizeth Chuquimarca Vasco  
C.C: 1751734482  
**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 **CHICAIZA GUANOQUIZO EDISON STALIN**, identificado con cédula de ciudadanía **1752851368** 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 **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*), ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**, 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. Ilbay Yupa Mercy Lucila. Ph. d

Tema: **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*), ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**

**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 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 15 días del mes de agosto del 2024.

  
Edison Stalin Chicaiza Guanoquiza

**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D

**LA CESIONARIA**

## **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 **CHUQUIMARCA VASCO TANIA LIZETH**, identificada con cédula de ciudadanía **1751734482** 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 **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*), ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**, 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. Ilbay Yupa Mercy Lucila. Ph. D

Tema: **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*), ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**

**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 15 días del mes de agosto del 2024.

  
Tania Lizeth Chuquimarca Vasco

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.


**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*),  
ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA  
MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ  
DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**, de Chicaiza  
Guanquiza Edison Stalin y Chuquimarca Vasco Tania Lizeth, 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, 15 de agosto del 2024

  
Ing. Ilbay Yupa Mercy Lucila. Ph.D.  
C.C: 0604147900  
**DOCENTE TUTOR**

## 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, los postulantes: Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin y Chuquimarca Vasco Tania Lizeth, con el título del Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (MEDICAGO SATIVA), ACHIRA (CANNA INDICA), Y SIGSE (CORTASDERIA NITIDA) PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**, 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, 15 de agosto del 2024



Ing. Carrera Molina David Santiago, Mg.

C.C: 0502663180

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Tapia Borja Alexandra Isabel, Mg.

C.C: 0502661754

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Changuisig Francisco Hernan, Mg.

C.C: 0501883920

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales a la cual me siento orgulloso de pertenecer. A mis profesores que me brindaron sus conocimientos, experiencias y anécdotas que me ayudaron en mi formación profesional y personal, en especial a mi tutora, Ing. Mercy Ilbay quien me brindo su tiempo, conocimiento, experiencia y paciencia, por haberme guiado de la mejor manera para el desarrollo y culminación de este proyecto, que además de ser una excelente docente, es una excelente persona.*

*Y finalmente a todos quienes me motivaron, ayudaron y participaron para la realización de este proyecto, gracias.*

***Edison Stalin Chicaiza Guanoquiza***

## **AGRADECIMIENTO**

*Uno de los valores del ser humano es la gratitud, por eso agradezco en primera instancia a DIOS por haberme dado salud, constancia y capacidad para cumplir con mi objetivo.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi por darnos la enseñanza transmitida a través de sus docentes.*

*A la Ing. Ilbay Yupa Mercy Lucila, que con su paciencia supo impartir sus sabias enseñanzas y orientarnos para hacer efectivo los anhelos y aspiraciones en el presente trabajo de investigación.*

*Mi agradecimiento, va dirigido especialmente a mis padres, quienes me han apoyado arduamente día tras día. Así como también a mi familia: Tíos, Tías, Primas y Primos, por sus consejos, colaboración y apoyo con sus palabras positivas que han hecho hincapié en este proceso, para no desmayar y llega a cumplir la meta.*

***Tania Lizeth Chuquimarca Vasco***

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis queridos padres Segundo Luis Chicaiza Santillan y Rosa Elena Guanoquiza Chuqitarco por apoyarme para lograr la culminación de mis estudios superiores, por ser el apoyo incondicional y el pilar fundamental en mi vida. A mi pequeño hijo Bruno Gael Chicaiza y a mi esposa Fernanda Sangucho por ser ese apoyo e impulso para seguir adelante. A mis hermanos/a que estuvieron al pendiente de cada proceso de mi carrera. A mis compañeros/a quienes fueron parte de este proceso de formación académica.*

*Este esfuerzo se los dedico a todos Ud. Con mucho cariño.*

***Edison Stalin Chicaiza Guanoquiza***

## **DEDICATORIA**

*La presente investigación se la dedico a mis queridos padres: Chuquimarca Morales Segundo Pedro y Vasco Tupiza María Clemencia por su amor incondicional, por cada uno de sus consejos, palabras de aliento, por ser mi apoyo, por sus esfuerzos y sacrificio también mencionándome que todo sacrificio tiene su recompensa, han sido mi pilar fundamental para cumplir esta meta de convertirme en toda una profesional.*

*A mis abuelitos paternos: Margarita Morales, Gonzalo Chuquimarca y a mis abuelitos maternos Rosa Vasco y Raúl Columba, quienes me han brindado apoyo, el ejemplo, confianza y amor eterno.*

*A todos mis hermanos: Byron, Pedro, Andrea, Ingrid, Brigitte también a mi Cuñado, que han estado en las buenas y malas. Que siempre creyeron en mí, con sus palabras de aliento que me motivaron para seguir creciendo como persona y profesionalmente.*

**Tania Lizeth Chuquimarca Vasco**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*),  
ACHIRA (*CANNA INDICA*), Y SIGSE (*CORTASDERIA NITIDA*) PARA  
MEJORAMIENTO DE SUELOS DE LA JUNTA DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ DEL  
CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI 2024”**

**Autores:**

Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin  
Chuquimarca Vasco Tania Lizeth

**RESUMEN**

La contaminación del agua de riego con arsénico afecta la salud de los suelos agrícolas. En esta investigación se evaluó agronómicamente la alfalfa (*Medicago sativa*), achira (*Canna indica*), y sigse (*Cortasderia nítida*) para mejoramiento de suelos de la junta de riego Tiliche San José del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi 2024. El siguiente estudio es con el fin de evaluar la fertilidad del suelo y la concentración de arsénico en tres especies alfalfa, achira y sigse como fitorremediadora, el proceso del estudio se basa en un muestreo sistemático del suelo utilizando un diseño en zigzag para garantizar una cobertura representativa de un área de 64m<sup>2</sup>. Se implementó un diseño experimental completamente al azar con tres especies y tres repeticiones permitiendo evaluar el crecimiento y la capacidad de absorción de arsénico de las especies. Además, se realizaron muestreos de partes de las plantas (raíz, tallo y hojas) para evaluar la eficacia de las especies en la fitorremediación de los suelos contaminados. El análisis de suelo reveló buenas condiciones en términos altos P 69,0 ppm, K 0,7 meq/100g, Ca 10,3 meq/100g y Mg 3,4 meq/100g, en término medio Cu 4,0 ppm y en términos bajos N total 0,32%, Mn 3,0 ppm, M.O. 3,0%. El pH del suelo 7,6 es ligeramente alcalino. La concentración de arsénico en cada uno de los tratamientos aumento significativamente de abril a julio en el T1 0,88mg As/kg, T2 0,98 mg As/kg y el T3 0,76 mg As/kg. Las diferencias significativas en el crecimiento de las plantas indicaron que la concentración de arsénico impacto de manera diferencial en el desarrollo de cada especie, siendo la alfalfa quien mostró mayor crecimiento. En el análisis de VARIANZA, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, es decir que todas las especies tiene una capacidad similar de adaptación en este periodo inicial. La alfalfa (*Medicago sativa*) mostro un crecimiento notable, alcanzando alturas de hasta 90cm en condiciones de concentración de arsénico. Demostrando ser la especie con mayor capacidad fitorremediadora, acumulándose tres veces más en la parte aérea que en la raíz. La investigación concluye que la alfalfa es la especie más efectiva en la fitorremediación de suelos contaminados con As, mostrando una notable capacidad de adaptación y absorción para mejorar la calidad del suelo en la comunidad de Tiliche San José.

**Palabras clave:** fitorremediación, arsénico, absorción, adaptación

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI  
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “AGRONOMIC EVALUATION OF ALFALFA (MEDICAGO SATIVA),  
ACHIRA (CANNA INDICA), AND SIGSE (CORTASDERIA NITIDA) FOR SOIL  
IMPROVEMENT IN THE TILICHE SAN JOSÉ IRRIGATION BOARD OF  
LATACUNGA CANTON, PROVINCE OF COTOPAXI 2024”.**

**Authors:**

Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin  
Chuquimarca Vasco Tania Lizeth

**ABSTRACT**

Arsenic contamination of irrigation water affects the health of agricultural soils. In this research, alfalfa (*Medicago sativa*), achira (*Canna indica*), and sigse (*Cortasderia nitida*) were evaluated agronomically for soil improvement in the Tiliche San José irrigation board in the canton of Latacunga, Cotopaxi province 2024. The following study is to evaluate soil fertility and arsenic concentration in three species of alfalfa, achira and sigse as phytoremediation, the process of the study is based on a systematic soil sampling using a zigzag design to ensure a representative coverage of an area of 64m<sup>2</sup>. A completely randomized experimental design with three species and three replicates was implemented to evaluate the growth and arsenic uptake capacity of the species. In addition, plant parts (root, stem and leaves) were sampled to evaluate the efficacy of the species in phytoremediation of contaminated soils. Soil analysis revealed good conditions in high terms P 69.0 ppm, K 0.7 meq/100g, Ca 10.3 meq/100g and Mg 3.4 meq/100g, in medium terms Cu 4.0 ppm and in low terms total N 0.32%, Mn 3.0 ppm, M.O. 3.0%. The soil pH 7.6 is slightly alkaline. The arsenic concentration in each of the treatments increased significantly from April to July in T1 0.88 mg As/kg, T2 0.98 mg As/kg and T3 0.76 mg As/kg. Significant differences in plant growth indicated that arsenic concentration had a differential impact on the development of each species, with alfalfa showing the greatest growth. In the analysis of VARIANCE, no significant differences were found between treatments, i.e. all species have a similar capacity to adapt in this initial period. Alfalfa (*Medicago sativa*) showed remarkable growth, reaching heights of up to 90 cm under arsenic concentration conditions. It proved to be the species with the highest phytoremediation capacity, accumulating three times more in the aerial part than in the root. The research concludes that alfalfa is the most effective species in the phytoremediation of As-contaminated soils, showing a remarkable capacity for adaptation and absorption to improve soil quality in the community of Tiliche San José.

