



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES
PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) Y ACHIRA (*Canna indica*) EN AGUAS
CONTAMINADAS CON ARSÉNICO DEL PROYECTO DE RIEGO TILICHE
SAN JOSÉ PERIODO 2021-2022”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieras en Medio Ambiente

Autoras:

Casa Llanos Erika Jacqueline

Cunalata Lasluisa Mariela Lisbeth

Tutor:

Prof. M.Sc. Ruiz Depablos Joseline Luisa

LATACUNGA-ECUADOR

Marzo 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Casa Llanos Erika Jacqueline, con cédula de ciudadanía No. 1725170383; y, Cunalata Lasluisa Mariela Lisbeth, con cédula de ciudadanía No. 1805322599; declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación: “Capacidad de fitorremediación de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José periodo 2021-2022”, siendo la Profesora M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos, Tutora del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 21 de Marzo del 2022

Erika Jacqueline Casa Llanos
Estudiante
CC: 1725170383

Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa
Estudiante
CC: 1805322599

Prof. M.Sc. Joseline Luisa Ruiz
Docente Tutora
CC: 1758739062

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 **CASA LLANOS ERIKA JACQUELINE**, identificada con cédula de ciudadanía **1725170383** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector Encargado, 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 Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Capacidad de fitorremediación de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José periodo 2021-2022.”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2017 -Agosto 2017

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 7 de Enero del 2022

Tutora: Prof. M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

Tema: “Capacidad de fitorremediación de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José periodo 2021-2022.”

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

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

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

- a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b. La publicación del trabajo de grado.
- c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de marzo del 2022.

Erika Jacqueline Casa Llanos
LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez
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 **CUNALATA LASLUIA MARIELA LISBETH**, identificada con cédula de ciudadanía **1805322599** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector Encargado, 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 Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Capacidad de fitorremediación de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José periodo 2021-2022.”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2017 -Agosto 2017

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 7 de Enero del 2022

Tutora: Prof. M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

Tema: Capacidad de fitorremediación de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José periodo 2021-2022.”

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:

f. 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.

- g. La publicación del trabajo de grado.
- h. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de marzo del 2022.

Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa
LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) Y ACHIRA (*Canna indica*) EN AGUAS CONTAMINADAS CON ARSÉNICO DEL PROYECTO DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ PERIODO 2021-2022”, de Casa Llanos Erika Jacqueline y Cunalata Lasluisa Mariela Lisbeth, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 21 de Marzo del 2022

Prof. M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

DOCENTE TUTORA

CC: 1758739062

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, las postulantes: Casa Llanos Erika Jacqueline y Cunalata Lasluisa Mariela Lisbeth, con el título del Proyecto de Investigación: “CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) Y ACHIRA (*Canna indica*) EN AGUAS CONTAMINADAS CON ARSÉNICO DEL PROYECTO DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ PERIODO 2021-2022”, 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 realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 21 de Marzo del 2022

Lector 1 (Presidente)
Ing. Ph.D. Eliana Boada Cahueñas
CC: 1719312892

Lector 2
Ing. Ph.D Mercy Lucila Ilbay Yupa
CC: 0604147900

Lector 3
Ing. M.Sc. José Luis Agreda Oña
CC: 0401332101

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la vida, la sabiduría y perseverancia para poder culminar una de mis metas, a mis padres Marco Casa y Mónica Llanos quienes me brindaron su apoyo incondicional en toda mi carrera universitaria que a través de sus consejos, esfuerzos y valores impartidos pude realizarme como una buena profesional.

Mi agradecimiento a las autoridades y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de manera especial a mi Tutora la MSc Joseline Ruiz, por sus amplios conocimientos, su asesoría y ayuda pude concluir exitosamente mi trabajo de investigación.

De igual manera agradezco a los funcionarios que conforman el GAD de la dirección de Riego y Drenaje, quienes contribuyeron para que la investigación se desarrolle de manera exitosa.

Erika Jacqueline Casa Llanos

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible que se llevará a cabo esta investigación. En especial a mis padres, quienes en base a su ejemplo y dedicación me han convertido en la mujer que soy, gracias por estar siempre junto a mí en cada triunfo y fracaso, por no dejarme derrotar e inculcarme que con perseverancia y esfuerzo se llega a la cumbre.

A mis amigos por brindarme su amistad sincera e incondicional y los mejores momentos durante mi vida universitaria, los llevaré siempre en mi corazón.

A mi tutora la MSc. Joseline Ruiz, gracias por su tiempo dedicado, por su orientación y asesoría a través de sus conocimientos adquiridos a lo largo de su vida profesional.

Y por último un cordial agradecimiento a las autoridades y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por darnos la oportunidad de estudiar una carrera universitaria como es la Ing. Ambiental capaz de solucionar en parte los problemas que aquejan a la población.

Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa

DEDICATORIA

La presente investigación quiero dedicar a mis padres Marco Casa y Mónica Llanos quienes son los pilares fundamentales en todas y cada una de mis metas y sueños cumplidos, siendo un gran ejemplo de lucha y superación para mí.

A mis hermanos, mis sobrinos y amigos por darme ánimos para seguir adelante, por brindarme su apoyo y alegrarme en cada momento.

De manera especial a mis segundos padres que me criaron con buenos valores y principios, formaron parte esencial en mi vida; gracias por ayudarme en los momentos difíciles, por sus abrazos y consejos que, aunque no se encuentren presentes físicamente siempre estarán en mis pensamientos y sobre todo en mi corazón. Si bien no me pude despedir de ustedes y faltaron días para enseñarles mi título; sé que de donde quiera que estén van estar orgullosos de mí, esta meta va hacia el cielo.

