



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE
TILICHE SAN JOSÉ.”**

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

Autor:

Camacho Changoluisa Juan Francisco

Tutora:

Ilbay Yupa Mercy Lucila

LATACUNGA – ECUADOR Febrero 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Camacho Changoluisa Juan Francisco, con cédula de ciudadanía No. 1754336376, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE TILICHE SAN JOSÉ.”**, siendo la Ingeniera Mercy Lucila Ilbay Yupa, Ph.D. Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Juan Francisco Camacho Changoluisa
C.C: 1754336376
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 **CAMACHO CHANGOLUISA JUAN FRANCISCO** identificado con cédula de ciudadanía **1754336376** 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 siguiente

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 DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE TILICHE SAN JOSÉ.”**, 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: Octubre 2020 – Marzo 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre del 2024

Tutora: Ing. Mercy Lucila Ibay Yupa, Ph.D.

Tema: **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE TILICHE SAN JOSÉ.”**

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 patrimonio

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **EL 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 20 días del mes de febrero del 2025.



Juan Francisco Camacho Changoluiza
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE TILICHE SAN JOSÉ.”, de Camacho Changoluisa Juan Francisco, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Ing. Mercy Lucila Ilbay Yupa, PhD.

C.C: 0604147900

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Camacho Changoluisa Juan Francisco con el título del Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE TILICHE SAN JOSÉ”**., ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuete, Mg.

CC:0502409725

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Emerson Javier Jácome Mogro, Ph.D.

C.C: 0501974703

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

CC: 0502661754

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Hoy quiero tomar un momento para expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han sido mi apoyo, mi inspiración y mi fortaleza en este camino que he recorrido. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida, y quiero que sepan lo mucho que significan para mí.

Mamá Lina: Eres mi pilar, mi refugio y mi mayor ejemplo de amor incondicional. Tu sabiduría, tu paciencia y tu entrega han sido mi guía en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo dudaba de mí mismo. Eres, sin duda, el corazón de nuestra familia.

Estefania y Anabella: Ustedes son mis cómplices, mis confidentes y mis mejores amigas. Han estado ahí en cada risa, en cada lágrima y en cada paso importante de mi vida. Su cariño y su alegría me han dado fuerzas para seguir adelante. Las admiro profundamente y agradezco tenerlas en mi vida.

Isabella: Eres la luz de nuestra familia, la personificación de la pureza y la alegría. Ver tu sonrisa y tu curiosidad por el mundo me recuerda lo hermoso que es vivir. Gracias por llenar nuestros días de felicidad y por recordarme siempre lo importante que es soñar.

Camily: Eres una persona extraordinaria, alguien que llegó a mi vida en el momento justo y se convirtió en un apoyo invaluable. Desde los inicios de mi tesis, estuviste ahí, brindándome ánimo, consejos y, sobre todo, creyendo en mí cuando más lo necesitaba. No tengo palabras para agradecerte lo suficiente por tu amistad y tu generosidad. Eres, sin duda, una de las personas más especiales que he conocido

Piedad: Tú eres el alma de nuestra familia, la fuente de sabiduría y amor que nos une. Tus historias, tus consejos y tu fe inquebrantable han sido un faro en mi vida. Gracias por tus oraciones, por tu cariño incondicional y por ser ese ejemplo de bondad y fortaleza que inspira a todos los que te rodean.

A todos ustedes, gracias por ser parte de mi vida, por acompañarme en mis logros y en mis desafíos. Este momento no sería tan significativo sin cada uno de ustedes. Los llevo en mi corazón, hoy y siempre. Con todo mi amor y gratitud

Juan Francisco Camacho Changoluisa.

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, a mi mamá Lina, por ser mi pilar y mi ejemplo de fortaleza y amor incondicional; a mis hermanas Estefanía y Anabella, por su complicidad, apoyo y alegría que han iluminado cada paso de mi camino; a mi sobrina Isabella, por ser la personificación de la pureza y la felicidad que me recuerda la importancia de soñar; a Camily, por su invaluable apoyo desde los inicios de este proyecto, creyendo en mí y brindándome ánimo cuando más lo necesitaba; y a mi abuelita Piedad, por ser el alma de nuestra familia y por su sabiduría, amor y oraciones que han sido mi guía. Este logro es de todos ustedes, porque sin su cariño y apoyo no habría sido posible. Gracias por ser mi inspiración.

Juan Francisco Camacho Changoluisa.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA JUNTA DE RIEGO DE TILICHE SAN JOSÉ.

Autor:

Camacho Changoluisa Juan Francisco

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación de la concentración de arsénico en la Junta de Riego de Tiliche San José, Tanicuchi-Ecuador. La junta está formada por 68 usuarios con un área de 36 hectáreas (7 ramales) y un caudal de 10,8 L/s. Para la fertilidad del suelo se consideró al arsénico, macro y micro nutrientes. La caracterización de la producción agropecuaria se fundamentó en el dialogo con informantes claves, mapa de recursos y calendario estacional de cultivos. Para conocer la cadena de contaminación del arsénico se evaluó contenido de arsénico en el suelo, cultivos (alfalfa, maíz, zanahoria) y productos alimenticios. Los resultados evidencian suelos ligeramente alcalinos (7,97), con altos contenidos de fósforo (190,1 ppm), potasio (3,34 ppm), calcio (3,77 ppm) y magnesio (1,95 ppm), con contenido medio de cobre (1,8 ppm) y con bajos contenidos de nitrógeno (21,35 ppm) y manganeso (1,6 ppm), sin embargo, se detectaron niveles de arsénico (1,83), que se encuentran dentro de y los niveles de arsénico no sobrepasaron los límites permisibles según la normativa TULSMA para el suelo. La junta posee dos plantas de tratamiento, junto a la bocatoma (3550 msnm), el área de riego existe un reservorio y 7 ramales. La dinámica de siembra va en concordancia con el periodo lluvioso debido a la contaminación del agua de riego (arsénico) que afecta en las etapas iniciales de los cultivos. La producción agropecuaria se basa en la alfalfa (40%) para alimentar al ganado vacuno y cuyes, maíz (35%), zanahoria (10%), cilantro (5%), y cebolla (5%). En cuanto a la contaminación por arsénico en cultivos se observó altos niveles en la zanahoria (0,78 mg/kg), maíz (0,29 mg/kg) y alfalfa (0,02 mg/kg). Por otro lado, en la producción leche presento concentraciones nivel de arsénico de (0,01 ml/L) y en la carne de cuy (0,06 mg/As). Los estudios realizados confirman que la presencia de arsénico en el nexo agua-suelo-alimentación, evidencia una conexión directa en estos tres componentes, dado que el arsénico presente en el agua, se acumula en el suelo afectando a su calidad y posteriormente es absorbido por los cultivos, incorporándose así una cadena de contaminación, lo cual pone en peligro la salud humana.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

**THEME: EVALUATION OF THE ARSENIC CONCENTRATION IN THE
AGRICULTURAL PRODUCTION IN THE “TILICHE SAN JOSÉ” IRRIGATION BOARD.**

Author:

Camacho Changoluisa Juan Francisco

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the concentration of arsenic in the “Tiliche San José” Irrigation Board, located in Tanicuchi, Ecuador. The board consists of 68 users, covering an area of 36 hectares (7 branches) with a flow rate of 10.8 L/s. For soil fertility analysis, arsenic, macro, and micronutrients were considered. The characterization of agricultural production was based on interviews with key informants, a resource map, and a seasonal crop calendar. To understand the arsenic contamination chain, arsenic content was evaluated in soil, crops (alfalfa, maize, and carrots), and food products. The results revealed slightly alkaline soils (pH 7.97), with high levels of phosphorus (190.1 ppm), potassium (3.34 ppm), calcium (3.77 ppm), and magnesium (1.95 ppm), a medium copper content (1.8 ppm), and low levels of nitrogen (21.35 ppm) and manganese (1.6 ppm). However, arsenic levels of 1.83 ppm were detected, which are within the permissible limits established by the TULSMA regulations for soil. The irrigation board has two treatment plants located near the intake structure (3,550 meters above sea level). The irrigation area includes a reservoir and seven branches. The planting cycle aligns with the rainy season due to irrigation water contamination (arsenic), which affects the initial stages of crop development. Agricultural production is primarily based on alfalfa (40%) for feeding cattle and guinea pigs, maize (35%), carrots (10%), cilantro (5%), and onions (5%). Regarding arsenic contamination in crops, high concentrations were observed in carrots (0.78 mg/kg), maize (0.29 mg/kg), and alfalfa (0.02 mg/kg). Additionally, arsenic levels were detected in milk (0.01 mg/L) and guinea pig meat (0.06 mg/kg As). The study confirms that the presence of arsenic in the water-soil-food nexus reveals a direct connection among these three components. The arsenic present in the water accumulates in the soil, affecting its quality, and is subsequently absorbed by crops, thus creating a contamination chain that poses a risk to human health.

Key words: Irrigation, arsenic, evaluation, fertility, soil.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:	4
6. OBJETIVOS:	5
6.1 Objetivo General	5
6.2 Objetivos Específicos	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7
8.1 Fertilidad	7
8.1.1 Agua	7
8.1.2 Origen del agua con arsénico en la Junta	7
8.1.3 Problemas de arsénico en el agua	8
8.1.4 Agua en relación con otros metales.	8

8.1.5	Calidad de agua para el riego	9
8.2	Características del suelo	10
8.2.1	Propiedades químicas	10
8.2.2	Propiedades físicas	10
8.2.3	Propiedades biológicas	10
8.3	Tipos de suelo	10
8.3.1	Calidad del suelo para la agricultura	10
8.3.2	Arsénico en el suelo	10
8.3.3	Arsénico en cultivos	11
8.3.4	Arsénico en Maíz	11
8.4	Leche	12
8.4.1	Arsénico en relación con otros metales	12
8.4.2	Problemas de arsénico en la leche	12
8.4.3	Calidad de la leche para el consumo	13
9.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS	13
10.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	13
10.1	Área de Estudio	13
10.2	Caracterización de los sistemas de producción agropecuaria en la junta	14
10.2.1	Dialogo con informantes claves	14
10.2.2	Mapa de recursos	15

10.2.3	Calendario	estacional	del	cultivo	16
10.3	Determinación de la concentración de arsénico en la producción agropecuaria				17
10.3.1	Muestreo		de	suelo	17
10.3.2	Muestreo		de	maíz	18
10.3.3	Muestreo			de	18
	Zanahoria.....				
10.3.4	Muestreo		de	leche	19
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS				20
11.1	Fertilidad del suelo				20
11.1.1	Relación			Mg/K	21
11.1.2	Resultados	del	contenido	de	21
			pH	en	el
					suelo
11.1.3	Resultado	del	contenido	de	22
			Nitrógeno	en	el
					suelo
11.1.4	Resultados	del	contenido	de	23
			Fosforo	en	el
					suelo
11.1.5	Resultados	del	contenido	de	24
			Potasio	en	el
					suelo
11.1.6	Resultado	del	contenido	de	25
			Calcio	en	el
					suelo
11.1.7	Resultado	de	contenido	de	26
			Magnesio	en	el
					suelo
11.1.8	Resultado	de	contenido	de	27
			Cobre	en	suelo
11.1.9	Resultado	de	contenido	de	28
			Manganeso	en	el
					suelo
11.1.10	Relación	del	contenido	de	29
			Zinc	con	el
					suelo.....
11.1.11	Calidad	de	suelo	de	30
				la	Junta

11.2	Caracterizar los sistemas de producción agropecuaria en la junta	31
11.2.1	Organización de la Junta de Riego	31
11.2.2	Sistemas de producción agrícola	31
11.2.3	Sistemas de producción pecuaria	32
11.3	Arsénico en la producción agropecuaria	33
11.3.1	Arsénico en el maíz (<i>Zea mays</i>)	33
11.3.2	Arsénico en la zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	35
11.3.3	Arsénico en alfalfa	35
11.3.4	Arsénico en la leche	36
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
13.	BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados	6
Tabla 2	Propiedades Fisicoquímicas	9
Tabla 3	Interpretación del resultado de nitrógeno	22
Tabla 4	Interpretación del contenido de Fosforo	23
Tabla 5	Interpretación del contenido de potasio	24
Tabla 6	Interpretación de los niveles de calcio.....	25
Tabla 7	Interpretación de contenido de magnesio	26
Tabla 8	Interpretación del contenido de cobre	27
Tabla 9	Interpretación del contenido de manganeso	28
Tabla 10	Interpretación del contenido de zinc	29

ÍNDICE DE FIGURAS Figura 1 Ubicación del área de estudio; **Error! Marcador no definido.**

Figura 2 Mapa de Recursos	16
Figura 3 Toma de Muestras	17
Figura 4 Muestreo de Maiz.....	18
Figura 5 Maquina de Laboratorio.....	19
Figura 6 Resultado de la evaluación de fertilización de suelo.....	20
Figura 7 Análisis de fertilización	20
Figura 8 Contenido de pH	21
Figura 9 Contenido de nitrógeno.....	22
Figura 10 Contenido de fosforo en los módulos.....	23
Figura 11 Niveles de potasio en los módulos.....	24
Figura 12 Niveles de calcio en los módulos.....	25
Figura 13 Niveles de magnesio en los módulos	26
Figura 14 Niveles de contenido de cobre.....	27
Figura 15 Niveles de manganeso en los módulos.....	28
Figura 16 Niveles de zinc en los módulos	29
Figura 17 Niveles de arsénico en los módulos	30
Figura 18 Porcentajes de siembras de cultivos.....	32
Figura 19 Producción de leche.....	33
Figura 20 Resultados del cultivo de maíz	34
Figura 21 Arsénico en la zanahoria	35
Figura 5 Arsénico en alfalfa	36
Figura 23 Resultados análisis de leche	37

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Evaluación de la concentración de arsénico en la producción agropecuaria en la Junta de Riego de Tiliche San José.