**KEYWORDS:** Phytoremediation, Arsenic, Absorption, Adaptation

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
DEDICATORIA.....	xi
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE GRAFICA.....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
5. OBJETIVOS .....	4
GENERAL.....	4
ESPECÍFICOS .....	5
5. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	5
6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
SALUD DE LOS SUELOS.....	7
NIVEL DE FERTILIDAD DE LOS SUELOS .....	7
Muy alto (Muy fértil).....	8
6.1.1. Alto (no fértil) .....	8
6.1.2. Moderado (medianamente fértil) .....	8

6.1.3.	Bajo (poco fértil).....	8
6.1.4.	Muy bajo (infértil).....	8
	CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS .....	9
6.1.5.	Metales pesados en el suelo .....	9
	ARSÉNICO.....	10
6.1.6.	Composición .....	10
6.1.7.	Origen Natural.....	10
	CICLO DEL ARSÉNICO.....	12
6.1.8.	Incidencia en el medio ambiente.....	12
6.1.9.	Efectos del arsénico en el suelo .....	12
6.1.10.	Efectos en el ser humano y su toxicidad .....	13
	EFFECTOS DEL ARSÉNICO EN LAS PLANTAS.....	13
	NORMATIVA ECUATORIANA.....	13
6.1.11.	Normativa de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para los suelos contaminados .....	13
	FITORREMEDIACIÓN .....	14
6.1.12.	Importancia del Mejoramiento de Suelos .....	15
	FITO-EXTRACCIÓN.....	15
6.1.13.	Adsorción y absorción .....	16
6.1.14.	Sistema Fitorremediadores (IFAs) .....	18
6.2.	FITORREMEDIACIÓN .....	18
6.2.1.	Alfalfa (Medicago sativa) .....	18
6.2.2.	Achira (Canna indica) .....	19
6.2.3.	Sigse (Cortaderia nitida).....	21
7.	HIPÓTESIS .....	22
8.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	22
8.1	ÁREA DE ESTUDIO.....	22
	Fuente: Google earrth2024 .....	22
	FERTILIDAD DEL SUELO Y GRADO DE CONTAMINACIÓN DE ARSÉNICO DEL ÁREA DE ESTUDIO....	22
8.1.1.	Muestreo del área de estudio.....	22
8.1.2.	Parámetros de calidad del suelo .....	23
8.1.3.	Distribución en la parcela .....	23
8.1.4.	Diseño experimental .....	24

8.1.5.	Diseño completo al azar (DCA).....	24
8.1.6.	Esquema del análisis de la varianza.....	24
8.1.7.	Prueba de medias.....	25
8.1.8.	VARIABLES agronómicas a evaluarse.....	26
8.1.9.	Manejo agronómico del cultivo.....	26
8.1.10.	Muestreo de hojas, tallos y raíces.....	27
8.1.11.	Acumulación de arsénico en raíces y tallos.....	28
9.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28
9.1.	CÁLCULO DE INCREMENTO DE ARSÉNICO A LOS TRES MESES.....	30
9.2.	EVALUACIÓN DEL DESARROLLO AGRONÓMICO DE ALFALFA (MEDICAGO SATIVA), ACHIRA (CANNA INDICA) Y SIGSE (CORTASDERIA NÍTIDA).....	31
9.2.1.	Porcentaje de trasplante.....	31
9.2.2.	Altura de la planta a los 30 días después del trasplante.....	31
9.2.3.	Altura de la planta a los 60 días después del trasplante.....	32
9.2.4.	Altura de la planta a los 90 días después del trasplante.....	33
9.2.5.	Altura de la planta a los 120 días después del trasplante.....	34
9.3.	DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE TRES ESPECIES EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR EL AGUA DE RIEGO.....	35
10.	CONCLUSIONES.....	37
11.	RECOMENDACIONES.....	37
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Concentración de As permitido en el suelo.....	14
Tabla 2.	de As en el uso del suelo.....	14
Tabla 3.	Adsorción y Absorción.....	17
Tabla 4.	Esquema del análisis de la varianza.....	25
Tabla 5.	Tratamientos en estudio.....	25
Tabla 6.	Fertilidad del suelo y grado de contaminación de arsénico del área de estudio.....	29
Tabla 7.	Grado de contaminación de arsénico del área de estudio inicial.....	30
Tabla 8.	Grado de contaminación de arsénico del área de estudio final.....	30

Tabla 9. Cálculo de incremento de arsénico a los tres meses.....	31
Tabla 10. Porcentaje de trasplante.....	31
Tabla 11. Análisis de la Varianza a los 30 días después del trasplante. ....	32
Tabla 12. Tratamiento medias Tukey. ....	32
Tabla 13. Análisis de la Varianza a los 60 días después del trasplante. ....	33
Tabla 14. Análisis de varianza a los 90 días después del trasplante.....	33
Tabla 15. Tratamiento medias Tukey. ....	34
Tabla 16. Altura de la planta a los 120 días después del trasplante. ....	34
Tabla 17. Tratamiento medias Tukey. ....	34

### **ÍNDICE DE GRAFICA**

Gráfico 1. Factor de translocación Alfalfa .....	35
Gráfico 2. Factor de translocación Achira.....	36
Gráfico 3. Factor de translocación Sigse .....	37

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:**

Evaluación agronómica de alfalfa (*Medicago sativa*), achira (*Canna indica*), y sigse (*Cortaderia nitida*) para mejoramiento de suelos de la Junta de Riego Tiliche San José del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi 2024.

**Fecha de inicio:**

4 de abril del 2024

**Fecha de finalización:**

Agosto 2024

**Lugar de ejecución:**

Tiliche – San José

Parroquia de Toacazo

Cantón Latacunga

Zona 3 Universidad Técnica de Cotopaxi

**Facultad que auspicia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Agronomía.

**Equipo de Trabajo:**

**Tutor:** Ing. Ibay Yupa Mercy Lucila. Ph d.

**Lectores:**

**Lector 1:** Ing. Carrera Molina David Santiago.

**Lector 2:** Ing. Tapia Borja Alexandra Isabel.

**Lector 3:** Ing. Chancusig Francisco Hernan

**Autores:** Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin

Chuquimarca Vasco Tania Lizeth

**Coordinador del Proyecto:**

**C\_1:** Chicaiza Guanoquiza Edison Stalin

**Teléfono:** 0995016933

**Correo electrónico:** [edison.chicaiza1368@utc.edu.ec](mailto:edison.chicaiza1368@utc.edu.ec)

**C\_2:** Chuquimarca Vasco Tania Lizeth

**Teléfono:** 0982994275

**Correo electrónico:** [tania.chuquimarca4482@utc.edu.ec](mailto:tania.chuquimarca4482@utc.edu.ec)

**Área de Conocimiento:**

Agricultura, Silvicultura y Pesca - Producción Agropecuaria

**Línea de investigación:**

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna de los recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

**Sub líneas de investigación de la carrera:**

Agua y suelos

Producción agrícola sostenible.

**Línea de vinculación de la carrera:**

Gestión de recursos naturales, biotecnología, biodiversidad y gestión para el desarrollo humano y social.

**2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

En el agua, este contaminante se encuentra principalmente en forma de arsenito, As o arseniato, As, siendo la primera de sus formas más tóxicas, más solubles y más absorbentes de arsénico en el agua y transportador mucho más fácil (Lizeth, 2024).

El suelo es uno de los recursos más esenciales, fundamental para el desarrollo de los seres vivos, por lo que en el presente la contaminación del suelo ha sido un gran problema en el mundo, es por eso que los elementos tóxicos que se presentan en el suelo tales como el azufre, aluminio, zinc y arsénico causan enfermedades, es por eso que se debe garantizar la vida de las personas (ONU, 2018). Esta contaminación se da de manera natural sea por incendios forestales, erupciones volcánicas, la gran toxicidad que se da sobre todo por arsénico, que a causa de que los suelos no tengan la capacidad de retención, hacen que se vuelva perjudicial para los sectores que se benefician de vertientes hidrográficas (OMS, 2022).

Por parte del Gobierno de la Provincia de Cotopaxi, la Escuela Politécnica Nacional y la Secretaria Nacional del Agua, se han realizado estudios los cuales exponen datos que señalan la presencia de arsénico (As) con concentraciones mayores a 0.1 mg/l principalmente en la Reserva Ecológica los Illinizas la misma que se encuentra definida como zona volcánica que provee recurso hídrico para el consumo humano y de riego en el sector, estudios han demostrado resultados excediendo el límite máximo permisible de calidad de aguas para riego agrícola (Rodríguez et al., 2022).

El presente proyecto de investigación, pretende determinar la capacidad de absorción de arsénico con tres tipos de plantas nativas de la zona, con la toma de datos mensuales, tales resultados servirán para aportar a futuros estudios, o fomentar la aplicación de plantas Fito extractoras que garantizarán el bienestar de los seres vivos.

### **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

#### **Directos**

Los 325 socios de la junta de riego Tiliche San José parroquia de Toacazo.

#### **Indirectos**

Estudiantes y docentes de la Carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi

### **4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La cantidad de arsénico en la tierra depende del lugar donde vivimos. Los niveles naturales de arsénico en la tierra varían entre 1 y 40 miligramos por kilogramo (mg/kg). Los niveles más altos pueden encontrarse en el suelo de las zonas mineras, los vertederos de residuos peligrosos, cerca de los depósitos naturales de arsénico o como resultado de la aplicación de pesticidas y por acción de riego en los terrenos con aguas de vertientes (agua de volcanes activos o inactivos) que contienen arsénico (Health and human Services., 2023)

El agua, siendo una sustancia común en la Tierra, es esencial para el sustento y el origen de la vida. Actualmente, es uno de los recursos más contaminados, lo que ha generado preocupación a nivel mundial, ya que sin agua de calidad y en buen estado, no se puede asegurar el bienestar de los seres vivos (Cirelli, 2012).

La gestión y control del agua, un problema vinculado a la contaminación ambiental, necesita el uso de métodos y técnicas avanzadas que puedan proporcionar una respuesta rápida y efectiva sobre el estado de este recurso, su potencial y las tendencias a lo largo del tiempo en cuanto a

su aptitud para el uso. Esto permitirá tomar medidas para preservar su calidad y evitar su deterioro (AQUAE, 2024).

La contaminación del agua modifica su calidad y estructura natural debido a la incorporación de microorganismos, aceites, sedimentos industriales, fertilizantes y pesticidas. Además, también puede ser causada por fuentes naturales, como la presencia de metales pesados provenientes de la corteza terrestre, productos de la meteorización, tratamiento de rocas o erupciones volcánicas. Un ejemplo es el arsénico (As), considerado un problema global significativo por su toxicidad y los efectos negativos en la salud humana (Velázquez-Chávez et al., 2022).

Entre los elementos que una parte fundamental en el medio ambiente, el recurso hídrico es esencial para toda forma de vida es el resultado vulnerable y estratégico, pues sostiene el desarrollo y nuestro medio ambiente. Este recurso es vulnerable a sufrir impactos actualmente desarrollados por los fenómenos de cambios climáticos contaminación desertificación deforestación y sequías derivadas de prácticas inadecuadas que inciden en el ciclo hidrológico requiriendo una mejor administración para propiciar su uso racional alcanzable solo con una adecuada gestión (Rafael Domínguez et al., 2019).

En la presente investigación se encuentra detallado cada uno de los procedimientos realizados como la investigación o búsqueda de temas relacionados a los índices del arsénico en el agua a su vez se señala el problema presente en el sector la justificación la factibilidad de la propuesta y su funcionalidad el cumplimiento de las normas de calidad para cada uno de los procedimientos (Ramirez, 2016).

La presente investigación está basada en un estudio del arsénico en el agua de las vertientes provenientes del páramo de los Illinizas y a su vez de diversas muestras de los sistemas de fitorremediación con el uso de tres especies nativas alfalfa (*Medicago sativa*), achira (*Canna indica*), y sigse (*Cortaderia nitida*) de acuerdo a una estrategia para la remoción de arsénico en las aguas del sector de uso agrícola.

## **5. OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar agronómicamente la alfalfa (*Medicago sativa*), achira (*Canna indica*), y sigse (*Cortaderia nitida*) para mejoramiento de suelos de la junta de riego Tiliche San José del Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi 2024.

### Específicos

- Analizar la fertilidad del suelo y grado de contaminación de arsénico del área de estudio.
- Evaluar el desarrollo agronómico de Alfalfa (*Medicago sativa*), Achira (*Canna indica*) y Sigse (*Cortaderia nítida*).
- Determinar la efectividad de tres especies en la fitorremediación de suelos contaminados por el agua de riego.