Erika Jacqueline Casa Llanos

DEDICATORIA

El presente trabajo realizado con mucho esfuerzo y entrega, se lo dedico primeramente a Dios todo poderoso por darme la salud y la vida para cumplir con todos mis objetivos trazados.

A mis padres Medardo Cunalata y Zonia Lasluisa por brindarme su amor, paciencia y apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

A mis hermanos por su confianza y todos aquellos momentos bonitos que compartimos durante este tiempo juntos.

A todos mis familiares, amigos y demás personas que confiaron en mí y me brindaron sus sabios consejos.

Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) Y ACHIRA (*Canna indica*) EN AGUAS CONTAMINADAS CON ARSÉNICO DEL PROYECTO DE RIEGO TILICHE SAN JOSÉ PERIODO 2021-2022”.

Autores: Erika Jacqueline Casa Llanos

Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa

RESUMEN

La presencia de contaminantes en las fuentes de agua ha generado una demanda de métodos de purificación de agua para su aprovechamiento, sin embargo, se evidencian precios exorbitantes en los métodos convencionales, dando paso a soluciones basadas en la naturaleza como la fitorremediación. El objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad fitoremediadora de las especies vegetales Pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José. Se evaluó el desarrollo de la especie Pasto vetiver y Achira en el sistema hidropónico a una altitud entre 3545 - 3113 msnm. En el reservorio de la Quebrada de Tiliche las especies Pasto Vetiver y Achira se instalaron en el sistema fitorremediador con una distribución de 50 y 36 individuos en cada isla y en el reservorio de Tiliche San José 50 individuos en cada isla. Se realizaron 3 muestreos morfológicos de las plantas para determinar la concentración de As y Fe; el primer muestreo se realizó sin la implementación del sistema, el segundo se realizó 89 días después con el sistema implementado (en el caso de la especie achira 60 días instalada) y el muestreo final a los 108 días terminada la investigación. El crecimiento de las especies, tomando en cuenta el tallo, raíz y hojas indican que la especie Pasto vetiver no tuvo un buen desarrollo debido a las condiciones climáticas eran adversas a su lugar de origen. En el caso de la Achira tuvo un buen desarrollo dado que, la especie es nativa de la zona. Según los resultados del Factor de Bioconcentración, las raíces de las especies Pasto vetiver y Achira fueron muy eficientes al extraer As y Fe en el agua. Por lo contrario, sobre los resultados del Factor de Translocación, la especie Achira fue más eficiente que la Pasto Vetiver en la translocación de As. Determinando que, en el reservorio “QT” la especie Vetiver actuó como hiperacumuladora con la capacidad de fitoextraer el As al igual que la Achira. Mientras que en el reservorio “TS” la especie Pasto Vetiver no trasladó los metales desde la raíz hacia la parte aérea, logrando fitoestabilizar los metales en las raíces de la planta.

Palabras clave: Pasto Vetiver, Achira, fitorremediación, arsénico, contaminación.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "CAPACITY OF PHYTOREMEDIATION OF THE VETIVER GRASS (*Chrysopogon zizanioides*) AND ACHIRA (*Canna indica*) VEGETABLE SPECIES IN CONTAMINATED WATERS WITH ARSENIC FROM THE TILICHE SAN JOSE IRRIGATION PROJECT, PERIOD 2021-2022"

Authors: Erika Jacqueline Casa Llanos

Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the phytoremediation capacity of the plant species Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides*) and Achira (*Canna indica*) in arsenic-contaminated waters of the Tiliche San José irrigation project. Where the presence of contaminants in water sources has generated a demand for water purification methods for its use, however, exorbitant prices are evident in conventional methods, giving way to nature-based solutions such as phytoremediation. The development of the Vetiver grass and Achira species was evaluated in the hydroponic system at an altitude between 3545 - 3113 meters above sea level. In the Quebrada de Tiliche reservoir, the Vetiver grass and Achira species were installed in the phytoremediation system with 50 and 36 individuals on each island, and in the Tiliche San José reservoir, 50 individuals on each island. Three morphological samples were taken from the plants to determine the concentration of As and Fe; the first sample was taken without the implementation of the system, the second was taken 89 days later with the system implemented (in the case of the achira species, 60 days after the system was installed) and the final sample was taken 108 days after the research was completed. The growth of the species, taking into account the stem, root, and leaves, indicates that the Vetiver grass species did not develop well due to adverse climatic conditions in its place of origin. In the case of Achira, it developed well because the species is native to the area. According to the results of the Bioconcentration Factor, the roots of the vetiver grass and Achira species were very efficient in extracting As and Fe in the water. On the contrary, regarding the results of the Translocation Factor, the Achira species was more efficient than Vetiver grass in As translocation. It was determined that, in the "QT" reservoir, the Vetiver species acted as a hyperaccumulator with the capacity to phytoextract As as well as Achira. While in the "TS" reservoir, the Vetiver grass species did not transfer the metals from the root to the aerial part, managing to phytostabilize the metals in the plant's roots.