Fecha de inicio: 14 de octubre del 2024

Fecha de finalización: 31 de enero del 2025

Indicar claramente la fecha de inicio y fin del proyecto, este proyecto puede durar de uno a cinco años, el formato es mes/año

Lugar de ejecución:

Junta de Riego de Tiliche San José

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Agronomía

Equipo de Trabajo:

Tutora: Ing. Mercy Lucila Ilbay Yupa, PhD

Coordinador del Proyecto:

Alumno: Camacho Changoluisa Juan Francisco

Teléfono: 0999769374

Correo electrónico: juan.camacho6376@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: Agricultura, Silvicultura

y Pesca **Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental **Línea**

de vinculación de la carrera:

Evaluación agronómica de la Junta de Riego de Tiliche San José

2. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es de gran importancia para el desarrollo de una región, teniendo fines de satisfacer la demanda para la alimentación, agricultura, industria, etc. Donde se tenga una correcta gestión sobre este recurso natural. (Moran, 2022) El uso del agua en el sector agrícola es crucial y desempeña un papel de suma importancia en la salud alimentaria, las proyecciones estiman que para el año 2050 se tendrá un incremento poblacional que superará los 10 000 millones de habitantes, por lo tanto, esta población tendrá que contar con alimentos y fibras para satisfacer sus necesidades básicas (GRUPO BANCO MUNDIAL , 2024). Sin embargo, para lograr satisfacer la demanda de agua en el futuro se deberá designar entre el 25 al 40 % de este recurso solo para actividades productivas. En el Art 43 define a las juntas administradoras de agua potable como organizaciones comunitarias sin lucro, encargadas de prestar el servicio público de agua potable. Este artículo establece que su accionar debe fundamentarse en criterios de eficiencia económica.

En el Art 44 establece que los deberes y atribuciones de las juntas administradoras de agua potable, lo que también se relaciona con su manejo y funcionamiento.

El agua contaminada y el saneamiento deficiente favorecen a la transmisión de enfermedades como el cólera, si los servicios de agua y saneamiento son insuficientes o su gestión es de forma inapropiada, esto expone a la población a riesgos para su salud. (WHO, 2023)

Se estima que al menos el 4.5 millones de personas consumen agua de manera permanente con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud, los alimentos contribuyen hasta con el 50% de la ingesta de As, el monitoreo de productos alimenticios indica que el arsénico está presente en todos los alimentos. (Chavez, 2016) Las concentraciones de As en los alimentos procedentes de diversos países varían mucho dependiendo del tipo de alimentos, condiciones (tipo de suelo, el agua, la actividad geoquímica, el uso de pesticidas arsenicales) y técnicas de procesamiento, pero comúnmente, las mayores concentraciones de As se encuentran en pescados y mariscos, seguidos de carnes y granos; las frutas, verduras y lácteos tienden a tener concentraciones totales menores. Sin embargo, el arroz presenta la más alta concentración promedio a nivel mundial. (M, 2015)

(Lozano, 2021), menciona como la agricultura muestra gran vulnerabilidad por el cambio climático, teniendo consecuencias como la erosión del suelo, afectaciones a los cultivos, pérdidas de cobertura vegetal, alteraciones en las dinámicas de los cultivos como: papa, quinua,

maíz. Se detalla el impacto del cambio climático en los Andes provocara que, en países como Brasil, Bolivia, Ecuador y Colombia, tengan incrementos en su temperatura local, teniendo consecuencias como la escasez de agua, provocando la pérdida de cultivos importantes. (Agudelo, 2019)

El arsénico es un metaloide ya que comparte propiedades con los metales y también con los no metales, se encuentran ampliamente distribuido en la superficie terrestre; es conocido por ser un elemento toxico para los seres humanos, en los alimentos consumidos pueden ocasionar problemas a la salud a largo plazo; La cantidad de arsénico en el agua, especialmente en el agua subterránea, llega en algunos casos a superar la concentración de 1 000 µg/L. La principal fuente de exposición son el agua de bebida, los cultivos regados con agua contaminada y los alimentos preparados con agua contaminada. (Organizacion Mundial de la Salud , 2022)

Alrededor de un tercio del arsénico presente en la atmosfera proviene de fuentes naturales como reacciones ambientales, actividad biológica, emisiones volcánicas, actividades antropogénicas. (Campos, 2007) En estudios realizados en Ecuador, resalta que el arsénico puede penetrar en el aire, el agua y el suelo a través de tormentas de polvo y aguas de escorrentía, por lo que la contaminación por arsénico está muy extendida debido a su fácil dispersión. (Gillispie, 2015) Según estudios realizados por Senagua en el año 2018, el agua que proviene desde los Ilinizas contiene arsénico proveniente de una mina, es decir que la contaminación antropogénica es baja.

A través de los años la actividad agrícola y ganadera ha incrementado por lo cual la población utiliza el agua directa de los afluentes de los Ilinizas y este tiene una gran contaminación en el agua con arsénico. (Chacha, 2021)

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación se enfocará en la concentración de arsénico en el agua de riego de la Junta de Riego de Tiliche San José, y como llega a afectar a sus principales fuentes de ingreso económico. La Junta tiene adjudicación del uso y aprovechamiento del recurso hídrico debido a la bocatoma que posee la junta que es proveniente de la Reserva Ecológica de los Ilinizas la cual es considerada una fuente de contaminación de arsénico debido a su origen volcánico. Con la presente información se realizará estudios con el nexo agua, suelo y producción agropecuaria, con lo cual se implementará estrategias así mejorando la calidad del agua de riego y los suelos, lo cual conllevará a una mejora en la producción de 56 usuarios del sistema de riego.

En estudios realizados que fueron enfocados en la presencia de arsénico, detalla cómo la contaminación en el agua altera su característica natural; a origen de la unión de microorganismos, sedimentos, fertilizantes, entre otros, como también puede ser originada por fuentes naturales como presencia de metales pesados, elementos naturales, como puede ser la exposición volcánica como es el caso del arsénico (As) el cual es un problema global por su toxicidad y las afectaciones en la salud. (Walton, 2017)

En la presente investigación detalla procedimientos realizados como búsqueda en temas relacionados a los niveles de arsénico en el agua y a su vez se señala la problemática presente en la Junta de Riego de Tiliche San José la justificación la factibilidad de la propuesta el desempeño de normas de calidad en los procedimientos. (Ramírez, 2014)

El agua es un recurso que actualmente resulta vulnerable a impactos influenciados por prácticas impropias ocasionando problemas afectando el consumo humano y agrícola. Con esta problemática ha surgido la necesidad de evaluar la calidad del agua e implementar indicadores de parámetros el cual con lleva un marco de referencia. (Ingallinella, 2014)

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios directos productores e investigadores, 56 usuarios de la Junta de Riego de Tiliche San José del sector Toacaso de la provincia de Cotopaxi.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

La concentración por arsénico en la producción agropecuaria en la Junta de Riego de Tiliche San José, sobre la acumulación del arsénico y en qué nivel se concentra en el suelo y en los cultivos. Los habitantes de la zona están expuestos al As por ingestión de agua o consumo de alimentos contaminados debido a que sus sistemas de producción se realizan con agua que proviene de los Ilinizas. (Toaquiza, 2021).

Según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Toacaso, detalla de la presencia de arsénico proveniente de los Ilinizas. (GAD, 2021). Basado en estudios anteriores la cantidad de arsénico en las vertientes de agua esto debido a que los suelos son de origen volcánico de la junta de agua.

Anteriormente se ha realizado estudios basados en presencia de arsénico, se realizarán nuevos análisis enfocados en agua, suelo y producción con parámetros que permitan conocer datos con

enfoque de los daños actualmente ya que no se ha conocido públicamente sobre ningún estudio relacionado con la investigación sobre el área de estudio en la junta de agua.

6. OBJETIVOS:

6.1 Objetivo General

Evaluación de la concentración de arsénico en la producción agropecuaria en la Junta de Riego de Tiliche San José.

6.2 Objetivos Específicos

Evaluar la fertilidad del suelo de la Junta de Riego de Tiliche San José. Caracterizar los sistemas de producción agropecuaria en la Junta de Riego de Tiliche San José.
Determinar la concentración de arsénico en la producción agropecuaria.

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

Tabla 1 *Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados*

OBJETIVO 1	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Evaluación de la concentración de arsénico en la producción agropecuaria en la Junta de Riego de Tiliche San José.	<p>Revisar la información del anterior proyecto</p> <p>Analizar los datos contenidos de la tesis anterior con respecto a la junta.</p> <p>Socializar el proyecto con los encargados del mismo y los moradores de la comunidad.</p> <p>Recorrer las rutas por las que atraviesa el agua hasta el área de entrega.</p> <p>Recolectar 3 muestras por cada punto de muestreo. (4 puntos)</p>	<p>Estudiar los datos y los resultados que han sido recopilados anteriormente.</p> <p>Los dirigentes están al tanto del proyecto y dan paso a trabajar en la localidad.</p> <p>Reconocer los puntos del área de estudio.</p> <p>Obtener el nivel de arsénico que se encuentra en el suelo y agua.</p>	<p>Documento anterior, Revisión bibliográfica.</p> <p>Fotos, Videos</p> <p>Puntos GPS, fotos</p> <p>Muestras obtenidas, fotos</p>
OBJETIVO 2	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Evaluar la fertilidad del suelo de la Junta de Riego de Tiliche San José.	<p>Interpretar la información obtenida</p> <p>Comparar resultados con los parámetros de calidad de suelos.</p> <p>Dialogar con los presidentes de los ramales presidentes de la junta y el aguatero.</p>	<p>Identificar la calidad de agua de la junta</p> <p>Determinar si el suelo es apto para uso agrícola</p> <p>Participación de la comunidad y la academia.</p>	<p>Datos y resultados del laboratorio.</p> <p>Revisión bibliográfica, herramientas para el desarrollo participativo</p>
OBJETIVO 3	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN

Determinar la concentración de arsénico en la producción agropecuaria.	Recolectar 3 muestras por cada punto de muestreo y 1 muestra para coliformes. (Existen 4 puntos de muestreo)	Obtención de 16 muestras de cada punto etiquetadas respectivamente	Fotos, frascos con muestras etiquetadas respectivamente
--	--	--	---

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Fertilidad

La fertilidad del suelo es fundamental para el desarrollo de las plantas, Para evaluar la fertilidad del suelo y determinar si es adecuada para los cultivos principales de la Junta de Riego de Tiliche San José, se envían al laboratorio para analizar varios parámetros que determinan la calidad del suelo (Cherlinka, 2024). El pH mide la acidez o la alcalinidad del suelo en una escala de 0 a 14, el pH neutro es de 7, si los valores son superiores indican alcalinidad, y si son menores los valores indican acidez.

La materia orgánica en el suelo incluye los restos de plantas y animales en descomposición, como microorganismos, un alto contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo, la retención del agua y la disponibilidad de nutrientes (Carlos Sierra, 2018).

El NPK está formado por tres elementos primarios, estos son: Nitrógeno, Fosforo y Potasio, el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetativo y la síntesis de proteínas, el fosforo es importante para el desarrollo de raíces, la floración y la fructificación, el potasio aporta en la regulación del agua, la resistencia a enfermedades y la calidad de los frutos (Mae, 2021).

La deficiencia de micronutrientes puede causar problemas específicos como clorosis (amarillamiento de las hojas), Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro, Molibdeno, Cloro; estos elementos son necesarios en cantidades muy pequeñas, pero son de gran importancia para diversas funciones fisiológicas de las plantas (Agrotey, 2024).

8.1.1 Agua

En el agua subterránea, las concentraciones de arsénico llegan a alcanzar hasta 1 mg/L. Según (Nguyen, 2009), el problema con mayor severidad se encontró en cuatro aldeas al norte de

Vietnam. Dado que las aguas subterráneas se utilizaban como agua potable, los resultados de estos análisis dieron un promedio de 348, 211 y 325 $\mu\text{g/L}$.

8.1.2 Origen del agua con arsénico en la Junta

La fuente con mayor contaminación (Boca toma) dada por su ubicación en las faldas del Iliniza, se realizó un muestreo del suelo de la junta de agua de Tiliche ubicado en la provincia de Cotopaxi, el cual detallo contaminación con arsénico procedente del volcán Iliniza, se realizaron análisis físicos, químicos, biológicos y análisis de concentración de arsénico en suelo y plantas. (PDOT, 2020).

La principal causa del deterioro del agua es la contaminación, por la mala gestión y tratamiento de los residuos humanos, debido a falta de protocolos en el manejo de sedimentación. La ONU indica que las principales causas de contaminantes son: microbios, patógenos, metales pesados y sedimentos. (PDOT_TOACASO, 2020).

8.1.3 Problemas de arsénico en el agua

La presencia de arsénico en el agua se da de forma natural por la filtración de compuestos que se encuentran presentes en rocas o en minerales, también por emisiones volcánicas. (La Fundación del agua, 2019)

La especie más frecuente en aguas superficiales con arsénico en estado de oxidación es (As^{+5}), sin embargo, en aguas superficiales y lagos predomina la presencia de arsénico con estado de oxidación (As^{+3}). (Vitrina de Methika, 2016)

8.1.4 Agua en relación con otros metales.

En la actualidad los orígenes de exposición de sustancias se han derivado mucho con relación con la actividad agrícola.