## 5. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Objetivo 1.	Actividad	Metodología	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la fertilidad del suelo y grado de contaminación de arsénico del área de estudio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica: muestreo del suelo.</li> <li>• Interpretación de resultados.</li> <li>• Comparación con la normativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizó la toma de muestras para el análisis de suelo bajo la metodología de muestra compuesta de zigzag, en la parcela (64 m<sup>2</sup>) del sistema de riego Tiliche San José.</li> <li>• El análisis permitió identificar la calidad del suelo para fines agrícolas.</li> <li>• Los análisis de suelo se</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la cantidad de arsénico, micro y macronutrientes del suelo inicial.</li> </ul>

		compararon con el Tulsma libro VI, anexo 2.	
--	--	---	--

<b>Objetivo 2.</b>	<b>Actividad</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar el desarrollo agronómico de Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>), Achira (<i>Canna indica</i>) y Sigse (<i>Cortaderia nitida</i>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizó la preparación del suelo.</li> <li>• Se dividió en 9 unidades experimentales.</li> <li>• Trasplante de especies a evaluar. Riego y evaluación de las variables cada 15 días.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizó un diseño completamente al azar.</li> <li>• Con tres tratamientos y tres repeticiones. Las evaluaciones se realizaron una vez al mes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se obtuvieron los datos de la altura, etapas fenológicas, mes a mes.</li> </ul>

<b>Objetivo 3.</b>	<b>Actividad</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la efectividad de tres especies en la fitorremediación de suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestreo del suelo.</li> <li>• Muestreo de raíces, tallos y hojas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizamos un último muestreo de suelo de la misma forma que al inicio para verificar la renovación de arsénico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la cantidad de arsénico en el suelo final.</li> </ul>

contaminados por el agua de riego.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• El muestreo de plantas se realizó de tres plantas en mejor estado de las diez plantas establecidas para el seguimiento. Las muestras de tallo, raíz y hojas se enviaron de manera individual en fundas herméticas de cada unidad experimental al laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la concentración de arsénico en diferentes partes de la planta.</li> </ul>
------------------------------------	--	---	--

## 6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### Salud de los suelos

La salud del suelo es la capacidad de un suelo para funcionar dentro del ecosistema, sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental, promover la salud de las plantas y animales. Esta definición liga el suelo a todos los roles y circunstancias en la naturaleza, y se refiere a las características biológicas, físicas y químicas esenciales para la sostenible productividad de la agricultura, con mínimo impacto sobre el ambiente (Burbano Orjuela, 2017).

### Nivel de fertilidad de los suelos

La fertilidad del suelo se puede evaluar a través de varios niveles o categorías, cada una indicando la capacidad del suelo para soportar el crecimiento de las plantas. Estos niveles principalmente se determinan mediante análisis de laboratorio que mide diversos parámetros químicos, físicos y biológicos del suelo (Molina, 2023).

***Muy alto (Muy fértil)***

- Alto contenido de nutrientes esenciales (nitrógeno, fosforo, potación entre otros).
- Buen balance de pH (general mente entre 6 y 7).
- Alta actividad biológica (abundancia de microorganismos beneficiosos).
- Buena estructura y textura que facilitan la retención de agua y aireación.

***6.1.1. Alto (no fértil)***

- Suficiente cantidad de nutrientes esenciales.
- PH adecuado, aunque puede estar fuera del rango óptimo.
- Actividad biológica alta o moderada.
- Buena estructura del suelo, aunque pueda requerir alguna enmienda.

***6.1.2. Moderado (medianamente fértil)***

- Nutrientes presentes, pero en cantidades que pueden limitar el crecimiento óptimo de las plantas.
- PH que puede estar más alejado del óptimo.
- Actividad biológica moderada.
- Estructura del suelo que puede necesitar mejoras (como la adición de materia orgánica).

***6.1.3. Bajo (poco fértil)***

- Deficiencias significativas de uno o más nutrientes esenciales.
- PH sub óptimo (puede ser demasiado ácido o alcalino).
- Actividad biológica baja.

***6.1.4. Muy bajo (infértil)***

- Muy bajo contenido de nutrientes esenciales.
- Muy baja actividad biológica.
- Mala estructura del suelo, con problemas serios de compactación, drenaje o salinidad.

## **Contaminación de los suelos**

La contaminación de los suelos en Ecuador es un problema ambiental significativo que afecta la salud humana, la agricultura y los ecosistemas. Las principales fuentes de contaminación del suelo en Ecuador incluyen actividades industriales, prácticas agrícolas, minería, manejo inadecuado de residuos y el uso de pesticidas y fertilizante.

Se debe establecer teorías básicas de la profesión para sustentar en una o varias su proyecto (estas teorías han sido reveladas en los estudios de pertinencias del rediseño de las carreras de la universidad).

### ***6.1.5. Metales pesados en el suelo***

La contaminación del suelo por metales pesados es un problema ambiental significativo debido a la toxicidad y persistencia de estos elementos. Los metales pesados, como el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg), pueden ingresar al suelo a través de diversas fuentes, incluyendo actividades industriales, minería, uso de pesticidas y deposición atmosférica(InfoAgro, 2023). Una vez en el suelo, estos metales pueden ser absorbidos por las plantas, lo que puede llevar a la bioacumulación en la cadena alimentaria y afectar la salud de los ecosistemas y los seres humanos(Fertilab, 2023). La presencia de metales pesados en el suelo puede alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduciendo su fertilidad y capacidad de soporte para la vida vegetal (RETEMA, 2023).

Los efectos de los metales pesados en el suelo son variados y dependen de factores como el tipo de metal, la concentración y las características del suelo(Loyde De La Cruz et al., 2022). Por ejemplo, el plomo puede inhibir la actividad enzimática del suelo, afectando la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes(Mendoza-Escalona et al., 2021). El cadmio, por otro lado, puede ser altamente móvil en suelos ácidos, aumentando su disponibilidad para las plantas y su potencial de toxicidad. Además, la presencia de metales pesados puede afectar la biodiversidad del suelo, reduciendo la población de microorganismos beneficiosos y alterando las interacciones ecológicas. Para mitigar estos efectos, es crucial implementar prácticas de manejo sostenible del suelo, como la fitorremediación y el uso de enmiendas orgánicas que pueden ayudar a inmovilizar los metales pesados y reducir su disponibilidad (Serrato et al., 2010).

Los metales pesados son elementos químicos que poseen una alta densidad y características metálicas (Definicion, 2023). Estos metales, como el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el cadmio (Cd), son conocidos por su toxicidad y capacidad de bioacumulación en organismos vivos (Definición, 2023). La definición de metales pesados puede variar, pero generalmente se refiere

a aquellos con una densidad mayor a  $5 \text{ g/cm}^3$  (Ecuared, 2023). Estos elementos pueden ser liberados en el medio ambiente a través de actividades industriales, minería y la quema de combustibles fósiles (Ecuared, 2023).

La toxicidad de los metales pesados radica en su capacidad para interferir con procesos biológicos esenciales. Por ejemplo, el plomo puede causar daños severos al sistema nervioso, mientras que el mercurio puede afectar el sistema inmunológico y los riñones (MPTERD, 2024). Además, estos metales no son biodegradables, lo que significa que pueden persistir en el medio ambiente durante largos períodos, acumulándose en la cadena alimentaria y afectando a múltiples niveles de organismos (Vallarino, 2011).

El impacto ambiental de los metales pesados es significativo. La contaminación del suelo y el agua con estos elementos puede llevar a la degradación de ecosistemas enteros (Granizo & Marquez, 2007). Las plantas y animales expuestos a altos niveles de metales pesados pueden sufrir de toxicidad aguda o crónica, lo que puede resultar en la disminución de la biodiversidad y la alteración de las funciones ecológicas. Por estas razones, es crucial monitorear y controlar las emisiones de metales pesados para proteger la salud humana y ambiental (Rosas Rodríguez, 2001).

## **Arsénico**

### ***6.1.6. Composición***

El arsénico es un elemento químico con el símbolo As y el número atómico 33. Pertenece al grupo de los metaloides en la tabla periódica y tiene varias formas alotrópicas, siendo las más comunes el arsénico gris, amarillo y negro (Lifeder, 2023).

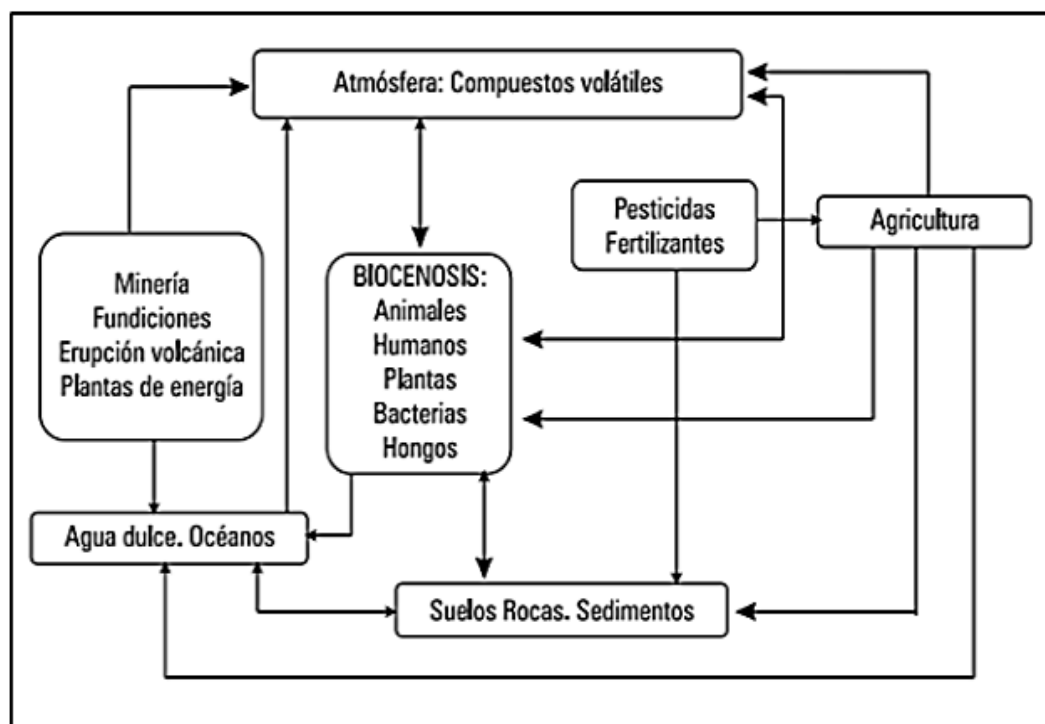
Se oxida fácilmente en contacto con el aire húmedo y produce trióxido. Siempre se le descubre como impureza de otros metales, cobre, plomo, zinc u oro y es raro hallarlo puro en la naturaleza. Es muy tóxico, aunque algunas de sus formas orgánicas intervienen en los procesos metabólicos de varias especies (Serrato et al., 2010).

### ***6.1.7. Origen Natural***

Para OMS, (2018) el As es un metaloide muy peligroso que causa daños al ambiente y a la salud de los seres vivos, por el riesgo que representa su detoxificación es de vital importancia. Ocupa el lugar 20 en abundancia de los elementos en la corteza terrestre y se distribuye de

manera no uniforme por todo el mundo, dependiendo de la región geográfica, características geoquímicas del suelo y actividad industrial (QuimicaFacil, 2023)

Según QuimicaFacil,(2023). Alrededor de un tercio del As presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales como reacciones ambientales, actividad biológica, emisiones volcánicas, y el resto proviene de un amplio rango de actividades antropogénicas. Por tal motivo el As puede estar presente en distintos lugares del medio ambiente como en el suelo, en rocas, en la atmósfera, en los cuerpos de agua dulce o marina, minerales, entre otras (Hidrolab, 2022), por ello debido a su fácil movilización en el entorno se le ha considerado que en altas concentraciones es un metaloide toxico para la calidad de agua, suelo y para la vida humana. En la naturaleza, el As se encuentra principalmente en forma de sulfuro en minerales complejos que contienen Ag, Pb, Cu, Ni, Sb, Co y Fe. Según un estudio de (Servicio Geologico Mexicano, 2017)el As está presente en más de 200 especies minerales, la más común es la arsenopirita. La abundancia terrestre de As es de aproximadamente 5 mg/kg, aunque concentraciones más altas están asociadas con depósitos de sulfuro. Los minerales sedimentarios de Fe y Mn, así como los depósitos de rocas de fosfato, contienen ocasionalmente niveles de As de hasta 2900 mg/kg.