Keywords: Vetiver grass, Achira, phytoremediation, arsenic, contamination.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DEDICATORIAS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxi
ÍNDICE DE FIGURAS	xxiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xxiv
INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5. OBJETIVOS	7
5.1. Objetivo General.....	7
5.2. Objetivos Específicos	7
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.....	9
7.1. Metales Pesados	9
7.1.1. Metales pesados en el agua	10
7.1.2. Metales pesados en el suelo	10
7.1.3. Efectos en el ser humano y su toxicidad	11

7.2.	Arsénico	12
7.2.1.	Composición	12
7.2.2.	Origen natural	12
7.2.3.	Incidencia en el Medio Ambiente	13
7.2.4.	Efectos en la salud humana	15
7.3.	Fitorremediación	15
7.3.1.	Fito-extracción	16
7.3.2.	Fito-estabilización	17
7.3.3.	Rizo-filtración	18
7.3.4.	Fito-estimulación o rizodegradación.....	18
7.3.5.	Fito degradación.....	19
7.3.6.	Fitovolatización.....	19
7.3.7.	Especies utilizadas en la fitorremediación.....	20
7.4.	Sistema Fitorremediador (IFAs).....	21
7.4.1.	Historia de las IFAs	21
7.4.2.	Aplicación.....	21
7.4.3.	Materiales, estructura y diseño de la isla flotante	22
7.4.4.	Funcionamiento.....	22
7.4.5.	Ventajas de las islas flotantes	23
7.5.	Pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>)	24
7.5.1.	Taxonomía	24
7.5.2.	Características morfológicas	24
7.5.3.	Características fisiológicas.....	25
7.5.4.	Desarrollo de la especie	26
7.5.5.	Usos del vetiver.....	26
7.6.	Achira (<i>Canna indica</i>).....	27
7.6.1.	Taxonomía	27

7.6.2.	Características morfológicas	27
7.6.3.	Características fisiológicas.....	28
7.6.4.	Desarrollo de la especie	29
7.6.5.	Usos de la Achira	29
8.	NORMATIVA LEGAL	30
9.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA	31
10.	METODOLOGÍAS (TÉCNICAS, MÉTODOS INSTRUMENTOS).....	32
10.1.	Tipos de investigación	32
10.1.1.	Investigación Descriptiva	32
10.1.2.	Investigación de Campo	32
10.1.3.	Investigación Analítica.....	32
10.1.4.	Investigación Bibliográfica.....	32
10.2.	Técnicas.....	32
10.2.1.	Observación directa.....	33
10.2.2.	Monitoreo	33
10.3.	Herramientas.....	33
10.3.1.	Microsoft Excel	33
10.3.2.	Software ArcMap 10.5	33
10.3.3.	Autocad	33
10.4.	Ubicación del sitio de estudio	34
10.5.	Dimensiones de los Reservorios.....	35
10.6.	Desarrollo de las especies fitorremediadoras <i>C. zizanioides</i> y <i>C. indica</i>	36
10.6.1.	Ubicación de las especies en el sistema fitorremediador	36
10.6.2.	Desarrollo de las especies en el sistema fitorremediador	37
10.7.	Capacidad de acumulación de arsénico y hierro en las especies vegetativas.....	38
10.7.1.	Toma de muestra de raíz de las especies vegetales.....	38
10.7.2.	Factor de bioconcentración.....	39

10.8.	Patrón de distribución a los diferentes órganos vegetativos de arsénico y hierro en las especies vegetativas.	40
10.8.1.	Toma de muestras de la parte aérea de las especies vegetales.	40
10.8.2.	Factor de translocación.	41
10.9.	Disposición final	42
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	42
11.1.	Desarrollo de las especies vegetales en el sistema fitorremediador.	42
11.1.1.	Instalación de las especies vegetales en el sistema fitorremediador del reservorio “QT”	42
11.1.2.	Crecimiento aéreo y radicular de las especies <i>Chrysopogon zizanioides</i> y <i>Canna indica</i> en el reservorio “QT”	43
11.1.3.	Crecimiento aéreo y radicular de la especie <i>Chrysopogon zizanioides</i> ubicada en el reservorio “TS”	46
11.2.	Capacidad de acumulación de As y Fe en las especies vegetativas.	47
11.2.1.	Concentración de As y Fe en la entrada de agua de los reservorios “QT” y “TS”	47
11.2.2.	Concentración de As y Fe en la raíz de las especies del reservorio “QT”	48
11.2.3.	Concentración de As y Fe en la raíz de la especie del reservorio “TS”	50
11.3.	Factor de Bioconcentración (BCF)	52
11.3.1.	Bioconcentración en la raíz de las especies vegetativas del reservorio “QT”	52
11.3.2.	Bioconcentración en la raíz de la especie vegetativa del reservorio “TS”	54
11.4.	Patrón de distribución a los diferentes órganos vegetativos de arsénico y hierro en las especies vegetativas.	54

11.4.1.	Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de las especies del reservorio “QT”	55
11.4.2.	Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie del reservorio “TS”	56
11.5.	Factor de Translocación en las especies vegetativas.....	56
11.5.1.	Translocación de los metales en la especie Pasto vetiver del reservorio “QT”	57
11.5.2.	Translocación de los metales en la especie Achira del reservorio “QT”	58
11.5.3.	Translocación de los metales en la especie Pasto vetiver del reservorio “TS”	60
12.	IMPACTOS	61
12.1.	Ambientales	61
12.2.	Socioeconómicos	62
13.	PRESUPUESTOS	62
14.	CONCLUSIONES.....	63
15.	RECOMENDACIONES.....	64
16.	REFERENCIAS	65
17.	ANEXOS	82
	Anexo 1: Toma de muestras de las especies fitorremediadoras	82
	Anexo 2: Resultado de la concentración de As y Fe en agua. Quebrada de Tiliche “QT” Laboratorio CICAM	84
	Anexo 3: Resultado de la concentración de As y Fe en agua. Reservorio Tiliche San José Bajo “TS” Laboratorio CICAM.	88
	Anexo 4: Resultados de concentraciones de As de sedimentos. Fuente Natural y Reservorios “TS” y “QT” Laboratorio CICAM	92
	Anexo 5: Resultados de las concentraciones de As y Fe en la morfología de las	