La mayoría de los oligoelementos que son indispensables para un correcto funcionar del organismo en concentraciones traza son metálicos: Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mb, Se, Cr, Sn, Va, Si y Ni. Algunos de los alcalinos (Na, K) y alcalinotérreos (Ca) y el Mg son cationes de gran importancia para el correcto funcionamiento celular y se encuentran en alta concentración (Juarez, 2024).

Según (ATSDR , 2005), los principales estados de oxidación que se puede encontrar en el agua pueden ser de dos formas.

- As^{+3} (Arsénico Trivalente): Se encuentra en lagos y aguas subterráneas, es la forma más toxica.
- As^{+5} (Arsénico Pentavalente): Se encuentra en aguas superficiales, es menos toxica. (Young, 1999).

Tabla 2 *Propiedades Fisicoquímicas*

Compuesto	Fórmula	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Densidad (g/cm ³)	Solubilidad en el agua (g/L)
Arsénico	As	613	-	5.73 a 14 °C	Insoluble
Trióxido de arsénico	As ₂ O ₃	312.3	465	3.74	37 a 20 °C
Pentóxido de arsénico	As ₂ O ₅	315	-	4.32	1500 a 16°C
Sulfuro de arsénico	As ₂ S ₃	300*	707	3.43	5x10 ⁻⁴
Ácido dimetilarsénico	(CH ₃) ₂ AsO(OH)	200	-	-	829 a 22 °C
Arsenato de plomo	PbHAsO ₄	720	-	5.79	poco soluble
Arsenato de potasio	KH ₂ AsO ₄	288	-	2.87	190 a 16 °C

(TULSMA, 2012)

8.1.5 Calidad de agua para el riego

La calidad del agua utilizada es crucial para la vitalidad de las plantas, debido a la presencia de arsénico en el agua de riego, llega a afectar a los cultivos para su correcto rendimiento, las condiciones físicas del suelo utilizado el análisis de la calidad del agua es uno de los factores prioritarios para determinar la factibilidad de establecer la relación o limitación del empleo de agua (FAO, 2018).

También es ilegal utilizar aguas servidas para riego, a menos las cuales lleven un proceso y cumplan los estándares, donde el agua este dentro de los criterios de la calidad del agua y sea aceptable para la agricultura (TULSMA, 2012). Los criterios sobre la calidad de agua para riego pueden ser diferentes debido, al tipo de cultivo, ya que cada cultivo tiene diferente susceptibilidad a determinados minerales o propiedades del agua (MCGROUP, 2021). Los parámetros que determinan la calidad del suelo son:

Salinidad

Un nivel elevado de salinidad reduce la capacidad de la planta de absorber el agua, esto implicaría una disminución del rendimiento, marchitamiento, hojas quemadas, entre otros.

PH

El pH del agua influye en la solubilidad de los minerales, las plantas pueden absorber minerales solo por solución acuosa, en forma de iones directamente a través del agua. (MCGROUP, 2021)

8.2 Características del suelo

8.2.1 Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo como la capacidad de intercambio catiónico, el pH, el potencial redox y la conductividad eléctrica son importantes ya que influyen en la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento de las plantas, etc. El suelo es un sistema vivo dinámico en el que las moléculas y los iones pueden cambiar constantemente. (Spiers, 2022)

8.2.2 Propiedades físicas

Son de gran importancia para un buen desarrollo de las plantas, para que exista un medio óptimo para el crecimiento de las plantas debe darse una interacción dinámica entre las características, físicas, químicas y biológicas (Carvajal, 1997).

Según (TULSMA, 2012), los factores que determinan las características de los suelos son: el tipo de roca, su antigüedad, el relieve, el clima y la vegetación.

8.2.3 Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas del suelo incluyen todos los organismos, los parámetros más simples son el número o la biomasa de organismos, el suelo depende de su composición de contenido de compuestos orgánicos, contenido de nutrientes, reacción, humedad y temperatura (AMJ, 2022).

8.3 Tipos de suelo

8.3.1 Calidad del suelo para la agricultura

La calidad se refiere al estado del terreno en términos de sus propiedades (físicas, químicas y biológicas), se incluyen varios parámetros como su capacidad para mantener nutrientes, retener

agua y apoyar al crecimiento, un suelo sano es capaz de aportar a las plantas los nutrientes requeridos, teniendo un aumento agrícola (VermiDuero, 2024).

8.3.2 Arsénico en el suelo

El arsénico puede expresarse de dos maneras como arsenito y arseniato, siendo estos más móviles en el suelo, el arsénico es un metal pesado que más absorbe el suelo. La concentración de arsénico en el suelo con lleva a tener problemas en la salud de humanos y animales por el consumo de alimentos y al estar en contacto con el suelo (Jiménez, 2024). Los efectos causados en las plantas, son: la toxicidad el arsénico inhibe el crecimiento radicular, reduce la absorción de nutrientes y puede causar clorosis y necrosis foliar, la bioacumulación por la absorción de arsénico por las plantas, puede representar un riesgo para la cadena alimentaria (Mendez, 2009).

8.3.3 Arsénico en cultivos

El arsénico es un elemento toxico natural que esta principalmente en el suelo y aguas subterráneas, el uso de agua contaminada con As para el riego de cultivos promueve la aparición de altas concentraciones de este mineral, el cual se convierte en un riesgo para la salud de los consumidores. En estudios realizados en Argentina se detectó la presencia de arsénico en plantas de lechuga, sonde se evidencio la presencia de este metal los resultados de los estudios fueron de 0.026 y 0.028 mg/kg, en donde el (CAA) Código Alimentario Argentino, el valor establecido es de 1 mg/kg. (Llopart, 2017)

Las hortalizas son un tema de preocupación desde el punto de vista toxicológico ya que es cultivado en suelos contaminados. En países como Chile, Ecuador, Perú, se han detectado niveles elevados en las hortalizas, como el cilantro, la lechuga, cebolla, entre otros (Pamela Robles, 2018).

8.3.4 Arsénico en Maíz

El arsénico en el maíz es un tema de preocupación debido a los posibles riesgos para la salud asociados con la exposición a este metaloide tóxico. El arsénico puede estar presente en el maíz y otros cultivos debido a varias razones, incluyendo la contaminación del suelo y el agua, el uso de fertilizantes y pesticidas que contienen arsénico, y la absorción natural del elemento por las plantas, el arsénico puede estar presente en el suelo y el agua debido a actividades industriales, minería, o de forma natural en algunas regiones. Las plantas de maíz pueden absorber el arsénico a través de sus raíces si el suelo o el agua de riego está contaminada. Algunos

fertilizantes y pesticidas utilizados en la agricultura pueden contener arsénico, lo que puede contribuir a su presencia en los cultivos de maíz, durante el procesamiento y almacenamiento del maíz, también puede haber contaminación cruzada con arsénico si no se maneja adecuadamente (Ruiz, 2012).

8.4 Leche

8.4.1 Arsénico en relación con otros metales

El arsénico con relación con otros metales pesados es de gran importancia su presencia radica en el medio ambiente lo cual tiene consecuencias perjudiciales, tanto como para la salud humana, animales y cultivos agrícolas. (ATSDR , 2005)

En la producción láctea es de gran importancia debido a la cadena de contaminación que conlleva y a los daños causados hacia la salud, en estudios previos se examinó que en cultivos provenientes de la zona están contaminados con As, ya que el agua utilizada es proveniente de los Ilinizas. (Tipan, 2024)

8.4.2 Problemas de arsénico en la leche

El estudio de vigilancia biológica es de gran importancia para evaluar los riesgos para la salud humana, la contaminación por metales pesados tóxicos es un problema ambiental, la presencia de algunos metales pesados como el hierro, el manganeso, el zinc y el cobre es esencial para una vida saludable, sin embargo, pueden llegar a ser nocivos si sobre pasan los límites permisibles. No obstante, algunos metales, como el arsénico, el cadmio, el plomo y el mercurio, incluso en cantidades pequeñas son peligrosos y tóxicos para los seres humanos y otros seres vivos (Samiee, 2019).

Estudios de la OMS sobre la contaminación de la leche de los bovinos con metales pesados muestran que esos pastorean y consumen agua proveniente de vertientes contaminadas, lo que aumenta el peligro de cáncer de pulmón, piel e hígado, es un punto de potencia carcinogénica del As es de 1.5 mg/kg/día (WHO, 2022).

Los metales pesados son de gran interés para la humanidad debido a que la presencia de estos en el ambiente tiene efectos negativos en la salud del hombre, y seres vivos. Particularmente en

productos lácteos, constituye un tema de actualidad. Según la Norma Técnica Ecuatoriana, el límite máximo permitido de Arsénico es de 0.015 mg/kg. (Jose Ayala Armijos, 2012)

8.4.3 Calidad de la leche para el consumo

Según (Calidad y Evaluación, s. f. -b, 2025), una leche cruda de buena calidad no debe contener residuos ni sedimentos; no debe ser insípida ni tener color y olor anormales, no debe tener sustancias químicas (antibióticos) y acidez normales.

- **Análisis sensorial:** Debe establecer las características organolépticas de la leche, las cuales son percibidas por los sentidos.
- **Color:** El color característico de la leche es un blanco opalescente, llegando a una coloración cremosa. (Velazquez, 2013)
- **Olor:** No debe presentar olores extraños como jabón, quemado, ensillado o estiércol. (Velazquez, 2013)
- **Sabor:** Tiene un sabor característico y no tener sabores como rancio, quemado, ensilado, detergente o excretas.

9. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

¿Existe el nexo calidad del agua- suelo- alimentación?

10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1 Área de Estudio

Este proyecto se encuentra ubicado en la Junta de Riego de Tiliche San Jose, en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, con limitaciones al Sur: limitado por Saquisilí, Tanicuchi, Norte: limitado por la parroquia Pastocalle y Chaupi. Cuenta con 38 comunidades compuesta por el 70% de población indígena y el 30% de población mestiza (TOACASO, 2020)

Figura 1 Ubicación del área de estudio

500000 600000 700000 800000 900000 1000000 1100000 1200000

amarillas, río blanco, está conformado por dos plantas de tratamiento para sedimentar, la función de las mismas es purificar y tratar el agua antes de su distribución.

Como principal desafío se evidencia la presencia de arsénico y sus graves implicaciones para la salud humana, la productividad agrícola como consecuencia se obtiene la reducción productiva de los cultivos, acumulación en los alimentos, como el maíz, la zanahoria, el cilantro y lo que representa un riesgo para los consumidores.

10.2.2 Mapa de recursos

En la elaboración del mapa se contó con ayuda de los usuarios de la junta, este mapa nos permite identificar la cantidad de pobladores y la utilización del espacio, a los usuarios de la junta se explica el método que se utilizó para hacer el mapa, con los usuarios se obtendrá mapas de los ramales y principales usos de la tierra.

Para realizarlo primero se identificó, el uso de cada material, herramientas y equipos necesarios, luego se procede a representar gráficamente estos recursos en un diagrama para el proyecto, lo cual facilitó la planificación y el seguimiento, en lo cual se detalló la presencia de 7 ramales: la longitud del ramal 0 es de 11400 m, el cual tiene una conexión directamente con la bocatoma, la longitud del ramal 1 1150 m, el cual consta con cultivos como, el maíz, chocho y alfalfa, la longitud del ramal 2 es de 12100 m, y consta con cultivos como chocho y maíz, la longitud del ramal 3 es de 12250 m, y como cultivos representativos tiene el cilantro, maíz y alfalfa, el ramal 4, 5 y 6 tienen una conexión directa con el reservorio consta con cultivos como maíz, zanahoria, cebolla, alfalfa y habas, el ramal 7, consta de una única conexión en el terreno del Señor Ramón, y como cultivos se encuentra el maíz y la alfalfa. La siembra se lleva a cabo durante las épocas de lluvia que abarca de diciembre a mayo.

Figura 2 Mapa de Recursos



10.2.3 Calendario estacional del cultivo

El uso de este calendario es para detallar las ilustraciones relacionadas entre diferentes actividades y cambios estacionales que ocurren en la junta; teniendo así una planificación adecuada ante cualquier inconveniente, por ejemplo: Lluvias, disponibilidad, calendario de cultivos, incidencia de plagas. Para ello los usuarios realizaron un calendario por ramal de riego. Considerando las necesidades de cada cultivo se realizó el calendario detallando que los cultivos con mayor presencia en la zona son: maíz, alfalfa, zanahoria, cebolla:

La alfalfa (*Medicago sativa*) es un cultivo forrajero de gran importancia debido a su alta demanda de nutrientes durante todo su ciclo de producción. Este cultivo requiere un suministro continuo de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como de micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). La intensidad de esta demanda varía según las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la radiación solar, que influyen en su crecimiento y desarrollo (Ramos, 2021).

La alfalfa se utiliza principalmente para el consumo animal, ya sea como forraje fresco, henificado o ensilado, debido a su alto contenido proteico y su capacidad para mejorar la digestibilidad de la dieta en rumiantes. Sin embargo, para mantener una producción óptima, es esencial realizar un manejo adecuado de la fertilización, asegurando un equilibrio nutricional que permita maximizar el rendimiento y la calidad del forraje (Contreras, 2019).

La zanahoria al igual que muchas otras hortalizas que tienen raíces comestibles, pertenece a la familia Apiaceae, la zanahoria tiene una cantidad apreciable de hidratos de carbono, el aspecto más destacable de este alimento es su contenido de vitamina A (Moreira, 2013). Debido a la presencia de arsénico en el agua y sus efectos perjudiciales sobre las plantas, los agricultores decidieron evitar el riego en el cultivo de zanahoria durante los primeros dos meses después de

la siembra, esta medida se tomó tras experiencias previas en las que el arsénico provocó daños, severos como la quema del cultivo.