Fuente: Ramírez 2013

## **Ciclo del arsénico**

### **6.1.8. Incidencia en el medio ambiente**

El arsénico es uno de los elementos más comunes en la tierra y el ambiente, presente debido a actividades volcánicas y la industria. Según (Rangel Montoya et al., 2015a), el arsénico puede filtrarse al medio ambiente a través de procesos geológicos naturales y actividades humanas como la minería y la fundición (OMS, 2022b). Este elemento está ampliamente distribuido en minerales, suelos, y en aguas dulces y marinas (GreenFacts, 2022). De acuerdo con la (OMS, 2022b), las principales fuentes antropogénicas de contaminación por arsénico en el aire, agua y suelo son la minería, la fundición de metales no ferrosos y la quema de combustibles fósiles, principalmente en forma de trióxido de arsénico.

### **6.1.9. Efectos del arsénico en el suelo**

Las fuentes naturales y antropogénicas contribuyen a los niveles de As que se encuentran en el suelo y los sedimentos. Las concentraciones de fondo medias en el suelo suelen rondar los 5 mg/kg, pero pueden oscilar entre 1 mg/kg y 40 mg/kg. Esta variación de As natural en los suelos está asociada con la presencia de formaciones geológicas (por ejemplo, minerales de sulfuro, sedimentos minerales debajo de las tuberías). Los suelos contaminados con As de fuentes antropogénicas (por ejemplo, desechos de minas y fundiciones, tierras agrícolas tratadas con pesticidas) pueden tener concentraciones variables. Mientras que en las concentraciones medias de As en los sedimentos oscilan entre 5 y 3000 mg/kg, y los niveles más altos ocurren en áreas de contaminación antropogénicas (Jiménez et al., 2024).

Un equipo de investigadores de la Universidad de Valladolid (UVA) y del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASACSIC) ha demostrado que, en las patatas regadas con aguas ricas en As, este elemento aparece hasta 35 veces más que en los cultivos que no la utilizan. Los científicos también han confirmado el impacto que tiene el agua con alto contenido en As en las plantas de Alfalfa (*Medicago sativa*), Achira (*Canna indica*) y siges (*Cortaderia nitida*) (elmundo, 2009).

En un estudio realizado sobre la acumulación de As en el cultivo de cebada (*Hordeum distichon* L.) por Prieto García et al., (2010), presento bioacumulación de As superior en las etapas de desarrollo, siendo un periodo corto de alrededor de 7 meses. Posteriormente, en sus etapas, las concentraciones de As llegan a tener un porcentaje muy elevado, provocando daños en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Se lo puede utilizar como un indicador de la contaminación del As en el suelo. En la raíz del cultivo se presentan las concentraciones de As acumuladas

más altas seguidas por las hojas y el tallo. En las raíces se producen daños de malformaciones a ciertos niveles de As bioacumulación.

#### ***6.1.10. Efectos en el ser humano y su toxicidad***

La manipulación de agua y la ingesta de alimentos contaminados con los metales pesados son las maneras más comunes de ingresar al ser vivo, siendo el riesgo más prolongado en seres humanos con menor edad.

Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y, en algunos casos, de la edad de la población expuesta. Para (Ferrer, 2017) algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos, carne y leche, han encontrado que el Cd, Hg, Pb, As, son cuatro de los elementos que por su impacto en la salud y concentración deben ser cuidadosamente evaluados y monitoreados. Esto provocando varias enfermedades y riesgo en la salud de los pobladores que consumen o han tenido contacto con los metaloides como el As y el Pb, llevando a efectos crónicos en la vida del ser humano Según (Reyes et al., 2016). Los efectos crónicos ocurren después de que las personas consumen un contaminante a niveles sobre los estándares de seguridad de EPA durante muchos años. El riesgo a la salud por contaminación de metales pesados depende principalmente de su nivel de acumulación en el cuerpo. Los riesgos son mayores si el tiempo de exposición del organismo a dicha contaminación es prolongado.

#### **Efectos del arsénico en las plantas**

El arsénico puede afectar la fertilidad del suelo, disminuir las actividades microbianas, la biodiversidad y los rendimientos de los cultivos. Las principales afectaciones en las plantas son las alteraciones en la morfología y fisiología, pues el arsénico está relacionado con el estrés oxidativo en las células, el cual provoca daño de la pared celular por la oxidación de lípidos. La desintoxicación por metales pesados en suelos se enfoca, por un lado, en su remoción y, por el otro, en la disminución de su biodisponibilidad y movilidad tanto en el suelo como en la planta (Bayona Penagos, 2020).

#### **Normativa ecuatoriana**

#### ***6.1.11. Normativa de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para los suelos contaminados***

La Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y los criterios de remediación para suelos contaminados en Ecuador, establecen un marco regulatorio para la prevención y control de la contaminación del suelo. Se definen conceptos clave como "valores de línea de base" y "valores

de fondo", que son indicadores de las condiciones ambientales del suelo. La norma abarca diversas aplicaciones del suelo, incluyendo usos agrícolas, urbanos e industriales, y establece requisitos generales para la protección del recurso suelo. Además, prohíbe la descarga de efluentes que alteren la calidad del suelo y detalla los procedimientos para el muestreo y análisis de suelos contaminados. La norma busca garantizar un ambiente sano y equilibrado, en cumplimiento con la Constitución ecuatoriana, y es de aplicación obligatoria para todas las actividades que puedan afectar la calidad del suelo en el país.

**Tabla 1. Concentración de As permitido en el suelo.**

Unidades (concentración en peso seco)		Suelo
<b>Parámetros Generales</b>		
<b>Conductividad.</b>	mmhos/cm.	2
<b>pH</b>		6 a 8.
<b>Relación de adsorción de Sodio.</b>		4
<b>Parámetros inorgánicos.</b>		
<b>Arsénico</b>	mg/kg.	5
<b>Azufre</b>	mg/kg.	250

**Tabla 2. de As en el uso del suelo.**

Unidades (concentración en peso seco)		USO DEL SUELO			
		Agrícola.	Residencial.	Comercial.	Industrial
<b>Parámetros Generales</b>					
<b>Conductividad.</b>	mmhos/cm.	2	2	4	4
<b>pH</b>		6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
<b>Parámetros inorgánicos.</b>					
<b>Arsénico</b>	mg/kg.	12	15	15	15
<b>Azufre</b>	mg/kg.	500			

### **Fitorremediación**

La fitorremediación es una técnica ecológica que utiliza plantas para eliminar, reducir o controlar contaminantes en el suelo, agua y aire. Esta técnica se ha empleado con éxito para tratar una amplia variedad de compuestos químicos, incluyendo metales pesados, hidrocarburos, pesticidas y residuos tóxicos de la industria (Lifeder, 2023). Las plantas pueden absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar estos contaminantes, ofreciendo una alternativa más sostenible y económica frente a los métodos físico-químicos tradicionales (Aldariz, 2017).

Existen varios tipos de fitorremediación, cada uno adecuado para diferentes tipos de contaminantes y condiciones ambientales. Por ejemplo, la Fito extracción implica el uso de plantas para absorber contaminantes del suelo y almacenarlos en sus tejidos, mientras que el Fito degradación utiliza plantas que poseen enzimas capaces de descomponer contaminantes en compuestos menos tóxicos. Otra técnica es la Fito estabilización, donde las plantas inmovilizan los contaminantes en el suelo, reduciendo su biodisponibilidad y evitando su dispersión (Lifeder, 2023).

La fitorremediación no solo es beneficiosa para el medio ambiente, sino que también puede tener aplicaciones económicas y sociales. Al utilizar plantas nativas o adaptadas a las condiciones locales, se puede mejorar la biodiversidad y la salud del ecosistema. Además, esta técnica puede ser implementada en áreas urbanas y rurales, contribuyendo a la rehabilitación de terrenos contaminados y a la mejora de la calidad del agua y del aire. Sin embargo, es importante considerar que la efectividad de la fitorremediación puede variar según el tipo de contaminante y las condiciones específicas del sitio (Ecología Verde, 2023).

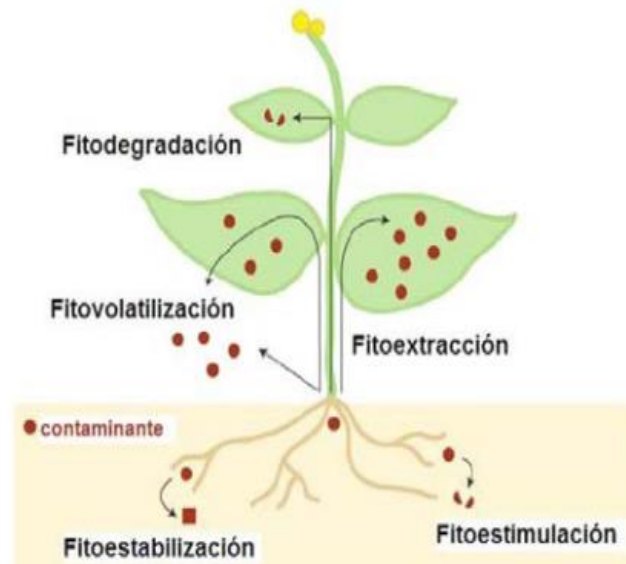
#### ***6.1.12. Importancia del Mejoramiento de Suelos***

El uso de estas plantas en el mejoramiento de suelos tiene múltiples beneficios, incluyendo la mejora de la estructura del suelo, el aumento de la materia orgánica, la fijación de nitrógeno y la reducción de la erosión. Estas prácticas contribuyen a la sostenibilidad agrícola y a la conservación de los recursos naturales (Agtech, 2024).

#### **Fito-extracción**

El Fito extracción, también conocida como Fito acumulación, es una técnica de fitorremediación que utiliza plantas para eliminar contaminantes del suelo o del agua. Este proceso implica la absorción de contaminantes, principalmente metales pesados, a través de las raíces de las plantas. Una vez absorbidos, estos contaminantes son translocados a las partes aéreas de la planta, como las hojas y los tallos (Moliné, 2003). Las plantas utilizadas en Fito extracción son seleccionadas por su capacidad para acumular grandes cantidades de contaminantes sin sufrir daños significativos. Después de que las plantas han absorbido y acumulado los contaminantes, se cosechan y se eliminan de manera segura, generalmente mediante incineración o compostaje controlado. Este método es especialmente útil para la remediación de suelos contaminados con metales pesados como el plomo, el cadmio y el zinc (Capitán, 2023). La Fito extracción es una técnica sostenible y económica en comparación con los métodos tradicionales de remediación, ya que no requiere la excavación y el transporte de

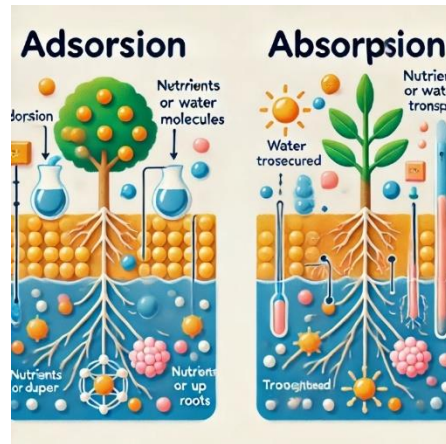
grandes volúmenes de suelo. Además, puede mejorar la calidad del suelo y promover la biodiversidad al utilizar plantas nativas o adaptadas a las condiciones locales. Sin embargo, la efectividad de la Fito extracción puede verse limitada por factores como la concentración de contaminantes, el tipo de suelo y las condiciones climáticas(Phy2SUDOE, 2018). A pesar de estas limitaciones, la Fito extracción representa una prometedora solución ecológica para la descontaminación de ambientes afectados por actividades industriales y agrícolas.