especies Pasto Vetiver y Achira. Laboratorio (UDLA).....	95
Anexo 6: Disposición final de las especies fitorremediadoras.....	98
Anexo 7: Cronograma de actividades del trabajo de Titulación	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios directos.....	4
Tabla 2. Beneficiarios indirectos	4
Tabla 3. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos.	7
Tabla 4. Taxonomía <i>Chrysopogon zizanioides</i>	24
Tabla 5. Taxonomía <i>Canna indica</i>	27
Tabla 6. Coordenadas del área de estudio.	35
Tabla 7. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de las especies.....	43
Tabla 8. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de la especie.....	46
Tabla 9. Concentración de As y Fe en la entrada de los reservorios.	47
Tabla 10. Concentración de As y Fe en la raíz de las especies Pasto vetiver y Achira “QT”	48
Tabla 11. Concentración de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver “TS”.....	50
Tabla 12. BCF de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver “QT”.....	52
Tabla 13. BCF de As y Fe en la raíz de la especie Achira “QT”.....	53
Tabla 14. BCF de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver “TS”.....	54
Tabla 15. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie Pasto vetiver “QT”.....	55
Tabla 16. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie Achira “QT”.....	56
Tabla 17. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie Pasto vetiver “TS”.....	56
Tabla 18. Factor de translocación de As en la especie Pasto vetiver “QT”.....	57
Tabla 19. Factor de translocación de Fe en la especie Pasto vetiver “QT”.....	58
Tabla 20. Factor de translocación de As en la especie Achira “QT”.....	58
Tabla 21. Factor de translocación de Fe en la especie Achira “QT”.....	59
Tabla 22. Factor de translocación de As en la especie Pasto vetiver “TS”.....	60

Tabla 23. Factor de translocación de Fe en la especie Pasto vetiver “TS”.	61
Tabla 24. Presupuesto.....	62
Tabla 25. Cronograma de actividades.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del arsénico	13
Figura 2. Mecanismo de absorción y almacenamiento de los contaminantes en la planta.....	16
Figura 3. Especie Pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>).....	24
Figura 4. Especie Achira (<i>Canna indica</i>).....	28
Figura 5. Zona de estudio.	34
Figura 6. Esquema de los Reservorios del proyecto de riego “Tiliche San José”	36
Figura 7. Esquema de la metodología del crecimiento y evaluación de las especies.	38
Figura 8. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de las especies en el sistema fitorremediador.....	44
Figura 9. Crecimiento de la especie <i>Chrysopogon zizanioides</i> en el reservorio QT.	45
Figura 10. Crecimiento de la especie <i>Canna indica</i> en el reservorio QT.	45
Figura 11. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de la especie en el sistema fitorremediador	46
Figura 12. Crecimiento de la especie <i>Chrysopogon zizanioides</i> en el reservorio TS.	47
Figura 13. Concentración de As en la raíz de las especies vegetales Pasto Vetiver y Achira “QT”.....	49
Figura 14. Concentración de Fe en la raíz de las especies vegetales Pasto Vetiver y Achira “QT”.....	50
Figura 15. Concentración de As en la raíz de la especie vegetal Pasto Vetiver “TS”.	51
Figura 16. Concentración de Fe en la raíz de la especie vegetal Pasto Vetiver “TS”.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Muestreo de especies vegetativas “QT”	82
Ilustración 2: Muestreo de especies vegetativas “TS”	82
Ilustración 3: Etiquetado y sellado de muestras.	82
Ilustración 4: Muestra del Tallo Vetiver “QT”	82
Ilustración 5: Muestra de Hojas Vetiver “QT”	82
Ilustración 6: Muestra de Brotes Vetiver “QT”	82
Ilustración 7: Muestra de Raíces Vetiver “QT”	82
Ilustración 8: Muestra de Tallo Achira “QT”	82
Ilustración 9: Muestra de Hojas Achira “QT”	83
Ilustración 10: Muestra de Brotes Achira “QT”	83
Ilustración 11: Muestra de Raíces Achira “QT”	83
Ilustración 12: Muestra del Tallo Vetiver “TS”	83
Ilustración 13: Muestra de Hojas Vetiver “TS”	83
Ilustración 14: Muestras de Brotes Vetiver “TS”	83
Ilustración 15: Muestras de Raíces Vetiver “TS”	83
Ilustración 16: Informe Inicial del Laboratorio de la UDLA.	95
Ilustración 17: Resultado Inicial de As en las especies Pasto Vetiver y Achira.	95
Ilustración 18: Resultado Inicial de Fe en las especies Pasto Vetiver y Achira.	95
Ilustración 19: Informe Intermedio emitido por el Laboratorio de la UDLA.	96
Ilustración 20: Resultado Intermedio de As en las especies Pasto Vetiver y Achira.	96
Ilustración 21: Resultado Intermedio de Fe en las especies Pasto Vetiver y Achira.	96
Ilustración 22: Resultado Final emitido por el Laboratorio UDLA.	97
Ilustración 23: Resultado Final de As en la especie Pasto Vetiver y Achira.	97
Ilustración 24: Resultado Final de Fe en la especie Pasto Vetiver y Achira.	97
Ilustración 25: Informe Final emitido por el Laboratorio de la UDLA.	98

Ilustración 26: Donación de las especies a la comunidad.....	98
Ilustración 27: Ceremonia de donación de las especies.....	98

INFORMACIÓN GENERAL

Título

Capacidad de fitorremediación de las especies vegetales Pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del proyecto de riego Tiliche San José periodo 2021-2022

Lugar de ejecución

Reservorios de la Quebrada de Tiliche “QT” y Tiliche San José Bajo “TS”, pertenecientes al proyecto de riego de Tiliche San José, ubicados en la Comuna de Planchaloma y Cuicuno respectivamente, situados en la parroquia Toacaso, del Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi - Zona 3

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería en Medio Ambiente.