10.3 Determinación de la concentración de arsénico en la producción agropecuaria

10.3.1 Muestreo de suelo

El muestreo que se realizó en la Junta de Riego de Tiliche San José, fue el método del zig zag dice que para una correcta toma de muestras se debe realizar de forma aleatoria en el terreno tratando de cubrir la mayor cantidad posible del terreno, se dividió el terreno en cuatro cuadrantes y se tomó 3 muestras de cada cuadrante y se homogeneizó donde (Gomez, 2022)

Un suelo donde su actividad primaria es la producción de alimentos, para crecimiento de cultivo, se mantiene en un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de su flora nativa.

Para la recolección de las muestras se utilizó un barreno el cual su función es obtener una muestra de suelo en el horizonte A, donde se encuentran las principales raíces, el terreno se divide en cuatro cuadrantes, se recolecta una muestra de cada cuadrante, se colocó las muestras en una lona para posteriormente con el uso de los guantes para evitar cualquier contaminación se homogeneiza la muestra y se procede a retirar cualquier exceso de materia presente en el suelo, en las fundas herméticas reposa la muestra, para etiquetarla con los datos de la zona, coordenadas, cultivo representativo de la muestra, fecha y hora de la recolección y a continuación se envía al laboratorio.

Figura 3 Toma de Muestras



10.3.2 Muestreo de maíz

Con la metodología propuesta por (AGROCALIDAD, 2018), con las muestras obtenidas tendremos el nivel de arsénico que se concentra en los cultivos como el maíz, para el muestreo en el maíz se utilizó las hojas, tallos, raíces, choclo; en cantidades se recomienda que se debe utilizar como mínimo 5 hojas, 1 tallo y 200 g de raíces, las raíces deben ser obtenidas con pan de tierra.

En la recolección se utilizó guantes para el manejo del cultivo se realizó un monitoreo de las plantas para seleccionar cual será la muestra por recolectar, una vez seleccionada la planta, se separa las hojas, el maíz se ubican en fundas herméticas, para la recolección del tallo con ayuda de una tijera de podar se procede a realizar tres cortes en el vástago, entrenudos y tallo secundario colocando los tres cortes en una misma funda, y en la recolección de la raíz, con una pala alrededor de la planta se selecciona un extremo en el cual con presión se inserta la pala tratando de llegar a las raíces primarias, de esta manera se suelta la tierra y extrayendo así la planta con la raíz, con la tijera de podar se realiza un corte por debajo del tallo donde solo nos quede la parte de la raíz.

Figura 4 *Muestreo de Maiz*



10.3.3 Muestreo de Zanahoria

Las muestras deben colectarse en varias plantas ubicadas en todo el terreno, donde se recolectará, hojas, y la zanahoria con raíz, para la recolección de las muestras se recomienda hacerlo por la mañana para hacer el envío al laboratorio.

Para la recolección de la zanahoria, se ubica la planta con mayor vigorosidad, también se busca una planta con un peciolo y tallo llamativo, por su color y firmeza, una vez hallada la planta con el uso de los guantes y la ayuda de una pala se realiza una inserción al costado de la planta y con pan de tierra se retira la planta, para a continuación retirar el excedente de tierra y separar

el bulbo del tallo, con la tijera se realiza un corte en la parte inferior del tallo, en fundas herméticas por separado se coloca el bulbo, y el tallo en otro apartado.

10.3.4 Muestreo de leche

La leche, como producto de la secreción normal de las glándulas mamarias, requiere un protocolo estandarizado para la toma de muestras que garantice la representatividad y precisión de los análisis. Para ello, se utilizó una regla adaptable y calibrable según el volumen y tipo de recipiente, permitiendo medir entre el 10 % y el 100 % del contenido. El muestreo se realizó bajo la metodología de muestreo simple, que consiste en la recolección de muestras en puntos específicos para su posterior análisis. Estas muestras fueron procesadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, siguiendo las indicaciones del laboratorio AqLab.

En los ramales 3, 4 y 7, se recolectaron tres muestras por ramal, obteniendo un total de un litro de leche por cada uno. Las muestras se homogeneizaron en botellas mediante agitación manual durante un minuto para asegurar una distribución uniforme de los componentes. Posteriormente, se distribuyeron en envases de 250 ml, tal como lo recomendó el laboratorio para facilitar el análisis. Este proceso se llevó a cabo en coordinación con (RIAGROP, 2021) asegurando el cumplimiento de los protocolos técnicos y la trazabilidad de las muestras. La aplicación de este método permitió obtener resultados confiables y representativos de la concentración de arsénico en la leche, contribuyendo a la evaluación de la seguridad alimentaria en la zona de estudio.

Figura 5 *Maquina de Laboratorio*

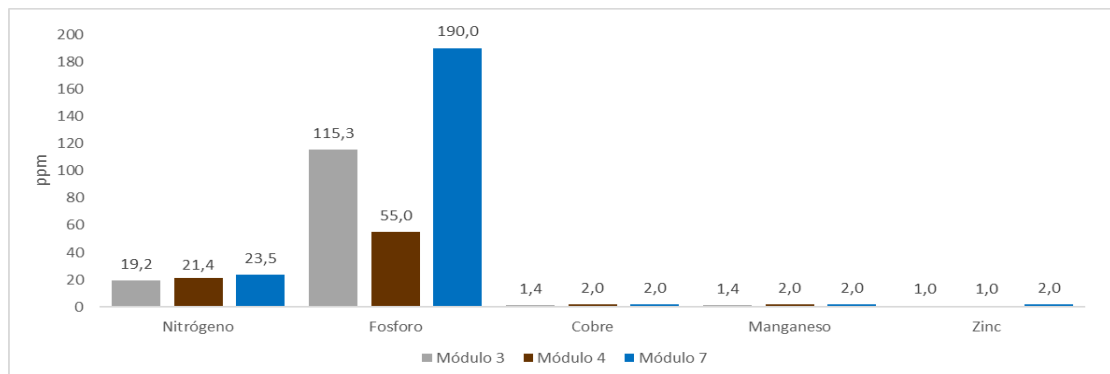


11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1 Fertilidad del suelo

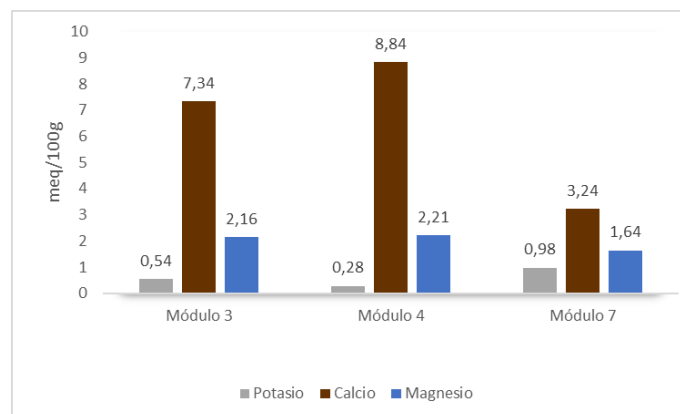
Los suelos de los Ramales 3, 4 y 7, presenta una textura franco arenosa, suelo considerado favorable para la agricultura al tener un equilibrio entre partículas de arena, limo y arcilla, pero con una predominancia de arena. En cuanto a macronutrientes se observaron contenidos altos de fósforo (190,1 ppm), lo que indica una disponibilidad elevada de este nutriente esencial para el desarrollo radicular y la floración. Además, se registran niveles medios de potasio (3,34 ppm), calcio (3,77 ppm) y magnesio (1,95 ppm), elementos cruciales para la estructura celular, la regulación osmótica y la síntesis de clorofila, respectivamente. Por otro lado, el suelo presenta un contenido medio de cobre (1,8 ppm), lo que sugiere una disponibilidad moderada de este micronutriente importante para procesos enzimáticos y metabólicos. Sin embargo, se detectan contenidos bajos de nitrógeno (21,35 ppm), y de manganeso (1,66 ppm), lo que podría limitar el crecimiento vegetativo y la eficiencia fotosintética de los cultivos.

Figura 6 Resultado de la evaluación de fertilización de suelo



Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 7 Análisis de fertilización



Elaborado por: (Camacho, 2025)

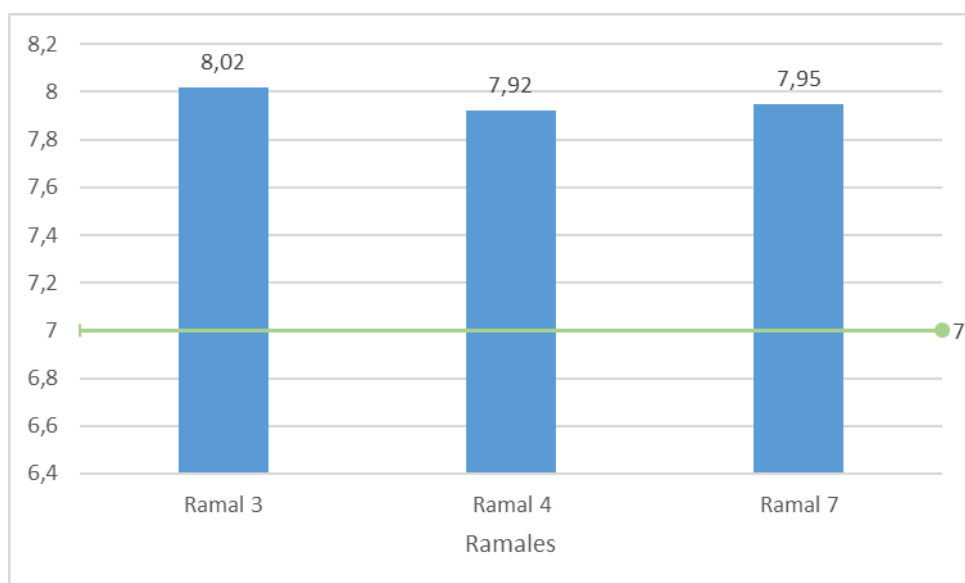
11.1.1 Relación Mg/K

La relación magnesio-potasio (Mg/K) en un suelo es un indicador clave del equilibrio nutricional y de la disponibilidad de estos cationes para las plantas. En un estudio de suelo, como en el caso del Módulo 4, la presencia de una relación Mg/K baja, puede atribuirse a diversos factores asociados a las propiedades edáficas y al manejo agronómico. Entre las causas más comunes se encuentra el bajo contenido de magnesio (Mg) o el alto contenido de potasio (K). Sin embargo, en este caso, a pesar de que ambos nutrientes presentan concentraciones elevadas, el potasio puede encontrarse en una proporción significativamente mayor en comparación con el magnesio. Este desbalance provoca que la relación Mg/K sea baja, ya que el potasio domina el equilibrio iónico en el complejo de intercambio catiónico del suelo, afectando la disponibilidad relativa de estos nutrientes para la absorción radicular.

11.1.2 Resultados del contenido de pH en el suelo

En los resultados se evidencian que en los módulos 3, 4 y 7 presentan un pH entre ligeramente y medianamente alcalinos, lo cual identifica que la formación es de los volcanes Ilinizas, las condiciones alcalinas provocan retención de nutrientes como el fósforo, y el hierro debido al exceso de calcio, teniendo una mayor dificultad para la absorción por la planta (Cerisola, 2015), en el módulo tres se tiene un suelo medianamente alcalino, en los módulos 4 y 7 tiene un suelo ligeramente alcalino.

Figura 8 *Contenido de pH*



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.3 Resultado del contenido de Nitrógeno en el suelo

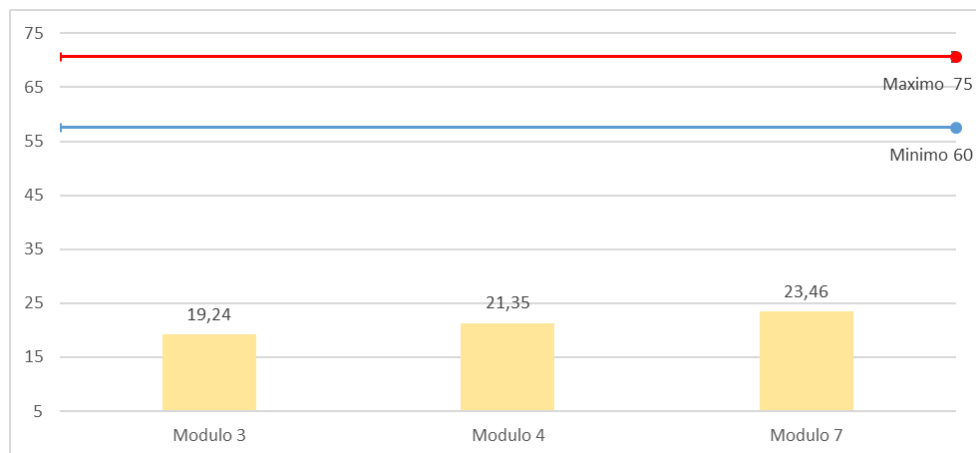
En el análisis realizado se demuestra que en los módulos 3, 4 y 7 existe niveles bajos de nitrógeno, los niveles mínimos de nitrógeno son de < 75 ppm, y niveles máximos de > 60 ppm, en el módulo tres tiene un total de 19,24 ppm, en el módulo cuatro tiene un total de 21,35 ppm y en el módulo siete con un total de 23,46 ppm. Provocando que las plantas sean más pequeñas de lo normal, y sus tallos se lignificaran, es decir se secan y tornan leñosas (Acosta, 2024).