**Fuente: (Avatarenergia 2023).**

### **6.1.13. Adsorción y absorción**

En la raíz de la planta, la adsorción ocurre cuando las moléculas de agua o nutrientes se adhieren a la superficie exterior de las raíces. Este proceso es principalmente un fenómeno superficial donde las partículas de nutrientes o minerales se acumulan en la superficie de las raíces debido a las fuerzas electrostáticas o químicas. Una vez que los nutrientes o el agua están adsorbidos en la superficie de las raíces, la planta puede absorberlos. La absorción implica que estas moléculas pasan a través de la membrana celular de las raíces y se incorporan al interior de la planta distribuyéndose a través de su sistema vascular (xilema y floema)(Featured, 2023).



Fuente: (Angel Hernandez, 2019)

**Tabla 3. Adsorción y Absorción.**

Atributo	Absorción	Adsorción
Definición	El proceso por el cual una sustancia es absorbida y retenida por otra sustancia.	El proceso por el cual las moléculas se adhieren a la superficie de un sólido o líquido.
Mecanismo	Se produce cuando una sustancia penetra en la masa de otra sustancia.	Se produce cuando las moléculas son atraídas y se acumulan en la superficie de un sólido o líquido.
Interacción	Se produce por difusión o permeación.	Se produce mediante fuerzas de van der Waals débiles, interacciones electrostáticas o enlaces químicos.
Área de superficie	No depende tanto del área de superficie.	Depende en gran medida de la superficie.
Profundidad de penetración	Puede penetrar más profundamente en la sustancia.	Ocurre principalmente en la superficie.
Ejemplos	Agua siendo absorbida por una esponja.	Moléculas de gas que se adsorben en carbón activado.

#### 6.1.14. Sistema Fitorremediadores (IFAs)

Sistemas fitorremediadores Integrados (IFAs) combinan técnicas de fitorremediación con otros métodos de tratamiento biológico para mejorar la eficiencia en la descontaminación de suelos y aguas (GEDAR, 2023). Estos sistemas utilizan plantas junto con microorganismos adheridos a soportes específicos para degradar y eliminar contaminantes de manera más efectiva (Rivilla, 2022).

En un IFA, las plantas absorben contaminantes a través de sus raíces, mientras que los microorganismos en los soportes degradan los contaminantes orgánicos e inorgánicos (Rivilla, 2022). Este enfoque integrado permite manejar una mayor variedad de contaminantes y mejorar la capacidad de tratamiento en comparación con métodos tradicionales (GEDAR, 2023).

### 6.2. Fitorremediación

#### 6.2.1. Alfalfa (*Medicago sativa*)

##### Taxonomía

La alfalfa es una leguminosa perenne ampliamente utilizada en la agricultura por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que enriquece el suelo con este nutriente esencial. Además, la alfalfa tiene un sistema radicular profundo que ayuda a mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua. Su uso en la rotación de cultivos puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos y mejorar la salud general del suelo (Lete, 2019).

Taxonomía	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Rosidae
<b>Orden:</b>	Fabales
<b>Familia:</b>	Fabaceae
<b>Subfamilia:</b>	Faboideae
<b>Tribu:</b>	Tribolieae
<b>Género:</b>	Medicago
<b>Especie:</b>	<i>Medicago sativa</i> L.

### Característica morfológica

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una planta herbácea perenne que puede alcanzar entre 40 y 100 cm de altura. Sus tallos son erectos y están cubiertos de una velloidad blanquecina (Editorial, 2020). Las hojas son trifoliadas, con folíolos obovados y dentados en el ápice (Lifeder, 2019). La raíz principal es pivotante y profunda, con numerosas raicillas secundarias. Las flores son de color azul o púrpura, agrupadas en racimos. El fruto es una legumbre en forma de espiral (Ecología Verde, 2023)



Fuente: Chicaiza E.& Chuquimarca L.2024.

### 6.2.2. Achira (*Canna indica*)

#### Taxonomía

La achira es una planta perenne conocida por su capacidad de crecer en suelos pobres y su alta producción de biomasa, sino también por su capacidad para mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica. La achira puede ser utilizada en sistemas de rotación de cultivos para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la erosión (Pablo.H, 2023).

Taxonomía	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Angiosperma
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Subclase</b>	Zingiberidae
<b>Orden</b>	Zingiberales
<b>Familia</b>	Cannaceae
<b>Genero</b>	Canna
<b>Especie</b>	C. indica
	L.,1753

### **Características morfológicas**

La achira (*Canna indica*) es una planta herbácea y rizomatosa que puede alcanzar una altura de entre 1 y 3 metros (Sebastián, 2017). Aquí tienes algunas de sus características morfológicas principales:

**Hojas:** Son anchas, de color verde o rojo-purpúreas, y pueden medir hasta 40 cm de largo.

**Flores:** Presentan una variedad de colores, incluyendo rojo y anaranjado, y pueden ser lisas o con estrías. Se disponen en una inflorescencia terminal.

**Rizomas:** Son la parte subterránea de la planta, de donde se obtiene la fécula utilizada en la elaboración de productos como bizcochos. Estos rizomas pueden alcanzar hasta 60 cm de largo y pesar hasta 25 kg<sup>2</sup>.

La achira se adapta bien a una amplia gama de climas, desde los 16 hasta los 32°C, y puede crecer desde el nivel del mar hasta los 2700 metros de altitud



Fuente: Chicaiza E. & Chuquimarca L.2024.

### **Achira como absolvedor de arsénico**

La achira (*Canna indica*) absorbe el arsénico principalmente a través de sus raíces. Este metal pesado se moviliza desde el suelo hacia la planta mediante el transporte pasivo y activo. Una vez dentro, el arsénico puede ser translocado a diferentes partes de la planta, incluyendo hojas y tallos. La achira tiene mecanismos de tolerancia que incluyen la producción de fitoquelatinas y otras proteínas que se unen al arsénico, reduciendo su toxicidad. Además, la planta puede almacenar el arsénico en vacuolas celulares, aislándolo del citoplasma y minimizando el daño celular. Estos procesos permiten a la achira sobrevivir en suelos contaminados y contribuir a la fitorremediación (Martínez, 2023)

### 6.2.3. *Sigse (Cortaderia nitida)*

#### Taxonomía

El sigse es una gramínea nativa de los Andes que se utiliza tradicionalmente para la conservación de suelos y la prevención de la erosión. Esta planta tiene un sistema radicular denso que ayuda a estabilizar el suelo y mejorar su estructura. Además, el sigse puede crecer en condiciones adversas, lo que lo convierte en una opción viable para el mejoramiento de suelos en áreas marginales (Pacheco, 2023).

Taxonomía	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División:</b>	magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Subclase:</b>	Commelinidae
<b>Orden:</b>	Poales
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Subfamilia:</b>	Danthonioideae
<b>Tribu:</b>	Danthonieae
<b>Género:</b>	Cortaderia
<b>Especie:</b>	Cortaderia nítida (Kunth) PilG.



Fuente: Chicaiza E. & Chuquimarca L. 2024.

## 7. HIPÓTESIS

La Alfalfa (*Medicago sativa*) tiene capacidad de fitorremediación de suelos contaminados con arsénico en el área de la Junta de riego Tiliche San José.

## 8. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### 8.1 Área de estudio

Esta investigación se realizó en la provincia de Cotopaxi, cantón Saquisilí, Junta de Riego Tiliche San José, con una superficie de 20 ha, ubicado a una altura de 2680 a 4000 msnm, sus límites son al Norte: parroquia Pastocalle y el Chaupi. Al Sur: Saquisilí, Tanicuchi y Guaytacama. El Este: limitado por Tanicuchi, El Oeste limitado por el cantón Sigchos.



Fuente: Google earrth2024

### Fertilidad del suelo y grado de contaminación de arsénico del área de estudio

#### 8.1.1. Muestreo del área de estudio

Existe varios procesos para determinar una recolección de muestras, siendo el más práctico en zigzag a lo largo de una línea en la celda de muestreo el zigzag; comienza en el campo seleccionando aleatoriamente para definir el plano de muestreo de cobertura. Una vez determinado el plano de muestreo, la distancia entre los distintos, puntos estos están relacionados con el número de submuestras. Para esta investigación se tomaron 9 submuestras en un área de 64m<sup>2</sup> de uno de los usuarios del sistema.

### **8.1.2. Parámetros de calidad del suelo**

En esta investigación se realizó la evaluación de la textura, materia orgánica, pH, P, N y K.

**Materia orgánica:** la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, que influye en la fertilidad del suelo, la retención de agua y la actividad microbiana.

**Nivel de PH:** el nivel de acidez o alcalinidad del suelo, que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la actividad microbiana.

**Fósforo:** el fósforo en el suelo depende de factores como el pH, temperatura, humedad y la presencia de otros nutrientes. Limita el crecimiento de las plantas, por lo que es importante mantener el nivel adecuado de fosforo en el suelo.

**Nitrógeno:** el nitrógeno es uno de los nutrientes claves en la nutrición mineral. Es el nutriente que más limita las cosechas y, por ello, el que más se fertiliza.

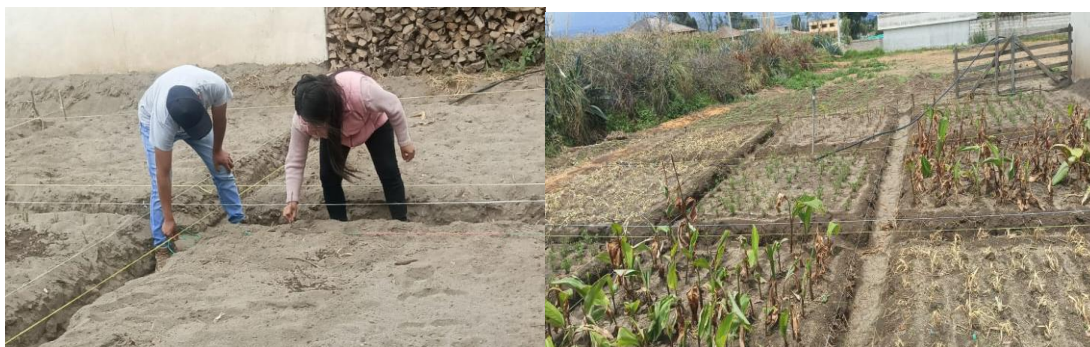
**Potasio:** es esencial para la fotosíntesis, activa más de 60 sistemas enzimáticos, y optimiza la regulación hídrica en los tejidos vegetales.

### **Evaluación agronómica del desarrollo de las tres especies evaluadas**

#### **8.1.3. Distribución en la parcela**

El lote de terreno en el cual se realizó la implementación fue de 64 m<sup>2</sup>, se realizó 9 UE de 2.46 m de ancho y 2.46 m de largo, con 0.3 m de camino, una separación entre plantas de 0.2 m dando un total de 144 plantas por UE y una población total de 1296 plantas totales.

La cantidad de plantas evaluadas se consideró tomando en cuenta el número mínimo de 8 grados de libertad en el error experimental, por lo que se han establecido tres repeticiones por cada uno de los tratamientos. La evaluación se realizó de manera sistemática dentro de las 9 UE y basada en un número de 10 plantas.



**Fuente: Chicaiza y Chuquimarca 2024.**

#### ***8.1.4. Diseño experimental***

Esta es una técnica en estadística que ayuda a evaluar las causas y efectos de una variable sobre otra en el marco de una investigación empírica. Por lo tanto, al aplicar esta técnica, el investigador ajusta intencionalmente la variable independiente para estimar sus efectos sobre la variable dependiente. Si un cambio en la variable independiente puede cambiar la variable dependiente, entonces la investigación empírica es válida (Montoya, 2011).