Nombre del equipo de investigadores

Tutora

- Prof. M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

Lectores

- Ph.D Eliana. Boada Cahueñas
- Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa
- M.Sc. José Luis Agreda Oña

Autores

- Erika Jacqueline Casa Llanos
- Mariela Lisbeth Cunalata Lasluisa

Área de conocimiento

Ambiente, Manejo de Recursos Hídricos

Líneas de investigación

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

Sublínea de Investigación Carrera

Manejo y conservación del recurso hídrico

Línea de vinculación

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

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas del mundo por metales pesados, debido a las actividades mineras, industriales, agrícolas y domésticas incluyendo la contaminación natural. Estos compuestos tóxicos al entrar en contacto con el ser vivo, representan una amenaza; por lo que se han desarrollado distintos métodos para corregir el impacto causado. Los métodos convencionales pueden ser costosos y a la vez influir de forma irreversible en las propiedades del agua, suelo, y de los seres vivos que la habitan.

El alto costo y la limitada eficacia de tratamientos han incentivado el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas. Así, la fitorremediación representa una alternativa sostenible y económica para la recuperación de ambientes afectados por los contaminantes naturales y antropogénicos.

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que se han destacado por su eficiencia en la disminución de las concentraciones de los distintos compuestos. Las especies vegetativas usadas para la fitorremediación permiten contrarrestar la toxicidad de los metales y metaloides presentes en el ambiente; debido a que las plantas tienen la capacidad de absorber y translocar estos contaminantes del agua hacia la parte aérea de las especies.

Por ello, el presente proyecto de investigación está enfocado en evaluar la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico y hierro del proyecto de riego “Tiliche San José”, el mismo que beneficiara a los habitantes de la parroquia de Toacaso con una mejor calidad de agua para el riego de cultivos optimizando su producción, y a la vez se logrará un aumento en su economía y en su calidad de vida.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los recursos hídricos son indispensables para los seres humanos y para el resto de los seres vivos. Sin embargo, en la actualidad las fuentes de agua se encuentran en constante deterioro, a causa de la contaminación natural y de las actividades antrópicas que día tras día aumentan la toxicidad del recurso.

La exposición a metales pesados como el As, afecta a decenas de millones de personas en el mundo. Su amenaza reside en que, el agua es su principal medio para ingresar al cuerpo humano causando daños irreversibles en la salud. En la provincia de Cotopaxi, según estudios por parte

de un equipo técnico integrado por la Escuela Politécnica Nacional, la Universidad Técnica de Cotopaxi, el Gobierno Provincial de Cotopaxi y el Ministerio de Ambiente y Agua en el año 2018, revelaron datos sobre la presencia de As con concentraciones mayores a 0.1 mg/L, en las vertientes de la Reserva Ecológica Los Ilinizas, misma que provee del recurso alrededor de 20000 habitantes de la parroquia Toacaso y comunidades del cantón Saquisilí, utilizada para uso agrícola y consumo humano.

Una de las distintas soluciones ante la contaminación del agua por metales pesados, es el uso de especies vegetativas fitorremediadoras ya que resultan ser muy eficaces, principalmente por la interacción entre la zona radicular y el efluente para su remediación. Logrando posicionarse en un futuro como una opción prometedora para tratar la contaminación del agua. El uso de especies fitorremediadoras son una solución viable debido a que es económico, accesible y con un mantenimiento e instalación muy fácil, a diferencia de otros sistemas de tratamiento de aguas convencionales.

El presente proyecto de investigación está enfocado a evaluar la capacidad fitoremediadora de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico del “proyecto de riego Tiliche San José”, debido a que comparado con los actuales tratamientos de agua es menos costoso en términos de instalación y uso sustentable. Obteniendo una mejor calidad del agua y por consiguiente potenciando su producción. Además de evitar enfermedades procedentes por el contacto con este contaminante, mejorando así, la calidad de vida de la población.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Mediante la investigación varias familias de la parroquia de Toacaso, Comuna Planchaloma y Cuicuno se encuentran beneficiadas por la instalación del sistema fitorremediador, ya que son tecnologías que se han destacado por su eficiencia, facilidad de instalación y mantenimiento. Consisten en que especies se ubican en una estructura flotante permaneciendo las raíces de las plantas en contacto directo con el cuerpo de agua lo cual permite la remoción de contaminantes y a la vez una mejora en la calidad de los productos de los agricultores de la zona de estudio.

El estudio se realizó en cooperación y coordinación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, (Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente) y el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi (Gestión de Riego y Drenaje). (Tabla 1)

Tabla 1. Beneficiarios directos

BENEFICIARIOS DIRECTOS		
Comunidades	Número de familias beneficiarias	Porcentaje de familias beneficiarias
Reservorio del proyecto de riego Tiliche San José- Comuna Planchaloma “QT”	100	3.24 % de la población de la parroquia de Toacaso
Reservorio del proyecto de riego Tiliche San José- Comuna Cuicuno “TS”	60	1.95 % de la población de la parroquia de Toacaso

Fuente: Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Toacaso (PDOT Toacaso, 2020)

Tabla 2. Beneficiarios Indirectos

BENEFICIARIOS INDIRECTOS	
	Número de Personas beneficiarias
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi (Gestión de Riego y Drenaje)	7
- Universidad Técnica de Cotopaxi (Carrera Ingeniería en Medio Ambiente)	10500

Fuente: Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de Latacunga (PDOT, 2016)

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El agua es el recurso vital para el desarrollo de la biodiversidad y de los recursos naturales y a la vez del desarrollo económico de cada país. Para Ríos *et al.*, (2017) el agua es la sustancia más común e importante en la tierra y su disponibilidad ha sido el factor más crítico para la supervivencia durante el desarrollo de toda forma viva en el planeta. Con el pasar del tiempo, todos los recursos han sido considerados útiles para toda actividad de uso antrópico, sin tener en cuenta la disponibilidad o las necesidades para los usos ambientales. Cuando se considera la distribución del agua entre los distintos usuarios, la agricultura aparece como el sector de mayor demanda. Según Fernández, (2012) las dos terceras partes de los recursos hídricos se destinan al uso agrícola, con una demanda creciente para el turismo, usos urbanos e industriales, compitiendo por un acceso a un recurso cada vez menos disponible.