Tabla 3 Interpretación del resultado de nitrógeno

Lugar	Nitrógeno	Min/Max	Interpretación
Módulo 3	19,24 ppm	< 75 ppm > 60 ppm	BAJO
Módulo 4	21,35 ppm	< 75 ppm > 60 ppm	BAJO
Módulo 7	23,46 ppm	< 75 ppm > 60 ppm	BAJO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 9 Contenido de nitrógeno



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.4 Resultados del contenido de Fosforo en el suelo

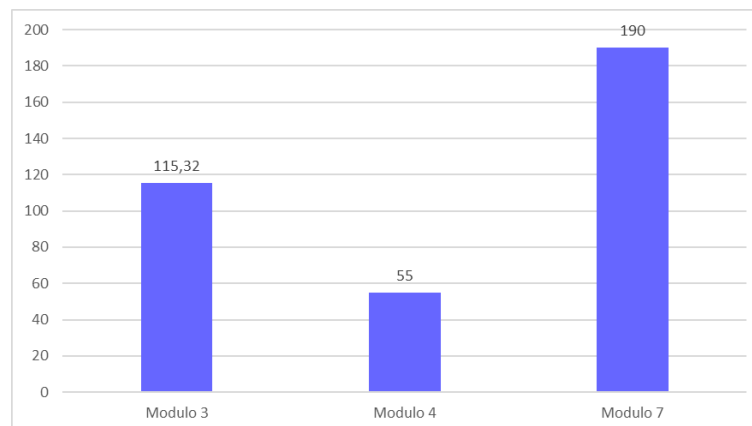
En los resultados obtenidos se puede observar que en los módulos 3, 4 y 7 los niveles de fosforo son excesivos, (Durón C, 2022) menciona que el uso excesivo de fertilizantes con fosforo es común, sin embargo, la antropogénica el uso de altas cantidades innecesarias de fertilizantes, además los agricultores de la junta usan el 15-15-15 y el estiércol de bovino el que contiene altas cantidades de fosforo.

Tabla 4 Interpretación del contenido de Fosforo

Lugar	Fosforo	Interpretación
Módulo 3	115,32	ALTO
Módulo 4	55	ALTO
Módulo 7	190	ALTO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 10 Contenido de fosforo en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.5 Resultados del contenido de Potasio en el suelo

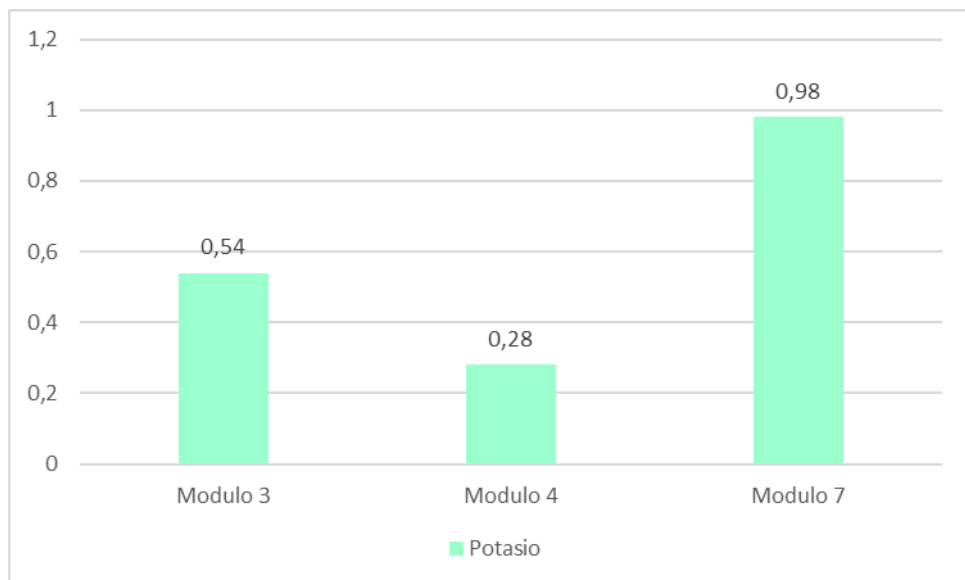
En el módulo 3 y 4, tiene un nivel alto de cantidad de potasio, y en el módulo 7 tiene un nivel medio, es el nutriente que presenta menos problemas de disponibilidad, este elemento es altamente aceptable, influye en la tolerancia al frío (León, 2018).

Tabla 5 Interpretación del contenido de potasio

Lugar	Potasio	Interpretación
Módulo 3	0,54 meq/100g	ALTO
Módulo 4	0,28 meq/100g	ALTO
Módulo 7	0,98 meq/100g	MEDIO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 11 Niveles de potasio en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.6 Resultado del contenido de Calcio en el suelo

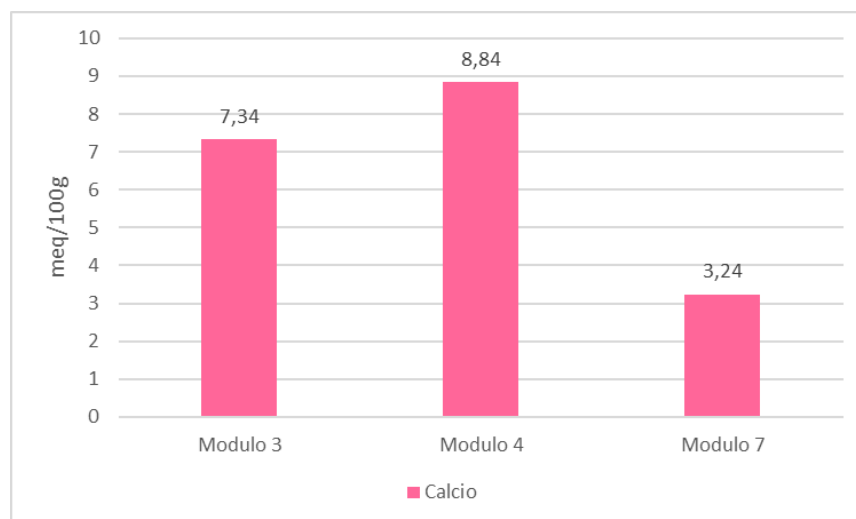
En los tres módulos analizados el nivel de cantidad de calcio es alto, este dato es evaluado en miliequivalentes por cada 100 grs de suelo seco, en el módulo tres el resultado obtenido es de 7,34 meq/100g, en el módulo cuatro el resultado es de 8,84 meq/100g y en el módulo siete es de 3,24 meq/100g.

Tabla 6 Interpretación de los niveles de calcio

Lugar	Calcio	Interpretación
Módulo 3	7,34 meq/100g	ALTO
Módulo 4	8,84 meq/100g	ALTO
Módulo 7	3,24 meq/100g	ALTO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 12 Niveles de calcio en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.7 Resultado de contenido de Magnesio en el suelo

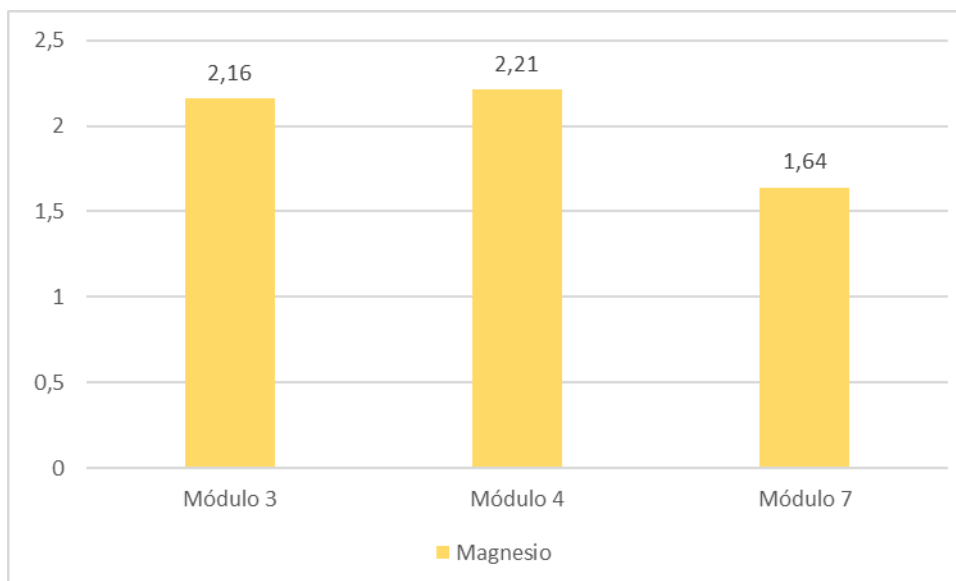
El suministro de magnesio en los suelos se encuentra disponible en niveles altos, la fertilización magnésica es una práctica necesaria cuando se realiza análisis y determinan que la concentración en el suelo es baja, para las plantas el Mg es un macronutriente que frecuentemente no es considerado en el plan de fertilización y que puede limitar el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Vistoso, 2020).

Tabla 7 Interpretación de contenido de magnesio

Lugar	Magnesio	Interpretación
Módulo 3	2,16 meq/100g	ALTO
Módulo 4	2,21 meq/100g	ALTO
Módulo 7	1,64 meq/100g	ALTO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 13 Niveles de magnesio en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.8 Resultado de contenido de Cobre en suelo

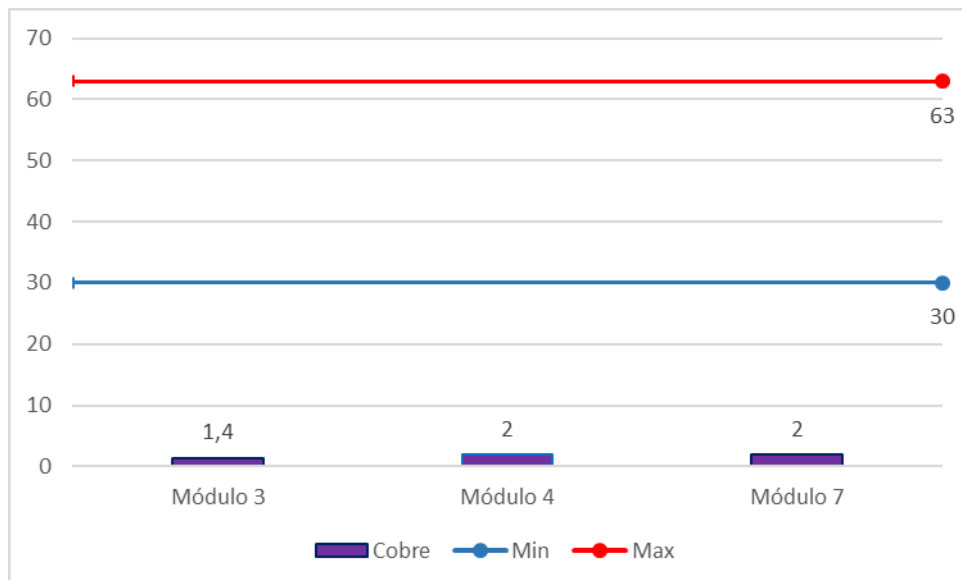
El cobre es un metal pesado, en suelos se llega a acumular en exceso, influyendo negativamente en la fertilidad del mismo, por otro lado, con contenidos bajos de cobre su insuficiencia ocasiona problemas en la nutrición, el cobre esta principalmente implicado en el proceso de fotosíntesis a nivel de cloroplastos, la deficiencia de cobre como resultado es falta de rigidez en la planta, los rangos óptimos en ppm son 30-63 ppm. (INTAGRI, s.f.)

Tabla 8 Interpretación del contenido de cobre

Lugar	Cobre	Min/Max	Interpretación
Módulo 3	1,4 ppm	30-63	MEDIO
Módulo 4	2,0 ppm	30-63	MEDIO
Módulo 7	2,0 ppm	30-63	MEDIO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 14 Niveles de contenido de cobre



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.9 Resultado de contenido de Manganeso en el suelo

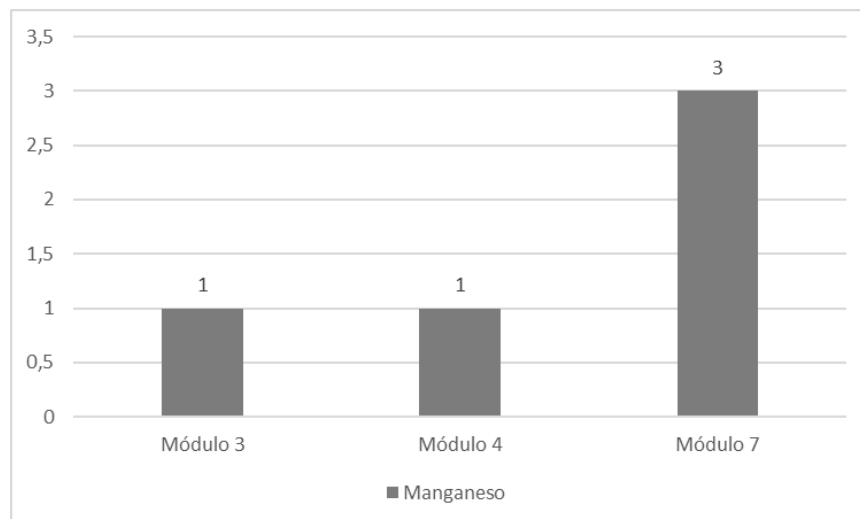
El manganeso que se puede encontrar en el suelo es originado por la descomposición de rocas, generalmente el manganeso en el suelo se encuentra bajo formas insolubles, la deficiencia suele manifestarse inicialmente en las hojas jóvenes en forma de clorosis entre las nerviaciones. En el suelo el manganeso se clasifica en dos formas manganeso soluble y manganeso insoluble. (JISA, s.f.)