#### ***8.1.5. Diseño completo al azar (DCA)***

En esta investigación se realizó el DCA, este diseño es uno de los más simples de todos los diseños que se utiliza para comparar dos o más tratamientos. Se llama completamente al azar, porque todas las ejecuciones experimentales se realizan en un orden completamente aleatorio. La prueba se basa en el análisis de varianza. Descomposición de la varianza total en varianza de procesamiento y varianza de error (fuente). El objetivo es determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos para la cual se compra la varianza del tratamiento contra la varianza del error (Sánchez, 2015).

#### ***8.1.6. Esquema del análisis de la varianza***

En este estudio se utilizó un (DCA), con tres tratamientos y tres repeticiones. Este modelo considera al campo experimental 9 m<sup>2</sup> dividido en 9 grupos de unidades experimentales (UE), donde los tres es el número de tratamientos (especies), tales que las unidades experimentales dentro de cada grupo son lo más homogénea posible y las diferencias entre las unidades experimentales (UE) sea dada por estar en diferentes grupos.

**Tabla 4. Esquema del análisis de la varianza.**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Formula</b>	<b>Grados de libertad</b>
Repeticiones	(R-1)	2
Tratamientos	(T-1)	2
Error	(T-1) (R-1)	4
Total		8

El factor en estudio son las especies de alfalfa achira y sigse; estudiadas mediante tres tratamientos como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5. Tratamientos en estudio.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Cultivos a Implementarse</b>
T1	Alfalfa
T2	Achira
T3	Sigse

### **8.1.7. Prueba de medias**

El método de Tukey se utiliza en el análisis de varianza para determinar intervalos de confianza para todas las diferencias por pares entre medias a nivel de factor mientras se controla la tasa de error familiar a un nivel específico. Al realizar comparaciones múltiples, es importante considerar la tasa de error de la serie porque la probabilidad de cometer un error de tipo I en una serie de comparaciones es mayor que la tasa de error de cualquier comparación única. El método de Tukey ajusta el nivel de confianza simultáneo resultante de igual al valor que especifique (Minitab,LLC. ALL rights Reserved, 2023).

La prueba de Tukey es un método diseñado para comparar medias individuales en un ANOVA de varias muestras que han sido tratadas de manera diferente. Esta prueba fue introducida por John en 1949. W. Tukey, permite discernir si los resultados obtenidos son significativamente diferentes. También se conoce como prueba HSD de Tukey (John., 1949). En la aplicación de esta prueba se calcula un valor  $w$  llamado el comparador de Tukey cuya definición es como sigue:

$$w = q\sqrt{(MSE/r)}$$

Donde el factor  $q$  se obtiene de una tabla (Tabla de Tukey) que consta de filas de valores para diferente número de tratamientos o experimentos. Estas columnas representan los valores del

factor q para diferentes grados de libertad. Normalmente, la importancia relativa de las tablas disponibles es 0,05 y 0,01. En esta fórmula, el factor MSE (Mean Squared Error) aparece dentro de la raíz cuadrada, dividida por r, que representa el número de repeticiones. MSE es un número generalmente obtenido del análisis de varianza (ANOVA) (John., 1949).

#### **8.1.8. Variables agronómicas a evaluarse**

##### **— Porcentaje de trasplante**

Para determinar el porcentaje de éxito en el trasplante, se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{porcentaje de éxito} = \frac{\text{numero de trasplantes exitosos}}{\text{numero total de trasplantes realizados}} \times 100$$

##### **— Altura de la planta (cm)**

Se mide la altura en cm desde la base de suelo del cuello de la raíz, donde se diferencia el sistema radicular del tallo de la planta. Deberá medirse de las 10 plantas seleccionadas de la unidad experimental.

##### **— Desarrollo de la raíz**

Al final se evaluará el desarrollo, longitud, grosor y ramificación de las raíces principales.

#### **8.1.9. Manejo agronómico del cultivo**

##### **— Preparación del suelo**

Con la ayuda de un tractor se realizó el arado con el objetivo de descompactar el terreno, para que el suelo quede completamente mullido haciendo que al momento de la siembra las raíces de las plantas no tengan ningún problema y su desarrollo sea excelente.

##### **— Trasplante**

Para proceder a la siembra se utilizó 1296 plantas en total, de las cuales 432 son de alfalfa, 432 de sigse, 288 plantas de achira y 144 bulbos el abonado fue de un quintal de abono orgánico (abono de vaca) para tres tratamientos, siendo así un total de tres sacos por UE.

— **Abonado de base**

*El abono orgánico de vaca ha sido un componente fundamental en la agricultura durante siglos su uso adecuado puede mejorar la fertilidad del suelo, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas y más respetuosas con el medio ambiente (Estiércol en Sistemas de Producción Orgánica, julio 2015)*

— **Riego**

El riego después del trasplante debe ser cuidadoso y bien gestionado para asegurar el establecimiento y crecimiento saludable de las plantas. Y adaptar la frecuencia cantidad y método de riego a las condiciones específicas del suelo, clima y tipo de planta es crucial para el éxito del trasplante.

— **Semi aporque**

*Facilita el desarrollo de las raíces en el suelo, ayuda y promueve la fertilización de las plantas y en última estancia, promueve el crecimiento y elimina las malas yerbas. Con un pequeño rastrillo se limpia la tierra y se deposita sobre el tallo de la planta para protegerlo e incluso ayudar en el riego y evitar el exceso de humedad.*

**Determinación de la efectividad de las tres especies en la remediación de suelos contaminados por el agua de riego**

**8.1.10. Muestreo de hojas, tallos y raíces**

El muestreo de raíces, tallos y hojas es un proceso estructurado que requiere atención al detalle para asegurar que las muestras sean representativas y adecuadas para el análisis posterior. Siguiendo un protocolo de muestreo riguroso se puede obtener información valiosa sobre la salud y el desarrollo de las plantas.

- Selección de plantas
- Recolección
- Etiquetado
- Almacenamiento



**Fuente: Chicaiza E & Chuquimarca L 2024.**

### ***8.1.11. Acumulación de arsénico en raíces y tallos***

La cuantificación de la concentración global de As en raíces, tallos y hojas se realizó mediante espectrometría de fluorescencia atómica posterior a digestión con ácido nítrico. Para obtener una comprensión más completa de la eficacia de eliminación de As se determinaron los factores de translocación (TF).

$$TF_{\text{tallo}} = \frac{\text{concentración en los tallos}}{\text{concentración de las raíces}}$$

$$TF_{\text{hoja}} = \frac{\text{concentración en las hojas}}{\text{concentración en las raíces}}$$

## **9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **Fertilidad del suelo y grado de contaminación de arsénico del área de estudio**

Para medir la fertilidad del suelo se realizó un análisis de suelo de tipo básico, donde se obtuvo los siguientes resultados. En general, el suelo presenta buenas condiciones en términos de disponibilidad de fósforo, potasio, calcio, magnesio y relaciones entre nutrientes. Sin embargo, es necesario abordar la baja disponibilidad de nitrógeno, manganeso y materia orgánica. El pH ligeramente alcalino puede requerir ajuste dependiendo de las necesidades específicas de los cultivos.

El contenido de nitrógeno total está bajo. Esto indica que el suelo puede necesitar una adición de fertilizantes que contengan nitrógeno para mejorar la fertilidad, el fósforo disponible es alto, lo que sugiere que el suelo tiene una buena cantidad de fósforo accesible para las plantas el potasio está alto en el suelo. Aunque el nivel es adecuado, el calcio también está alto y contribuye a la estructura del suelo y al equilibrio de otros nutrientes el magnesio es alto, lo cual es beneficioso para la fotosíntesis y otras funciones el cobre está en un nivel medio. Es

importante para la fotosíntesis y otras funciones en las plantas, pero no parece haber una deficiencia, el manganeso está bajo. Este nutriente es importante para la fotosíntesis y el metabolismo de las plantas. Puede ser útil agregar manganeso si se observa deficiencia en las plantas el pH es ligeramente alcalino. La mayoría de las plantas crecen bien en pH ligeramente ácido a neutro, pero algunos cultivos pueden necesitar ajustes si son sensibles a la alcalinidad, la materia orgánica está baja. Esto es crucial para la salud del suelo, ya que mejora la estructura, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, la conductividad eléctrica es baja, lo que indica que el suelo no es salino. Esto es bueno, ya que niveles altos de salinidad pueden ser perjudiciales para las plantas las relaciones entre calcio, magnesio y potasio están en niveles óptimos.

**Tabla 6. Fertilidad del suelo y grado de contaminación de arsénico del área de estudio.**

PARAMETROS		Resultado	Unidad	Nivel
<b>N TOTAL</b>	Kjeldahi	0,32	%	bajo
<b>P</b>	Olsen mod.	69	Ppm	alto
<b>K</b>	Ac. Am	0,7	meq/100g	alto
<b>Ca</b>	Ac. Am	10,3	meq/100g	alto
<b>Mg</b>	Ac. Am	3,4	meq/100g	alto
<b>Cu</b>	Olsen mod.	4	Ppm	medo
<b>Mn</b>	Olsen mod.	3	Ppm	bajo
<b>PH</b>	H2O 1:2.5	7,6		Ligeram. Alcalno
<b>M.O</b>	W-B	3	%	bajo
<b>C.E</b>	H2O 1:2.5	0,21	mmhos/cm	no salino
<b>Ca/Mg</b>	Calculo	3	meq/100g	Optimo
<b>Mg/K</b>	Calculo	5	meq/100g	Optimo
<b>(Ca+Mg) /K</b>	Calculo	20,2	meq/100g	Optimo

En la tabla 6. Se evaluó la fertilidad del suelo mediante un análisis, donde los parámetros evaluados fueron macro nutrientes y micro nutrientes según (Alberto Quiroga. & Alfredo Bono., 2012) un suelo debe contener niveles adecuados de nutrientes esenciales, el pH debe estar entre 6,0 a 7,5 de rango, la materia orgánica debe tener al menos 3-5%.

#### **Grado de contaminación de arsénico del área de estudio**

En la tabla 7 Se puede comparar los parámetros iniciales con (Tulsma, 2015) que contiene el suelo donde se plantó la alfalfa es de 0.0504 mg/kg, achira 0.0027 mg/ Kg y sigse con 0.0008, son niveles aceptables de arsénico en el suelo ya que no sobrepasan los niveles permisibles que es de 4 mg/Kg.

**Tabla 7. Grado de contaminación de arsénico del área de estudio inicial.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultados</b>
Alfalfa	Suelo Arsénico	mg/Kg	0.0504
Achira	Suelo Arsénico	mg/Kg	0.0027
Sigse	Suelo Arsénico	mg/Kg	0.0008

En la tabla 8 se puede comparar los parámetros finales (Tulsma, 2015) que contiene el suelo donde se implementó la alfalfa es de 2.68 mg/kg, achira 2.94 mg/ Kg y sigse con 2.27, son niveles aceptables de arsénico en el suelo ya que no sobrepasan los niveles permisibles en el suelo que es de 4 mg/Kg.

**Tabla 8. Grado de contaminación de arsénico del área de estudio final.**

	<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>	<b>Normativa ecuatoriana</b>
<b>T1</b>	Arsénico	2.68	mg/Kg	5 mg/Kg
<b>T2</b>	Arsénico	2.94	mg/Kg	
<b>T2</b>	Arsénico	2.27	mg/Kg	

### **9.1. Cálculo de incremento de arsénico a los tres meses**

En todos los tratamientos, la concentración de arsénico aumentó significativamente de abril a julio. El T2 con el 0.98% mostro el mayor incremento de arsénico acumulado seguido de T1 y luego el T3.