El agua se contamina por metales pesados y metaloides como Hg, Pb, Cd, Zn, Ni, Cr y As producidos por vía antrópica o natural, afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública (Reyes *et al.*, 2016). Concentraciones elevadas de As, contaminan el ambiente por medio de interacciones naturales, emisiones volcánicas, reacciones ambientales, actividades biológicas y antropogénicas (Montoya *et al.*, 2015). En aguas naturales se encuentra como especie disuelta, formando oxianiones (Bundschuh *et al.*, 2009).

“La concentración estándar recomendada por la OMS para el As en el agua es de 0,01 mg/L, dicho parámetro varía entre los países Latinoamericanos entre un rango de 0,01 y 0,5 mg/L” (Bolaños Alfaro, 2016). Sin embargo, en América del Sur, se estima que alrededor de 4,5 millones de personas beben agua con altos niveles de As poniendo en riesgo su salud, esto debido a que no existe un adecuado tratamiento para el uso del agua. “La cantidad de As en el agua es sumamente alta, especialmente en aguas subterráneas de Latinoamérica, llega en algunos casos a superar la concentración de 1 000 µg/L”(Medina-Pizzali *et al.*, 2018).

Según la OMS, (2018) “El As es una de las 10 sustancias químicas que la Organización Mundial de la Salud considera más preocupantes para la salud pública”. La exposición del As puede traer consigo efectos negativos en el ser humano. Para Mohammed Abdul *et al.*, (2015) existen múltiples consecuencias, viéndose afectados varios sistemas y órganos diferentes, incluyendo la piel y las vías respiratorias, sistema cardiovascular, inmunológico, genitourinario, reproductivo, digestivo, nervioso, así como el sistema endocrino, hepático y renal. Según Londoño *et al.*, (2016) las complicaciones agudas aparecen por exposición a dosis elevadas y pueden ser letales.

El As presente en el agua del Ecuador es de origen volcánico debido a su localización en el cinturón de fuego del Pacífico (Castelo, 2015). Por las distintas características físico químicas el Ecuador no está libre de los problemas ambientales, debido a que hace algunos años el agua potable de las localidades de Guayllabamba, Tumbaco y la laguna de Papallacta contenían altos niveles de As. En este caso según Castelo, (2015) los pobladores consumieron normalmente el agua por un tiempo indefinido, desconociendo que estaban ingiriendo elementos altamente tóxicos que pueden afectar su salud, por lo que se formó un comité para corregir esta situación y contar con una fuente confiable.

Las parroquias de la ciudad de Latacunga que se encuentran afectadas por el uso de fuentes de agua provenientes de los Ilinizas son Tanicuchí, Toacaso y Guaytacama, debido a que, existe preocupación por el agua de consumo posiblemente contaminada con As. “Un total de 20.000 habitantes consumen agua de 15 fuentes provenientes de los Ilinizas, constatando que una de

las fuentes contiene 20 veces el contenido de As permitido por los estándares internacionales” (La Hora, 2018). Esto afectando a la vez en la actividad agrícola debido a que “los suelos contaminados con As de fuentes antropogénicas, por ejemplo, desechos de minas y fundiciones, tierras agrícolas tratadas con pesticidas de As pueden tener concentraciones de As de hasta varios gramos por kilogramo” (International Agency for Research on Cancer, 2012).

En la parroquia Toacaso, se localizó una alta concentración de As natural proveniente de los Illinizas, alcanzando los 0.70 ppm, estando fuera de los LMP expuestos en la normativa vigente. Según indican (Imbago & Oña, 2019), “esto provocó la acumulación de metaloides en los cultivos y enfermedades entre los pobladores”. Llevando consigo varias pérdidas económicas en sus cultivos y enfermedades en los consumidores a mediano y largo plazo. “La comunidad afirma que al beber esta agua los animales mueren, debido a la concentración elevada de As presente en el efluente, además se realiza la transferencia en el sistema agua-suelo-cultivo a través del sistema de riego” (Herrera Apablaza *et al.*, 2017); promoviendo la acumulación del metaloide en los productos agrícolas de consumo en la comunidad (Navoni *et al.*, 2012).

Actualmente, la reducción de los niveles de As en el agua representa uno de los retos ambientales prioritarios a nivel mundial, existiendo una amplia variedad de métodos que se emplean para su disminución o eliminación. Las técnicas más comunes son: resinas de intercambio, adsorción, coprecipitación con Fe o Al, fitorremediación, osmosis inversa, filtración por membrana, métodos de coagulación/filtración. Para la selección del proceso de remoción a emplear, se deberá tener en cuenta la concentración de As en el agua, su especiación, el pH, otras especies presentes en el agua, condiciones económicas, etc. (Boglione *et al.*, 2016).