Tabla 9 Interpretación del contenido de manganeso

Lugar	Manganeso	Interpretación
Módulo 3	1,4 ppm	BAJO
Módulo 4	2,0 ppm	BAJO
Módulo 7	2,0 ppm	BAJO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 15 Niveles de manganeso en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.10 Relación del contenido de Zinc con el suelo

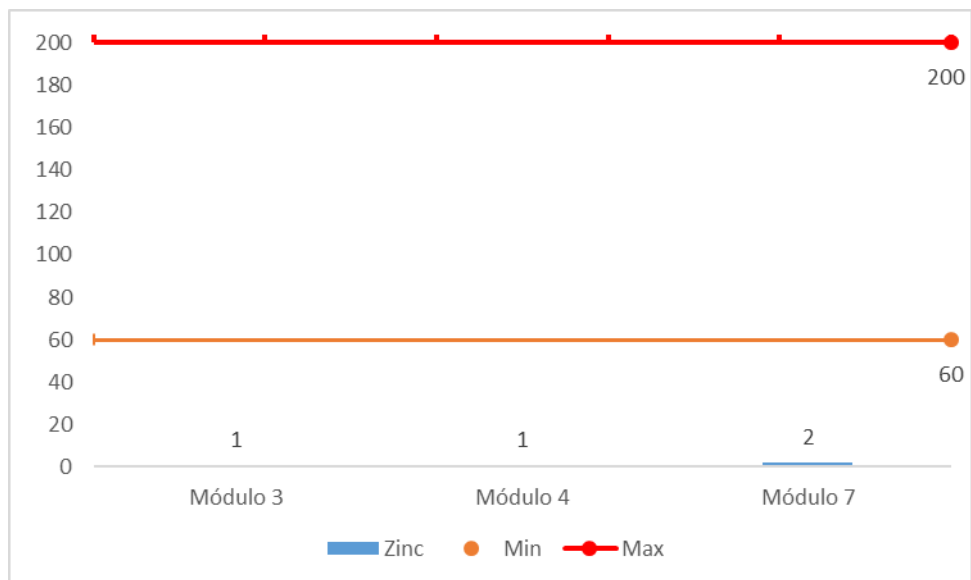
La disponibilidad del zinc en los suelos depende de un gran número de factores, los cuales controlan la calidad en la solución del suelo y su adsorción, los factores dependen de los efectos del pH, materia orgánica, contenido de arcilla, algunos factores pueden ser la textura de suelos arenosa, ácidos esto puede desarrollar deficiencia de zinc, aumentando la probabilidad cuando en estos suelos niveles están por debajo del límite causa insuficiencia para el cultivo (FertiLab, s.f.), según (TULSMA, 2012) los rangos máximos permisibles en suelo para el contenido de zinc es de 60-200 ppm.

Tabla 10 Interpretación del contenido de zinc

Lugar	Zinc	Min/Max	Interpretación
Módulo 3	1 ppm	60-200	MEDIO
Módulo 4	1 ppm	60-200	MEDIO
Módulo 7	2 ppm	60-200	MEDIO

Elaborado por: (Camacho, 2025)

Figura 16 Niveles de zinc en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.1.11 Calidad de suelo de la Junta

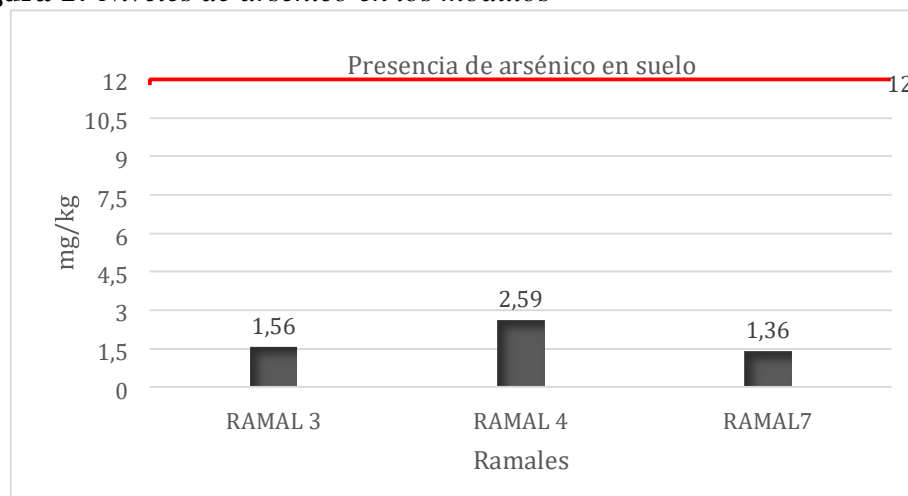
Las muestras de suelo obtenidas en los ramales de la Junta de Riego de Tiliche San José, para determinar la presencia de arsénico, los criterios establecidos por la normativa (TULSMA,

2012), para el uso de suelo se establece niveles máximos de concentración de contaminantes como límite permisible es de 12 mg/kg.

Los resultados obtenidos en los análisis de suelo muestran la presencia de arsénico (As) en concentraciones de 1,56 mg/kg en el Ramal tres, 2,59 mg/kg en el Ramal cuatro y 1,36 mg/kg en el Ramal siete. Estos valores se encuentran por debajo del límite permisible establecido por el Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (TULSMA, 2012), que es de 12 mg/kg, lo que indica que, en términos normativos, los niveles de arsénico en el suelo no representan un incumplimiento de los estándares ambientales vigentes.

Sin embargo, aunque las concentraciones detectadas estén dentro de los límites permisibles, la presencia de arsénico en el suelo es un tema de preocupación debido a su potencial de bioacumulación y toxicidad crónica. El arsénico puede transferirse a los cultivos y, posteriormente, ingresar a la cadena alimentaria, lo que representa un riesgo para la salud humana y animal a largo plazo.

Figura 17 Niveles de arsénico en los módulos



Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.2 Caracterizar los sistemas de producción agropecuaria en la junta

11.2.1 Organización de la Junta de Riego

La bocatoma es el punto de captación del agua, generalmente construido en un río o fuente natural, como en este caso en la Reserva Ecológica de los Illinizas, la bocatoma se encuentra

ubicada a 3550 msnm, en el sector aguas amarillas, está conformada por dos plantas de tratamientos para la sedimentación, y la estructura de las tuberías se conecta directamente con los ramales 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 sin embargo el sedimento del arsénico pasa directamente a los ramales mencionados.

La limpieza en los caudales y el reservorio, para tener una mayor eficacia en el flujo, se realiza una limpieza cada 3 meses, esto también varía por la cantidad de sedimentos y vegetación presentes en la zona, en el caudal de la Junta de Riego de Tiliche San José se implementó unas mallas realizadas con lonas por la directiva de la Junta, para disminuir la cantidad de sedimentos, sin embargo, es defectuoso ya que los sedimentos pasan con facilidad y su mantenimiento debe ser más seguido.

La Junta de Riego de Tiliche San José, está compuesta por 56 usuarios, quienes gracias a asambleas se designan tareas para el bien de la junta, dando un uso eficiente y equitativo del agua en sus actividades agrícolas. Cada usuario tiene turnos asignados específicos para el riego, respetando un cronograma establecido por el señor Presidente en las reuniones comunitarias, los 56 miembros participan activamente en las mingas para la limpieza y el mantenimiento de los canales, la bocatoma y el reservorio, asegurando así la sostenibilidad del sistema de riego.

11.2.2 Sistemas de producción agrícola

Los sistemas de producción agrícola implementados en la Junta de Riego de Tiliche San José se fundamentan en un modelo de triple propósito: comercialización, autoconsumo y utilización del forraje para la alimentación animal. Entre los cultivos de mayor relevancia y representatividad en la zona destacan el maíz (*Zea mays*), la zanahoria (*daucus carota*), la alfalfa (*Medicago sativa*), y la cebolla (*Allium cepa*), los cuales constituyen la base de la actividad agropecuaria local.

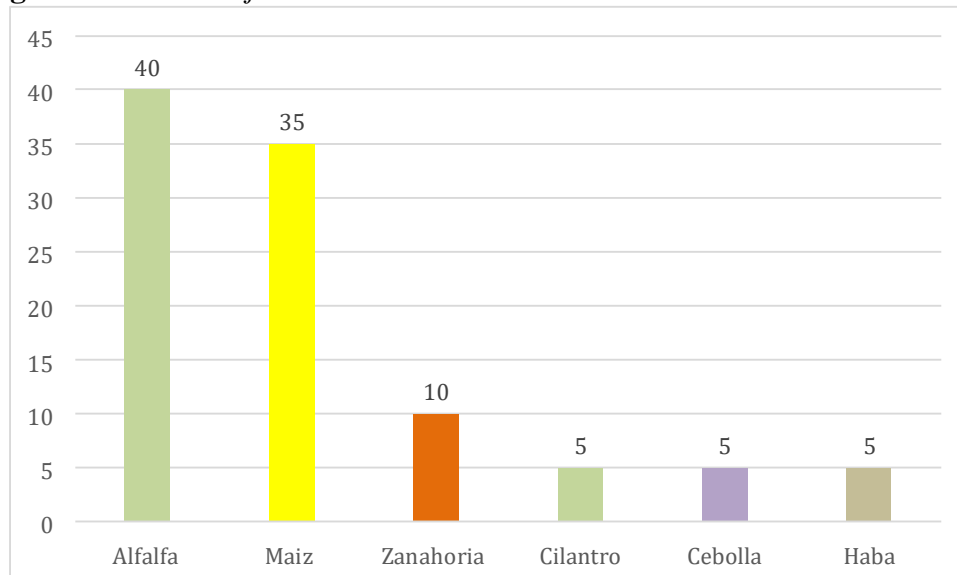
Alfalfa (*Medicago Sativa*): Se sembró semilla de la variedad de alfalfa morada, tiene una fácil adaptabilidad sus necesidades son, un riego adecuado, suelos bien drenados, fertilización con abonos, una distancia de siembra de 25 a 30 cm. Esta lista para cosechar entre los 60 y 65 días después de la siembra, el primer corte se realiza en la etapa de brote tardío o a principios de floración, el cultivo es utilizado para los animales de los productores.

Maíz (*Zea mays*): Implementan un sistema productivo, como especie de importancia agrícola de la zona, con un conjunto de mecanismos integrados principalmente con una fertilización adecuada, basada en los análisis realizados, detallando las necesidades de los cultivos,

realizando controles de monitoreo, con un manejo de plagas y enfermedades, con un manejo adecuado de malezas las cuales en la zona son muy agresivas.

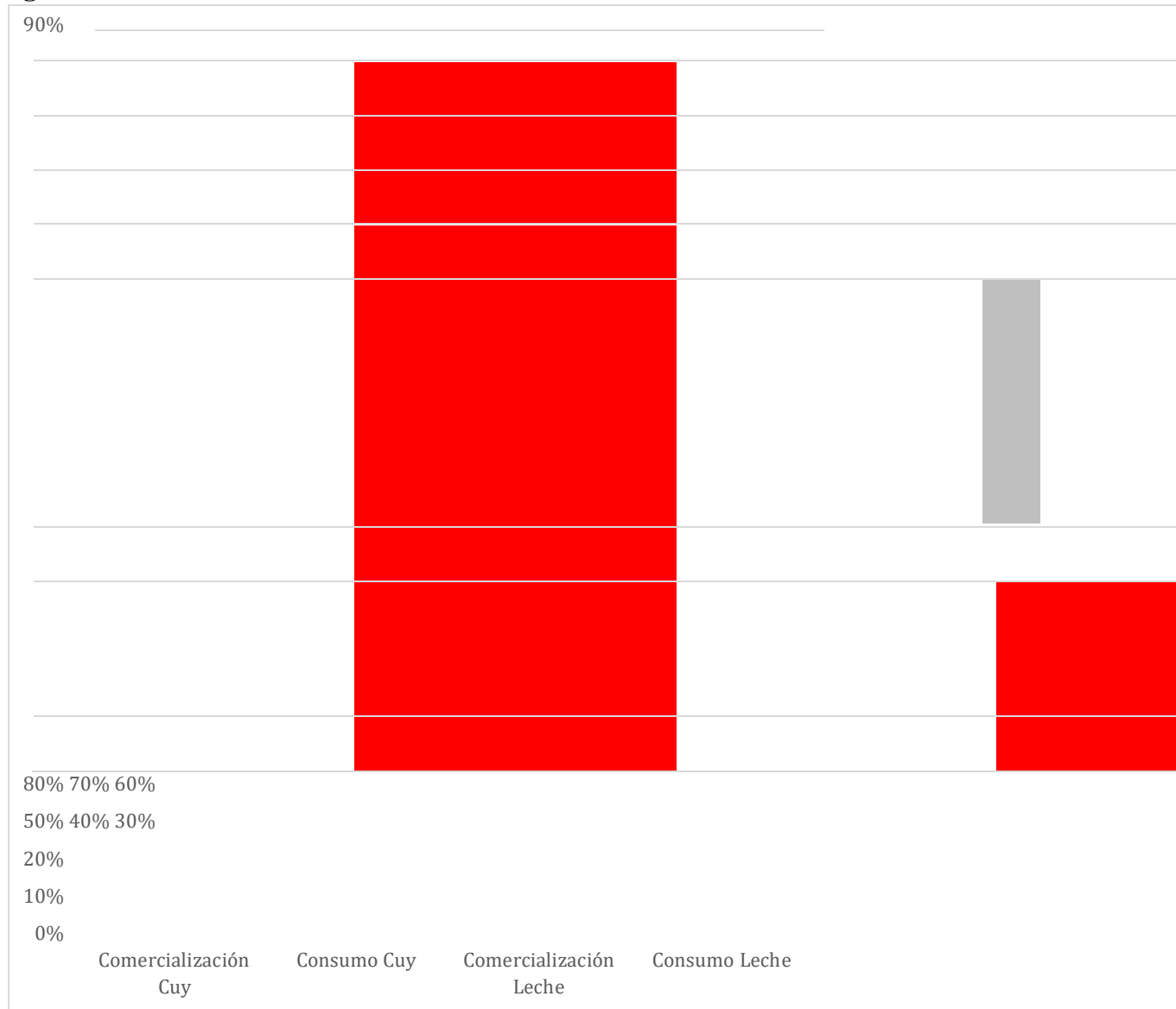
Zanahoria (*Daucus Carota*): La zanahoria al igual que otras hortalizas, perteneciente a la familia Apiaceae, en la junta para la producción de zanahoria se organiza en la preparación del suelo, como labranzas con arado, siembras con semillas, con una profundidad de 1 a 2 cm, utilizan un sistema de riego por aspersión, se empieza a utilizar el riego después de dos meses de siembra, porque en ocasiones anteriores se produjo una quema del cultivo por la utilización del agua con arsénico, se comercializa en el mercado de saquisili teniendo un costo del saquillo de 8 dólares.