El T3 con el 0,76% presento el menor incremento de arsénico acumulado, lo que podría indicar que es el tratamiento más efectivo para reducir la acumulación de arsénico en el suelo o que simplemente la acumulación es más lenta en comparación con el T1 y T2.

**Tabla 9. Cálculo de incremento de arsénico a los tres meses.**

Tratamientos	Abril	Julio	3 meses	mg As/Kg de suelo
T1	0.0504	2.68	2.6296	0.88
T2	0.0027	2.94	2.9373	0.98
T3	0.0008	2.27	2.2692	0.76

## 9.2. Evaluación del desarrollo agronómico de Alfalfa (*Medicago sativa*), Achira (*Canna indica*) y Sigse (*Cortaderia nítida*)

### 9.2.1. Porcentaje de trasplante

En el análisis del cuadro del ADEVA del porcentaje de prendimiento después del trasplante a los 15 días, se observa que los tratamientos no son significativos; es decir, todas las tres especies son estadísticamente iguales.

**Tabla 10. Porcentaje de trasplante.**

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	3088,89	2	1544,44	3,66	0,0915
Tratamiento	3088,89	2	1544,44	3,66	0,0915
Error	2533,33	6	422,22		
Total	5622,22	8			
CV	27,6				
R <sup>2</sup> Aj	0,4				

### 9.2.2. Altura de la planta a los 30 días después del trasplante

En la tabla 11 el análisis de la VARIANZA a los 30 días después del trasplante evidenció una alta significancia ( $p < 0,01$ ) para el crecimiento de la planta (cm), con coeficiente de variación de 5,31. Es decir, el desarrollo de la planta se ve afectada por las condiciones edáficas y de riego.

**Tabla 11. Análisis de la Varianza a los 30 días después del trasplante.**

F.V.	SC	gl	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,02	2	0,01	111,02	<0,0001
Tratamientos	0,02	2	0,01	111,02	<0,0001
Error	4,40E-04	6	7,30E-05		
Total	0,02	8			
CV	5,31				
R <sup>2</sup> Aj	0,96				

La prueba de medias por Tukey 0,05 evidenció dos grupos de crecimiento de las especies: el grupo A formado por la especie alfalfa (T1) y achira (T2), con una altura de 0,20 cm y 0,19 cm respectivamente y el grupo B con la especie sigse (T3) con una altura de 0,10 cm. Es decir que la alfalfa y la achira al inicio del trasplante no presentaron afectación por la concentración de arsénico en el suelo.

**Tabla 12. Tratamiento medias Tukey.**

TRAMIENTOS	Medias (cm)	n
T1	0,2	3
T2	0,19	3
T3	0,1	3

### 9.2.3. *Altura de la planta a los 60 días después del trasplante*

El análisis de VARIANZA a los 60 días después del trasplante evidenció que no hay significancia ( $p < 0,99$ ) para el crecimiento de la planta (cm) y con coeficiente de variación de 4,05.

**Tabla 13. Análisis de la Varianza a los 60 días después del trasplante.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0	2	0	0	>0,9999
Tratamiento	0	2	0	0	>0,9999
Error	6	6	1		
Total	6	8			
CV	4,05E+00				
R <sup>2</sup> Aj	0				

**9.2.4. Altura de la planta a los 90 días después del trasplante**

El análisis de VARIANZA a los 90 días después del trasplante evidencio una alta significancia ( $p < 0,01$ ) para el crecimiento de la planta (cm) y con coeficiente de variación de 16,10. Es decir, el desarrollo de la planta se ve afectada por la concentración de arsénico.

**Tabla 14. Análisis de varianza a los 90 días después del trasplante.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,48	2	0,24	237,56	<0,0001
Tratamiento	0,48	2	0,24	237,56	<0,0001
Error	0,01	6	1,00E-03		
Total	0,49	8			
Cv	7,4				
R <sup>2</sup> Aj	0,98				

La prueba de medias por Tukey 0.05 evidencio tres grupos de crecimiento de las especies: el grupo A formado por la especie alfalfa (T1) con una altura de 0,75cm, el grupo B achira (T2) con una altura de 0,31cm y el grupo C el sigse (T3) con alturas de 0,23cm. Es decir que el T1, T2 Y T3 tienen efectos significativamente diferentes entre sí. Los tratamientos tienen impactos distintos en cuanto a la diferencia de medias entre ellos.

**Tabla 15. Tratamiento medias Tukey.**

Tratamiento	Medias (cm)	n
T1	0,75	3
T2	0,31	3
T3	0,23	3

**9.2.5. Altura de la planta a los 120 días después del trasplante**

El análisis de VARIANZA a los 120 días después del trasplante evidencio que no hay significancia ( $p < 0,01$ ) para el crecimiento de la planta (cm) y con coeficiente de variación de 8,10. Es decir, el desarrollo de la planta se ve afectada por la concentración de arsénico.

**Tabla 16. Altura de la planta a los 120 días después del trasplante.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0	2	0	0	>0,9999
Tratamiento	0	2	0	0	>0,9999
Error	6	6	1		
Total	6	8			
Cv	8,1				
R <sup>2</sup> Aj	0,00				

La prueba de medias por Tukey 0,05 evidenció un solo grupo de crecimiento de las especies: la especie alfalfa (T1), achira (T2) y sigse (T3) con una altura de 0,90cm, 0,32cm y 0,24cm. Es decir que no se puede afirmar con certeza que el T1 sea diferente del T2 o T3 en términos de la variable estudiada. Los tratamientos son considerados estadísticamente equivalente bajo las condiciones del experimento.

**Tabla 17. Tratamiento medias Tukey.**

Tratamiento	Medias(cm)	n
T1	0,9	3
T2	0,32	3
T3	0,24	3

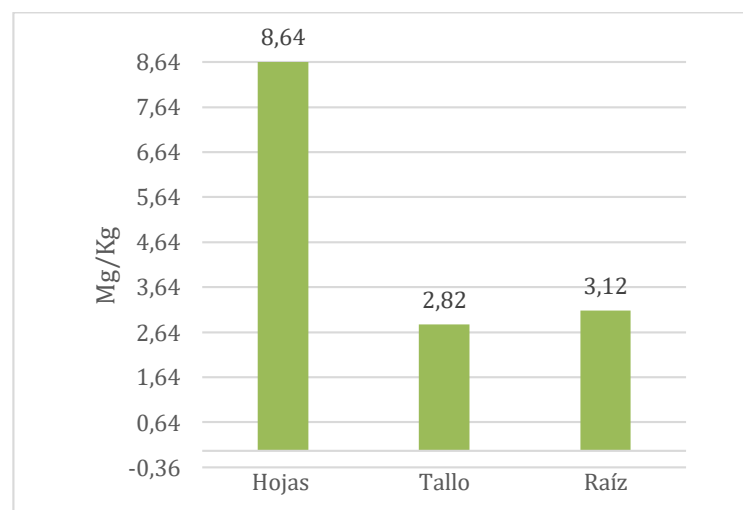
Describe el desarrollo de la alfalfa, achira y sigse a los 30-60-90-120 días, en donde la alfalfa tiene mayor desarrollo según (Rodríguez et al., 2022). En concentraciones de 2 a 3 ppm de

arsénico en el suelo el desarrollo de la alfalfa es efectivo, tiene una mayor formación de la parte aérea presentando una altura mayor a 90cm donde no se ve afectada el crecimiento por la presencia de As.

### 9.3. Determinación de la efectividad de tres especies en la remediación de suelos contaminados por el agua de riego.

#### - ALFALFA

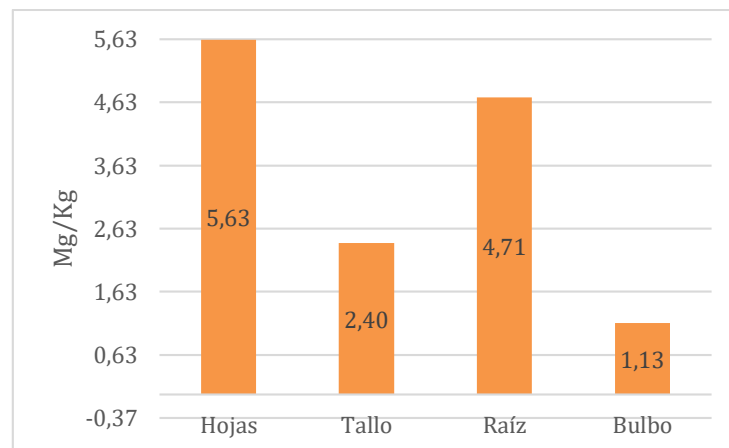
En la figura 1. La concentración de arsénico en la alfalfa (*Medicago sativa*) varía según sus órganos vegetativos; es más alta en las hojas y seguida por la raíz, y la menor concentración está en el tallo. Si comparamos la parte aérea respecto a las raíces, la primera concentra el 80% del arsénico traslocado y el 20% en las raíces. Estos hallazgos son similares a los encontrados por la agencia (ATSDR, 2021); donde los tallos y hojas de alfalfa pueden absorber arsénico del suelo de 3 a 4 mg/kg. mientras que en la raíz depende de la cantidad de arsénico presente en el agua, la absorción en la raíz solo es una tercera parte de la fijación en las hojas (Puente Valenzuela et al., 2019). Si comparamos con la investigación (Ruiz Huerta & Armienta Hernández, 2012a) que obtuvo niveles de arsénico en las partes aéreas de las plantas, incluyendo tallos y hojas, que oscilan entre 0.1 a 0.8 mg/kg, este estudio logro obtener mayor extracción en nuestra investigación donde la mayor absorción de arsénico se presentó en la parte aérea 12.39mg/Kg en alfalfa y en la raíz 3,12 mg/kg aunque los niveles específicos pueden variar según las condiciones del entorno y la contaminación del suelo.



**Gráfico 1. Factor de translocación Alfalfa**

## - ACHIRA

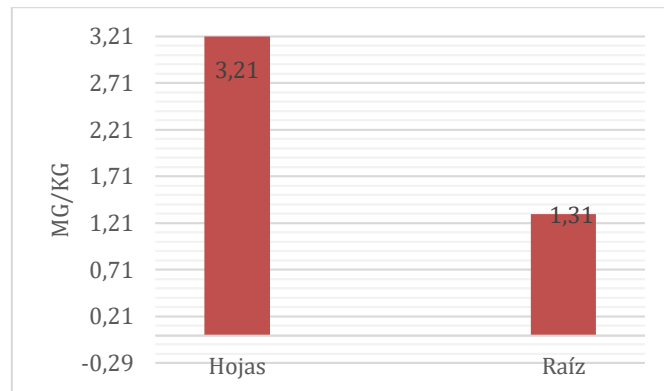
La concentración de arsénico en la achira (*Canna indica*) varía según sus órganos vegetativos; la concentración de arsénico translocado es más alta en las hojas y seguido por los tallos la menor concentración está en las raíces; es decir el 58% del arsénico se almacena en la parte aérea y el 42% en las raíces. En comparación con (Ruiz Huerta & Armienta Hernández, 2012a) reportado concentraciones de arsénico en los bulbos de achira que oscilan entre 0.1 a 1.5 mg/kg (Rangel Montoya et al., 2015). Que son similares a nuestros datos obtenidos.



**Gráfico 2. Factor de translocación Achira**

## - SIGSE

La concentración de arsénico en el sigse (*Cortaderia nitida*); es más alta en las hojas con 29% y la menor concentración está en las raíces con 71%. las gramíneas no son eficientes en la acumulación de arsénico, que puede acumular niveles más altos debido a su cultivo en condiciones inadecuadas. (Portillo-López et al., 2019) ha observado que algunas gramíneas pueden acumular arsénico en concentraciones que oscilan entre 0,1 y 10 mg/kg de materia seca. Sin embargo, estas cifras pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones específicas del entorno.