En este sentido la fitorremediación representa una tecnología alternativa para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. Es una tecnología de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada. Puede implementarse in situ para remediar grandes extensiones de áreas contaminadas o para tratar grandes volúmenes de aguas diluidas, es decir, con bajas concentraciones de contaminantes. En general, es una tecnología de bajo costo, simple, sustentable, compatible con el ambiente y estéticamente más agradable que las tecnologías convencionales. Por ejemplo, según Capato (2016) en países desarrollados ha dejado de ser una opción potencial de tratamiento para convertirse en una tecnología aplicable, eficiente para remover, transformar o degradar diversos tipos de contaminantes. Particularmente la fitoextracción y rizofiltración son las estrategias de fitorremediación más desarrolladas.

5. OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) en aguas contaminadas con arsénico y hierro del proyecto de riego Tiliche San José.

Objetivos Específicos

- Evaluar el desarrollo de las especies *Chrysopogon zizanioides* y *Canna indica* en el sistema fitorremediador de aguas contaminadas con arsénico y hierro mediante la altura, largo de raíz y la cantidad de brotes de la planta.
- Determinar la capacidad de acumulación de arsénico y hierro en las especies vegetativas en un sistema fitorremediador mediante el factor de bioconcentración.
- Determinar el patrón de distribución de arsénico y hierro a los diferentes órganos vegetativos mediante el factor de translocación.

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

Tabla 3. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADO
Evaluar el desarrollo de las especies <i>Chrysopogon zizanioides</i> y <i>Canna indica</i> en el sistema fitorremediador de aguas contaminadas con arsénico y hierro mediante la altura, largo de	Identificación, georreferenciación y elaboración de un mapa de la zona de estudio. Colocación de las especies en el sistema fitorremediador en los reservorios de la Quebrada de Tiliche “QT” y Tiliche San José Bajo “TS” pertenecientes	Mediante la investigación de campo (visitas <i>insitu</i>) y la técnica de observación directa, se identifica la zona de estudio para la implementación de las especies. La herramienta usada para la elaboración del mapa de la zona de estudio es el Software ArcGIS. Para evaluar el desarrollo de las especies en el agua se	Desarrollo de la especie Pasto Vetiver y Achira en el sistema fitorremediador mediante la altura, largo de raíz y la cantidad de brotes de la planta.

raíz y la cantidad de brotes de planta. proyecto de riego de Tiliche San José.” determina: altura, largo de las raíces, cantidad de brotes y color de hojas.

<p>Determinar la capacidad de acumulación de arsénico y hierro en las especies vegetativas en un sistema fitorremediador mediante el factor de bioconcentración.</p>	<p>Calcular el factor de bioconcentración de As y Fe en las raíces de las especies Pasto vetiver y Achira en los reservorios.</p>	<p>Para conocer las concentraciones de las raíces de las especies vegetales, el laboratorio analizó las muestras mediante la Técnica de muestreo ICP-OES (Plasma Inductivo Acoplado).</p> <p>Para determinar el Factor de bioconcentración de los metales en la morfología de las especies vegetales, se calculó al dividir la concentración del metal presente en la especie con la concentración del elemento presente en el agua, mediante el método establecido por Munive <i>et al.</i>, (2020)</p>	<p>La capacidad de captación de los metales en las raíces de las especies con relación a su concentración en el agua.</p>
--	---	--	---

<p>Determinar el patrón de distribución de arsénico y hierro a los diferentes órganos</p>	<p>Calcular el factor de translocación en base a los muestreos realizados antes, durante y al finalizar la investigación en</p>	<p>Para conocer las concentraciones de los órganos de las especies vegetales, el laboratorio analizó las muestras mediante la Técnica de</p>	<p>Translocación de arsénico y de hierro a los diferentes órganos aéreos de</p>
---	---	--	---

vegetativos	raíces, tallos, hojas y	muestreo	ICP-OES	las especies Pasto
mediante el factor	brotos de las especies.	(Plasma	Inductivo	Vetiver y Achira.
de translocación.		Acoplado).		

Para determinar el Factor de Translocación en la morfología de las especies vegetales, se calcula al dividir la concentración de metal en la parte aérea de la planta con del metal en la raíz, mediante el método establecido por Munive *et al.*, (2020)

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

Metales Pesados

Los metales pesados son considerados elementos químicos con densidad alta generalmente tóxicos para los seres humanos. Según Londoño *et al.*, (2016) los metales pesados son considerados en la tabla periódica como elementos químicos de alta densidad (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico por encima de 20 y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son Al, Be, Cu, Fe, Mn, Cd, Hg, Pb, As entre otros.

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos, debido a su toxicidad, abundancia y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas (Rodríguez, 2017).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. De acuerdo con Méndez *et al.*, (2009) “la bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente”

7.1.1. Metales pesados en el agua

Para Rizzo *et al.*, (2010) las concentraciones naturales de metales en ecosistemas acuáticos dependen de su distribución, meteorización y lixiviación en el área de la cuenca. Las principales fuentes naturales de elementos trazan: son la meteorización y el lixiviado de las rocas y suelos de la cuenca, el aporte puntual de posibles manifestaciones minerales expuestas, los incendios forestales y de pastizales extendidos, y los aportes por emisiones volcánicas.

Actualmente uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas del mundo por metales pesados, debido a la toxicidad que se presentan en el agua de los ríos, que son considerados como un serio problema para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de dichos ríos. En especial si se considera que el incremento en la concentración de estos metales en las fuentes hídricas de las diversas actividades antropogénicas, elevando además los efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el ambiente. Estos son el soporte de la vida humana lo cual acarrea serios problemas a nivel económico tanto a nivel local como nacional debido al aumento en los costos de los tratamientos médicos y una disminución en la productividad de los habitantes de la zona. (Cartaya & Reynaldo, 2008; Contreras Pérez *et al.*, 2004)

7.1.2. Metales pesados en el suelo

Las actividades geológicas naturales, como desgastes de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados al suelo. “En el suelo, los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubles solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos” (Prieto *et al.*, 2009).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente como: la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martin, 2000). Los metales pesados una vez ubicados en el suelo pueden estar estáticos, pero a la vez estar en movimiento en las soluciones del suelo por distintos mecanismos biológicos y químicos.