Figura 18 *Porcentajes de siembras de cultivos*



11.2.3 Sistemas de producción pecuaria

Los sistemas de producción agropecuaria se sustentan en la venta de leche, la cría de ganado para su comercialización y el consumo interno de los productos derivados. Esta actividad incluye tanto la producción láctea como la venta de ejemplares, conformando un proceso integral que abarca diversas etapas, desde los productores primarios hasta los consumidores finales. Según los datos, el 65% de la leche producida se destina al mercado, lo que refleja una proporción significativa de la producción orientada a la comercialización externa. Por otro lado, el 35% restante se asigna al consumo local, autoconsumo o procesamiento interno, evidenciando una diversificación en el uso de los recursos generados, este modelo combina la rentabilidad económica con la sostenibilidad alimentaria.

Figura 19 *Producción de leche*

Elaborado por: (Camacho, 2025)

El proceso de comercialización de leche en la Junta de Riego de Tiliche San José inicia con el ordeño realizado por los mismos productores, utilizando técnicas de higiene con la limpieza de ubres con agua, posteriormente la leche es transportada en recipientes a la planta de procesamiento, donde es sometida a controles de calidad.

11.3 Arsénico en la producción agropecuaria

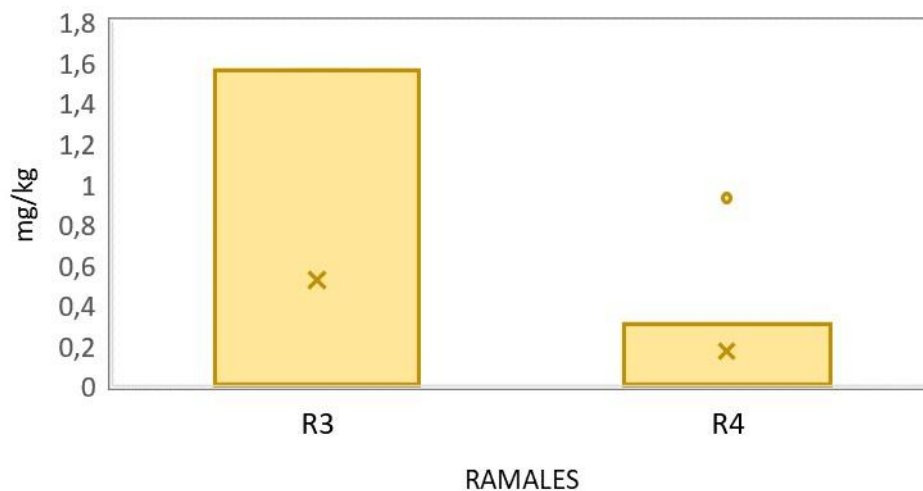
11.3.1 Arsénico en el maíz (*Zea mays*)

Entre las principales fuentes que contribuyen a la contaminación del suelo-planta, por As se encuentra por condiciones de origen geológico, minería, agricultura y quema de carbón,

(Shortle, 2014) las plantas afrontan efectos fitotóxicos, los cuales se presentan en la inhibición del crecimiento, degradación de la clorofila, agotamiento de nutrientes y estrés oxidativo (Moreno, 2012). Las plantas varían su capacidad de acumulación y toleración de As, desde hiperacumuladores tolerantes hasta excluidores sensibles, algunas de estas plantas son útiles para la recuperación de suelos (Moreno, 2012)

Los resultados obtenidos en los análisis de presencia de arsénico en el cultivo de maíz muestran variaciones significativas entre los diferentes ramales. En el Ramal tres, las concentraciones de arsénico fueron de 1,56 mg/kg, 0,01 mg/kg y 0 mg/kg en las muestras analizadas. En el Ramal cuatro, se registraron valores de 0,01 mg/kg, 0,1 mg/kg y 0,93 mg/kg. Por último, en el Ramal siete, las concentraciones detectadas fueron de 0,29 mg/kg, 0,20 mg/kg y 0,01 mg/kg. Estos datos reflejan una distribución heterogénea de arsénico en los cultivos de maíz, lo que sugiere la influencia de factores locales, como las características del suelo, las prácticas agrícolas o fuentes de contaminación específicas.

Figura 20 Resultados del cultivo de maíz



Elaborado por: (Camacho, 2025)

Según (Zambrano, 2021), el consumo per cápita de maíz en Ecuador se estima en 14,5 kg anuales, en el análisis realizado en la Junta de Riego de Tiliche San José se obtiene una media de 0.29 mg/kg de arsénico, un individuo consumiría por año 4,2 mg As/año, y considerando que la esperanza de vida de una persona es de 65 años, el individuo consumiría 273,3 mg As/ 65 años.

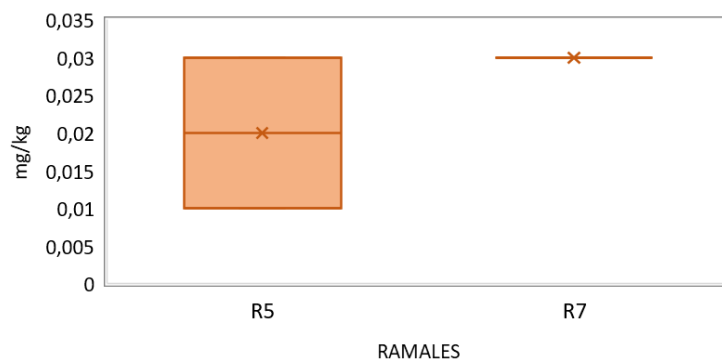
Estos resultados resaltan la necesidad de implementar medidas de control y monitoreo para mitigar la exposición a este contaminante y garantizar la seguridad alimentaria de la población.

El arsénico es un elemento altamente tóxico, especialmente en su forma inorgánica el cual puede acumularse en el cuerpo humano, y llega a causar graves problemas a la salud.

11.3.2 Arsénico en la zanahoria (*Daucus carota*)

Los resultados obtenidos en los análisis de concentración de arsénico (As) en zanahoria muestran que, en el Ramal 5, se registraron valores de 0,01 mg/kg y 0,03 mg/kg, mientras que en el Ramal 7, se detectó una concentración de 0,03 mg/kg. El promedio de arsénico en las zanahorias analizadas fue de 0,02 mg/kg. Considerando un consumo anual de zanahorias de 1,64 kg/año, un individuo consumiría 0,0328 mg As/año y considerando que la esperanza de vida de una persona es de 65 años, el individuo consumiría 2,13 mg As/año.

Figura 21 Arsénico en la zanahoria

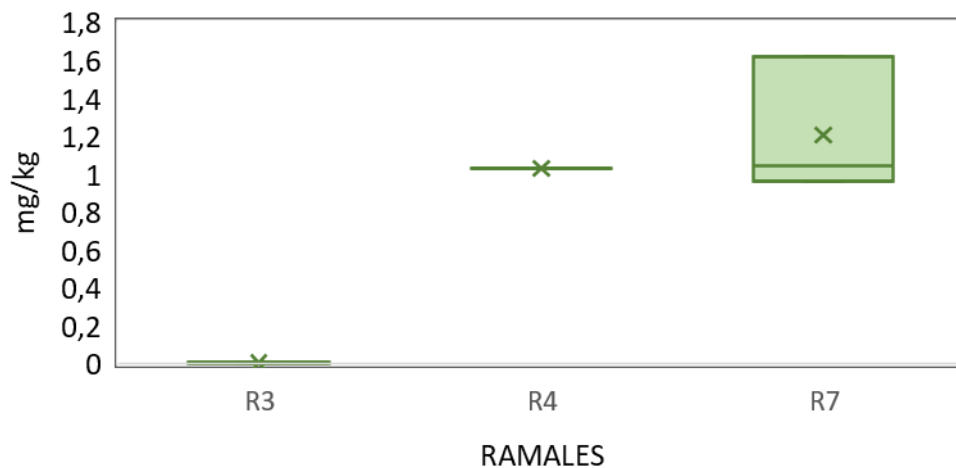


Elaborado por: (Camacho, 2025)

11.3.3 Arsénico en alfalfa

La presencia de arsénico en alfalfa puede verse afectado en el crecimiento de la planta, reduciendo su productividad y causando estrés, sin embargo, la alfalfa es una especie que puede adaptarse a suelos contaminados con arsénico y acumularlo en su parte aérea.

En los análisis realizados en los módulos 3, 4 y 7, en el módulo tres los resultados son de 0 mg/kg y de 0,01 mg/kg, en el módulo cuatro 1,03 mg/kg y en el módulo siete 1,62 mg/kg y 0,96 mg/kg.

Figura 22 *Arsénico en alfalfa*

11.3.4 Arsénico en la leche

Los resultados de esta investigación encontró presencia de arsénico ($<0,01$ mg/L); sin embargo, es menor a los valores admisibles ($0,01$ mg/kg) (INEN, 2011). el consumo de leche es de dos veces por semana, con una porción de una taza ($236,5$ ml), se estima un consumo anual de 94 litros de leche. Considerando el valor promedio de arsénico detectado en la leche de $0,01$ mg/L, esto resultaría en una ingesta anual de $0,94$ mg de arsénico y, a lo largo de 65 años, un consumo total de aproximadamente $61,1$ mg de arsénico. Aunque esta cantidad no supera los límites máximos permitidos en el corto plazo, la acumulación progresiva de arsénico en el organismo podría representar un riesgo a largo plazo, especialmente si se combina con otras fuentes de exposición, como el consumo de agua o alimentos contaminados.

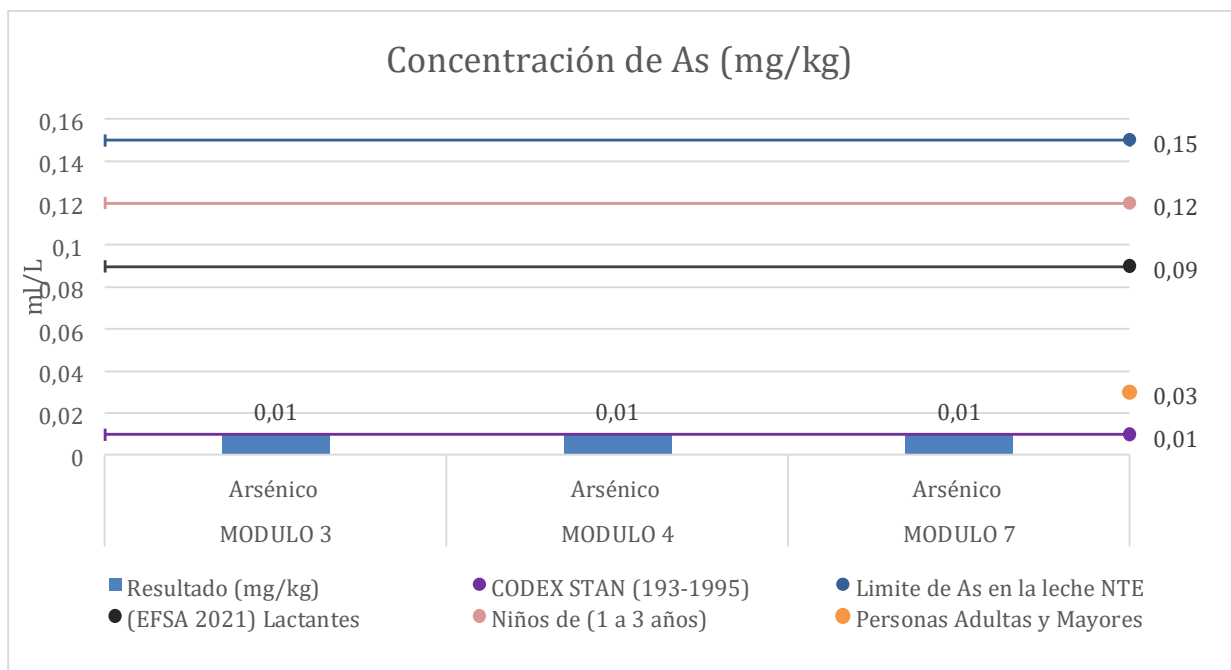
Este fenómeno se conoce como riesgo humano acumulativo, donde la exposición repetida a bajas dosis de un contaminante, como el arsénico, puede aumentar la probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas, incluyendo cáncer. Por lo tanto, aunque los niveles actuales de arsénico en la leche no representan una violación inmediata de las normativas, es fundamental implementar medidas de monitoreo continuo y reducción de la exposición para minimizar el riesgo a largo plazo y garantizar la seguridad alimentaria de la población.