**Gráfico 3. Factor de translocación Sigse**


## 10. CONCLUSIONES

- El suelo de la comunidad de Tiliche San José presenta cantidades óptimas de elementos esenciales, Materia orgánica de 3% y un pH de 7,6% para la producción agrícola. En todos los tratamientos, la concentración de arsénico en el suelo aumentó significativamente de abril a julio acumulando 2,62mg/kg en los tres meses.
- Las diferencias significativas en el crecimiento de las plantas indican que la concentración de arsénico tiene un impacto diferencial en el desarrollo de cada especie, con la alfalfa mostrando un mayor crecimiento y el sigse el menor, en el análisis de varianza realizado muestra que no hay diferencias significativas entre los tratamientos de prendimiento después del trasplante a los 15 días, esto dice que todas las especies tienen una capacidad similar de adaptación en este periodo inicial de trasplante.
- Alfalfa (*Medicago sativa*) fue la especie con mayor capacidad fitorremediadora de arsénico As, absorbiendo 8.64 mg/kg en la parte aérea y el 3.12 mg/kg en la raíz, acumulándose tres veces más en la parte aérea que en la raíz, siendo la planta más eficiente en la fitorremediación en suelos contaminados.

## 11. RECOMENDACIONES

- Establecer un análisis del suelo previo antes de la implementación para el proceso de fitorremediación.
- Realizar el proceso de fitorremediación con plantas nativas de la zona como *Medicago sativa*, *Canna indica* en suelos contaminados por arsénico.
- Probar otras plantas nativas de la zona que ayuden a la fitorremediación.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Agtech. (2024, marzo 23). *La mejora de los suelos como prioridad para la producción agrícola* – *AgTech América*. <https://agtechamerica.com/la-mejora-de-los-suelos-como-prioridad-para-la-produccion-agricola/>
- Alberto Quiroga. & Alfredo Bono. (2012). *Fertilidad de Suelos INTA.pdf*. Google Docs. [https://drive.google.com/file/d/1hfUREbLJXDpaN26fH03EBdl1AwXPWxSI/view?usp=sharing&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/1hfUREbLJXDpaN26fH03EBdl1AwXPWxSI/view?usp=sharing&usp=embed_facebook)
- Aldariz, I. F. (2017, septiembre 20). ▷ *Fitorremediación: Plantas para Reducir la Contaminación* . Greenteach. <https://www.greenteach.es/fitorremediacion-plantas-contaminacion/>
- Angel Hernandez. (2019). *Join ResearchGate for free*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/signup.SignUp.html>
- AQUAE. (2024). *Acciones para reducir la contaminación del agua—Fundación Aquae*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/reducir-contaminacion-agua/>
- ATSDR. (2021, enero 25). *Resumen de Salud Pública: Arsénico (Arsenic) | PHS | ATSDR*. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html)
- 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.
- Burbano Orjuela, H. (2017). LA CALIDAD Y SALUD DEL SUELO INFLUYEN SOBRE LA NATURALEZA Y LA SOCIEDAD. *Tendencias*, 18(1), 118-126. <https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68>
- Capitán, F. C. (2023). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS: EL CASO DE AZNALCOLLAR*.
- Cirelli, A. F. (2012). *El agua: Un recurso esencial*.

- Definicion. (2023). *Metales pesados—Qué son, ejemplos, características y tipos*.  
<https://definicion.de/metales-pesados/>
- Ecologia Verde. (2023). *CONTAMINACIÓN por METALES PESADOS en el AGUA - Resumen*.  
 ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>
- EcuRed. (2023). *Metales pesados—EcuRed*. [https://www.ecured.cu/Metales\\_pesados](https://www.ecured.cu/Metales_pesados)
- Editorial. (2020, abril 30). *Características de la alfalfa*. Botanical-online.  
<https://www.botanical-online.com/botanica/alfalfa-caracteristicas>
- elmundo. (2009). *El arsénico de las aguas de riego llega a los cultivos | Ciencia | elmundo.es*.  
<https://www.elmundo.es/elmundo/2009/05/12/ciencia/1242122040.html>
- Featured. (2023). *Absorption vs. Adsorption—What's the Difference? This vs. That*.  
<https://thisvsthat.io/absorption-vs-adsorption>
- Ferrer, A. (2017). *Intoxicación por metales*.  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272003000200008](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008)
- Fertilab. (2023). *Los-metales-pesados-en-el-suelo.pdf*.  
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Los-metales-pesados-en-el-suelo.pdf>
- GEDAR. (2023). *Proceso IFAS. GEDAR - Tratamiento de Aguas*.  
<https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/proceso-ifas.htm>
- Granizo, M., & Marquez, A. (2007). *Análisis de metales en el valle*.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/126/1/06600.pdf>
- GreenFacts. (2022). *El Arsénico*. <https://www.greenfacts.org/es/arsenico/index.htm>
- Health and human Services. (2023). *El arsénico en la tierra*.  
<https://www.dshs.texas.gov/sites/default/files/epitox/hat/docs/arsenic-sp.pdf>
- Hidrolab. (2022, marzo 10). *Arsénico en el agua: Cuáles son sus consecuencias. Hidrolab*.  
<https://www.hidrolab.com/blog/arsenico-en-el-agua-consecuencias/>

- InfoAgro. (2023). *Contaminación de suelos por metales pesados*.  
[https://www.infoagro.com/abonos/contaminacion\\_suelos\\_metales\\_pesados.htm](https://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm)
- Jiménez, P. A., Díaz, X., Silva, M. L. N., Vega, A., Medeiros, B. M., & Curi, N. (2024). Evaluación y comprensión de la contaminación por arsénico en suelos agrícolas y sedimentos lacustres de la parroquia Papallacta, Ecuador, a través de índices ecotoxicológicos. *Siembra*, 11(3(Especial)), Article 3(Especial).
- Lete, J. A. (2019). *EVALUACION AGRONOMICA DE 9 VARIEDADES DE ALFALFA*.  
<https://zaguan.unizar.es/record/86526/files/TAZ-TFM-2019-1558.pdf?version=1>
- Lifeder. (2019, octubre 31). *Alfalfa: Características, hábitat, reproducción, propiedades*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/alfalfa/>
- Lifeder. (2023, agosto 23). *Arsénico: Qué es, historia, estructura, propiedades, usos*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/arsenico/>
- Liseth, C. E. K. (2024). *DECLARACIÓN DE AUTORÍA*. 5.
- Loyde De La Cruz, L. A., González Méndez, B., Cruz Avalos, A. M., Loredó Portales, R., Loyde De La Cruz, L. A., González Méndez, B., Cruz Avalos, A. M., & Loredó Portales, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemos (Sonora)*, 16(33), 93-98.  
<https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i33.228>
- Martínez, M. (2023). *Poscosecha de frutos: Maduración y cambios bioquímicos*.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017001104075](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017001104075)
- Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Marcó, L. M., Gómez, C., Estanga-Barrios, M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51).  
<https://www.redalyc.org/journal/3442/344265925001/html/>

- Molina, I. E. (2023). *Análisis de suelos*.  
<https://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Moliné, M. (2003, abril 8). La fitoextracción y la fitoestabilización en la recuperación de suelos. *Bitácora Almendrón*. <https://www.almendron.com/blog/la-fitoextraccion-y-la-fitoestabilizacion-en-la-recuperacion-de-suelos/>
- MPTERD. (2024). *Metales pesados*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales\\_pesados.html](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.html)
- OMS. (2022a). *Arsénico*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- OMS. (2022b). *Arsénico*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- ONU. (2018). *La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro*. Newsroom. <https://www.fao.org/newsroom/story/Polluting-our-soils-is-polluting-our-future/es>
- Pablo.H. (2023, octubre 21). *Cómo cultivar Achira o Sagú (canna indica) y sus cuidados*. Eco Jardín Mágico. <https://www.ecojardinmagico.com/como-cultivar-achira-o-sagu-canna-indica-y-sus-cuidados/>
- PACHECO, C. A. (2023). *Evaluación de alfalfa (Medicago sativa), chilca (Baccharis latifolia) y eneldo (Anethum graveolens) sobre índices productivos y reproductivos en cuyes hembras nativas*”. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/41356/1/050%20Veterinaria%20-%20Pacheco%20Sarabia%20Carlos%20Alexander.pdf>
- Phy2SUDOE. (2018). ¿Qué es la fitorremediación? *phy2sudoe*. <https://www.phy2sudoe.eu/el-proyecto/que-es-la-fitorremediacion/>

- Portillo-López, P. A., Meneses-Buitrago, D. H., Morales-Montero, S. P., Cadena-Guerrero, M. M., & Castro-Rincón, E. (2019). Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 93-103.
- Puente Valenzuela, C. O., Sánchez Cohen, I., Rivera González, M., & Marcial Pablo, M. de J. (2019). Evaluación del antagonismo selenio – arsénico en alfalfa (*Medicago sativa*). *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 1(Extra 1 (Nº Especial)), 134-143.
- QuimicaFacil. (2023). *Arsénico: Origen, fuentes y efectos en el medio ambiente • Quimicafacil.net*. <https://quimicafacil.net/notas-de-quimica/arsenico-origen-fuentes-y-efectos-en-el-medio-ambiente/>
- Rafael Domínguez, Mauricio León, Joseluis Samaniego, & Osvaldo Sunkel. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/b89f0453-es>
- Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., Balagurusamy, N., Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., & Balagurusamy, N. (2015a). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103-118.
- Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., Balagurusamy, N., Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., & Balagurusamy, N. (2015b). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103-118.
- RETEMA. (2023). *Nuevos datos sobre cómo dañan los metales pesados a los suelos | RETEMA*. <https://www.retema.es/actualidad/nuevos-datos-sobre-como-danan-los-metales-pesados-los-suelos>

- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Rivilla, H. M. (2022, junio 1). El potencial de la fitorremediación como tecnología medioambiental. *MasScience*. <https://www.masscience.com/el-potencial-de-la-fitorremediacion-como-tecnologia-medioambiental/>
- Rodríguez, S., Jaramillo, S., Zurita, D., Valdiviezo, A., & Choloquina, C. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS). *Revista Politécnica*, 49(2), 55-64.
- Rosas Rodríguez, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat [Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6978>
- Ruiz Huerta, E. A., & Armienta Hernández, M. A. (2012a). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(2), 103-117.
- Ruiz Huerta, E. A., & Armienta Hernández, M. A. (2012b). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(2), 103-117.
- Sebastián, C. M. (2017, octubre 9). Descubre las características, los cuidados y cultivo de la Achira. *La Villa - El Blog de Garden Center Ejea*. <https://blog.gardencenterejea.com/cultivo-achira/>
- Serrato, F. B., Díaz, A. R., Sarría, F. A., & Moreno, J. (2010). AFECCIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS POR METALES PESADOS EN ÁREAS LÍMITROFES A EXPLOTACIONES MINERAS DEL SURESTE DE ESPAÑA. *Papeles de Geografía*.

Servicio Geológico Mexicano. (2017, marzo 22). *Clasificación de los minerales*.

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Clasificacion-de-los-minerales.html>

Tulsma. (2015). *Angel HERNÁNDEZ | Researcher | Ing. | Research profile*. ResearchGate.

<https://www.researchgate.net/profile/Angel-Hernandez-32>

Vallarino, I. C. C. (2011). *DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA*.

<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/671/1/ChavezVC.pdf>

Velázquez-Chávez, L. D. J., Ortiz-Sánchez, I. A., Chávez-Simental, J. A., Pámanes-Carrasco,

G. A., Carrillo-Parra, A., & Pereda-Solís, M. E. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>