A continuación, se detalla, los resultados obtenidos, los límites permisibles y las cantidades de ingestas estimadas de arsénico por edades, la presencia de arsénico en los alimentos, incluida la leche es un tema de gran relevancia debido a los riesgos que presenta este metaloide para la

salud humana. El As se encuentra en el agua, el suelo, por ende, en los cultivos y productos de origen animal. (Teschke, 2024)

En la Junta de Riego de Tiliche San José, se realizó un estudio para determinar los niveles de As en la leche producida en la zona, los resultados obtenidos fueron comparados con los límites establecidos por la Normativa Ecuatoriana INEN 9:2012, y el Codex Alimentarius, que regulan la calidad e inocuidad de la leche.

Figura 23 Resultados análisis de leche



Elaborado por: (Camacho, 2025)

Se evidencia que la concentración de arsénico (As) en la leche de ganado bovino analizada en los tres módulos de la Junta de Riego de Tiliche San José es inferior a 0,01 mg/L, un valor que se encuentra muy por debajo de los límites máximos permitidos establecidos por normativas locales e internacionales en el contexto de la seguridad alimentaria. En Ecuador, la normativa INEN 9:2012 establece un límite máximo de arsénico en leche de 0,15 mg/L, mientras que la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2015) ha definido límites más específicos según grupos poblacionales: 0,09 mg/L para lactantes, 0,12 mg/L para niños, y 0,03 mg/L para adultos y personas mayores. Los resultados obtenidos en Tiliche, con niveles de arsénico inferiores a 0,01 mg/L, cumplen ampliamente con estos estándares, lo que indica que la leche producida en la zona es segura para el consumo humano y no representa un riesgo para la salud pública.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación de la concentración de arsénico en la producción agropecuaria reveló niveles variables, en áreas que no superan los límites permisibles, lo que representa un riesgo potencial para la salud humana y la calidad de los productos agrícolas debido a su acumulación. Implementar un programa de monitoreo continuo de arsénico en suelos, aguas y cultivos, junto con prácticas de remediación como la fitoextracción o la estabilización con enmiendas, para reducir la disponibilidad de arsénico y garantizar la seguridad alimentaria.

La fertilidad del suelo en la Junta de Riego de Tiliche San José presenta variabilidad, con áreas que muestran deficiencias en nutrientes esenciales como nitrógeno, lo que limita la productividad agrícola. Aplicar enmiendas orgánicas y fertilizantes balanceados según los resultados del análisis de suelo, junto con prácticas de manejo sostenible como la rotación de cultivos y el uso de abonos verdes, para mejorar la fertilidad y la estructura del suelo, en cuanto a la calidad del suelo se puede concluir que, debido a su origen volcánico, el su uso excesivo de fertilizantes, abonos orgánicos, su pH ligeramente alcalino (7,96) su textura franco arenoso y su contenido en minerales como el fosforo (190 ppm), arsénico

Los sistemas de producción agropecuaria en la zona se basan principalmente en cultivos como maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*) y zanahoria (*Daucus carota*), con un enfoque tradicional y limitada adopción de tecnologías modernas, lo que afecta la eficiencia y sostenibilidad. Promover la capacitación de los agricultores en técnicas agrícolas modernas y sostenibles, la agricultura de precisión y la integración de sistemas agropecuarios diversificados, para aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental.

Se identificaron niveles significativos de arsénico en algunos cultivos, especialmente en raíces y hortalizas, lo que podría representar un riesgo para la salud de los consumidores y la comercialización de los productos. Establecer protocolos de manejo postcosecha, como el lavado, pelado de cultivos, y fomentar el cultivo de especies menos susceptibles a la acumulación de arsénico. Además, realizar campañas de sensibilización para informar a los agricultores y consumidores sobre los riesgos y medidas de prevención.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, G. (2019). *ELSEVIER*. Obtenido de Efecto de la salinidad sobre los atributos fisiológicos, bioquímicos y fotoestabilizadores de dos genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expuestos a estrés por arsénico:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319311455?via%3Dihub>
- Acosta, B. (2024). *Ecología verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/autor/mbelen-acosta-42.html>
- AGROCALIDAD. (31 de 01 de 2018). *Instructivo de toma de muestras*. Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/dxi3.pdf>
- Agrotey. (30 de Octubre de 2024). *Agrotey*. Obtenido de <https://www.agrotey.com.mx/importancia-de-los-micronutrientes-en-lasplantas/#:~:text=Los%20micronutrientes%20son%20sustancias%20qu%C3%ADmicas,espec%C3%ADficas%20en%20diferentes%20funciones%20fisiol%C3%B3gicas>.
- Agudelo, J. U. (2019). Obtenido de [https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3341#:~:text=Agudelo%2C%20J.%2C%20Urbina%2C%20N.%2C%20%26%20Armenteras%2C%20D.%20\(2019\).%20Critical%20shifts%20on%20spatial%20traits%20and%20the%20risk%20of%20extinction%20of%20Andean%20a](https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3341#:~:text=Agudelo%2C%20J.%2C%20Urbina%2C%20N.%2C%20%26%20Armenteras%2C%20D.%20(2019).%20Critical%20shifts%20on%20spatial%20traits%20and%20the%20risk%20of%20extinction%20of%20Andean%20a)
- Alvaro. (2019). *Fertilab*. Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/182-ElArsenico-en-las-Aguasde-Riego.pdf>
- AMJ . (2022). *AMJ AGRO*. Obtenido de <https://amjagro.pl/es/zredukowana-uprawa-abiologiczne-wlasciwoscigleby/#:~:text=Las%20propiedades%20biol%C3%B3gicas%20del%20suelo%20depe>
 nden%20de%20su%20composici%C3%B3n%20contenido,f%C3%ADsicas%20y%20qu%C3%ADmicas%20del%20suelo.

- ATSDR . (2005). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html
- Calidad y Evaluación, s. f. -b. (2025). *FAO*. Obtenido de <https://www.fao.org/dairy-productionproducts/products/quality-andtesting/es#:~:text=La%20leche%20cruda%20de%20buena,una%20composici%C3%B3n%20y%20acidez%20normales>.
- Camacho. (2025).
- Campos. (2007). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200103#B14
- Carlos Sierra, C. R. (2018). *Biblioteca Digital INIA*. Obtenido de <https://geniabienergy.com/principales-beneficios-de-la-materia-organica/>
- Carvajal, R. R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas* . Obtenido de <https://plataformaestphuando.com/wp-content/uploads/2023/03/Propiedades-delSuelo-fisicas-quimicas-biologicas.pdf>
- Cerisola. (2015). *Fertilidad química* . Obtenido de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod_resource/content/1/UD8.1%20Fertilidad%20Qu%C3%ADmica%20.pdf
- Chacha, L. (2021). Obtenido de <http://localhost/handle/27000/11041>
- Chavez. (2016). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=1475890&pid=S17264634201800010001500008&lng=es
- Cherlinka, V. (05 de Julio de 2024). *EOS DATA ANALYTICS*. Obtenido de <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/https://eos.com/es/blog/fertilidad-delsuelo/>
- Codex Alimentarius . (2001). *FAO*. Obtenido de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf
- Dillon, L. B. (10 de Octubre de 2024). *Mapas Participativos Comunitarios*. Obtenido de <https://sswm.info/es/taxonomy/term/2646/localitymapping#:~:text=Resumen%20ejecutivo,y%20saneamiento%20en%20su%20comunidad>.

- Durón C, D. J. (2022). *Zamorano*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/items/0a5b7465c8dc-4430-9f26-562dcbdb22aa>
- EFSA. (15 de Enero de 2015). *Seguridad Alimentaria* . Obtenido de <https://seguridadalimentaria.elika.eus/leche-cruda-recomendaciones-para-su-consumoefsa-2015/>
- Elvira, E. (2012). *El destino del arsénico en los sistemas suelo-planta*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22057929/>
- FAO. (2018). *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. Obtenido de <http://www.fao.org/water/es/>
- Gillispie. (2015). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200103#B35
- Gomez, M. F. (2022). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/557282546/Muestreo-de-Suelo-docx>
- GRUPO BANCO MUNDIAL . (2024). Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-resilientirrigation#:~:text=El%20agua%20es%20un%20insumo,alimentos%20en%20todo%20el%20mundo.>
- INEN. (2011). *NORMA TECNICA ECUATORIANA*. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_BL%20NTE%20INEN%209%20Leche%20cruda%20Requisitos.pdf
- Ingallinella, A. M. (2014). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7307420.pdf>
- Jiménez, P. A. (23 de Abril de 2024). *SIEMBRA*.
- Jose Ayala Armijos, H. R. (Junio de 2012). *Universidad Tecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8836>
- Juarez. (20 de 02 de 2024). *Fertilab*. Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/La_Alcalinidad_del_Agua_y_su_Efecto_en_los_Sustratos.pdf
- La Fundación del agua. (2019). *AQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de

- <https://www.fundacionaquae.org/>
- León, R. (Octubre de 2018). *Repositorio Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19019/4/PASTOS%20Y%20FORRAJES%20DEL%20ECUADOR%202021.pdf>
- Llopart, E. E. (2017). *Universidad del Centro Educativo Latinoamericano Argentina*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/877/87754348006.pdf>
- Lozano. (2021). Obtenido de <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- M, M. (2015). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.01.010>
- Mae, A. (30 de Septiembre de 2021). *MedicalNewsToday*. Obtenido de <https://www.medicalnewstoday.com/articles/what-are-macronutrients>
- MCGROUP. (19 de Junio de 2021). *SAB*. Obtenido de <https://www.sabspa.com/es/la-calidaddel-agua-para-riego/>
- Mendez, P. (Octubre de 2009). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Moran, H. (2022). <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2744>.
- Moreira. (2013). *Composicion Nutricional de la zanahoria* . Obtenido de <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/zanahoria.pdf>
- Moreno, E. (2012). *PubLMed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22057929/>
- Nguyen, V. A. (abril de 2009). *EISEVIER*. Obtenido de MEDIO AMBIENTE INTERNACIONAL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412008001426>
- Organizacion Mundial de la Salud . (7 de 12 de 2022). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Pamela Robles, M. M. (2018). *Revista Peruana de Medicina Experimental*. Obtenido de <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- PDOT. (2020). *GAD PARROQUIAL TOACASO*. Obtenido de https://toacaso.gob.ec/cotopaxi/wpcontent/uploads/2021/10/PDOT_TOACASO_2020.pdf
- PDOT_TOACASO. (2020). *GAD PARROQUIAL TOACASO*. Obtenido de https://toacaso.gob.ec/cotopaxi/wpcontent/uploads/2021/10/PDOT_TOACASO_2020.pdf

- Ramirez, G. (12 de 2014). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/268817805_Manejo_integral_de_cuencas_hidrograficas_MICH_el_enfoque_utilizado_en_el_proyecto_FORDECyT_Cuenca_Grijalva
- RIAGROP. (14 de AGOSTO de 2021). *Revistas UNTRM*. Obtenido de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP/article/view/717/1050>
- Rosario, M. d. (07 de Julio de 2019). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/416087784/Mapa-de-Recursos#:~:text=1.6%20Organice%20los%20recursos%20en%20un%20mapa,Los%20mapas%20de&text=permite%20a%20la%20comunidad%20ver,salud%20que%20no%20se%20cubren.&text=un%20mapa%20de%20calles>.
- Ruiz, E. A. (Febrero de 2012). *SCIELO*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992012000200001
- Samiee, F. (Diciembre de 2019). *ScienceDirect*. Obtenido de ELSEVIER: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.034>
- Shortle, J. (2014). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/nonpointsource-pollution>
- Spiers, D. K. (2022). *LibreTexts*. Obtenido de https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Excavando_en_suelos_canadienses%3A_una_introducci%C3%B3n_a_la_ciencia_del_suelo/01%3A_Excavando/1.05%3A_Qu%C3%ADmica_del_Suelo
- Teschke, R. (25 de Junio de 2024). *National Library of Medicine* . Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11203474/>
- Tipan, C. (2024). *Repositorio UTC*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/items/87af35a1d5bf-4a5d-9655-fec0cf6c3663>
- TOACASO, P. (2020). Obtenido de https://toacaso.gob.ec/cotopaxi/wpcontent/uploads/2021/02/PDOT_TOACASO_2020.pdf
- TULSMA. (2012). Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- TULSMA. (2012). *Food and Agriculture Organization* . Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

- TULSMA LIBRO IV. (Noviembre de 2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS*. Obtenido de ANEXO 2:
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>
- Velazquez, B. (2013). *UNAM*. Obtenido de
https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/manuales_2013/Manual%20de%20Practicas%20de%20Inocuidad%20y%20Calidad%20de%20Alimentos%20de%20Origen%20Animal.pdf
- VermiDuero. (24 de Julio de 2024). *La importancia de la calidad del suelo en la agricultura*. Obtenido de <https://vermiduero.es/calidad-del-suelo-en-la-agricultura/>
- Vitrina de Methika, J. B. (08 de Marzo de 2016). *SPRINGER NATURE*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-016-0028-2>
- Walton, B. y. (17 de 11 de 2017). *WordPress*. Obtenido de <https://sublimacion1.wordpress.com/2017/11/06/analisis-fisico-quimico-del-agua/>
- WHO. (7 de Diciembre de 2022). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Young, M. (Abril de 1999). Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/informes/arsenicoestudio.htm>
- Zambrano, J. L. (12 de 2021). *INIAP*. Obtenido de Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana:
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5796/1/GUIA%20CULTIVO%20DE%20MAIZ%202021-1.pdf>