Las concentraciones nocivas de algunos metaloides presentes en los suelos tienen un tipo de degradación que puede alterar el crecimiento de las especies vegetales. De acuerdo a Pabón

Guerrero *et al.*, (2020) en las plantas, si bien algunos metales son esenciales para su desarrollo normal pues son componentes y/o catalizadores para proteínas y enzimas (Mn^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}) y otros metales pese a no ser esenciales si resultan beneficiosos para las plantas (Cr^{3+} , V, Ti, Co, Se), se debe tener en cuenta que dada la alta actividad humana se liberan, en especial al suelo, grandes cantidades de metales. Este exceso de metales como Al, Hg, Pb, entre otros resulta de especial relevancia tóxica para las plantas, en especial en suelos ácidos donde la fitotoxicidad por metales tóxicos se manifiesta particularmente tanto en el crecimiento como en la formación de raíces laterales y secundarias.

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (Prieto *et al.*, 2009).

7.1.3. 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 Reyes *et al.*, (2016) 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 (Prieto *et al.*, 2009) los efectos crónicos ocurren después 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.

Arsénico

7.1.4. Composición

El arsénico, As y número atómico 33, es un elemento de color gris plateado brillante, quebradizo, amorfo. Sus compuestos tienen conductividad baja; por eso se comporta como metal o como no metal y de ahí su denominación de metaloide. Al combinarse con oxígeno, cloro o azufre forma compuestos inorgánicos, y orgánicos al hacerlo con carbón o hidrógeno. (Ramírez, 2013)

Se oxida fácilmente en contacto con el aire húmedo y produce trióxido. Siempre se le descubre como impureza de otros metales, cobre, plomo, cinc 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. (Ramírez, 2013)

7.1.5. Origen natural

Para Rodríguez *et al.*, (2017) 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 (Heinrich-Salmeron *et al.*, 2011; Santini & Vanden, 2004).

Según Alam *et al.*, (2014) 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 (Li *et al.*, 2021), por ello debido a su fácil movilización en el entorno se le ha considerado que en altas concentraciones es un metaloide tóxico 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 la OMS, (2018) 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.

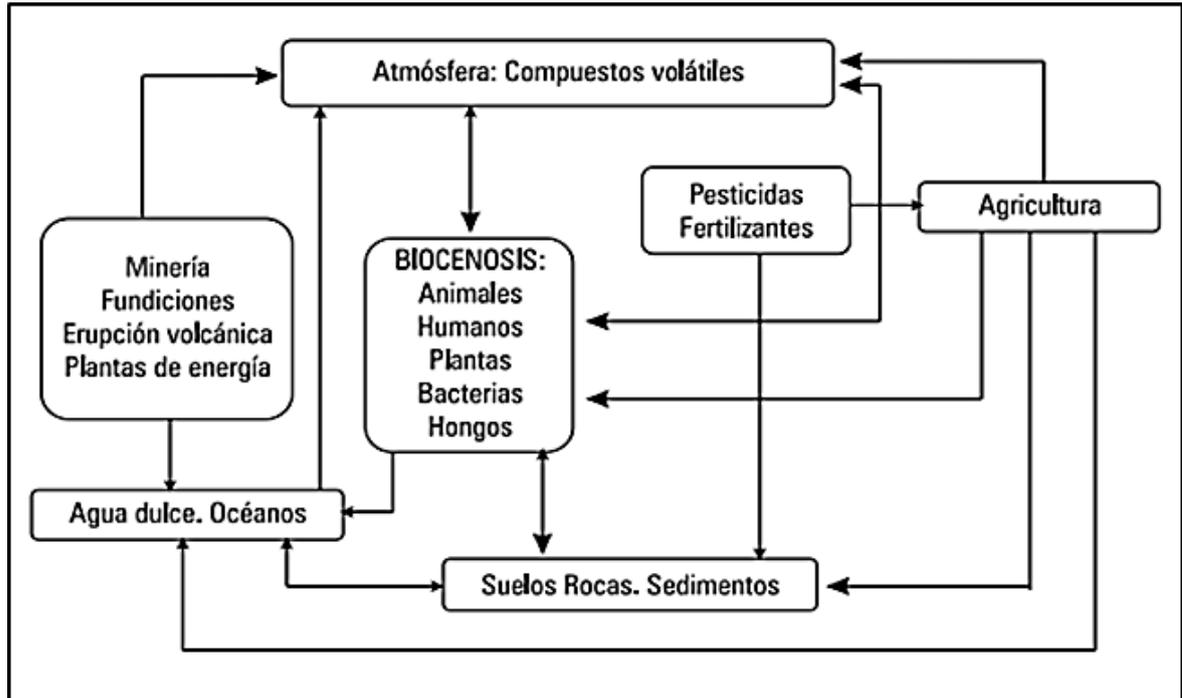


Figura 1. Ciclo del arsénico

Fuente: (Ramírez, 2013)

7.1.6. Incidencia en el Medio Ambiente

El As es uno de los elementos más comunes que se encuentran en la tierra y en el ambiente como tal, producto de actividades volcánicas y por la industria. Para Li *et al.*, (2021) el As puede filtrarse al medio ambiente por procesos geológicos naturales y actividades antropogénicas, como la minería y la fundición (Xiong *et al.*, 2012), y está ampliamente distribuido en minerales suelos y aguas dulces y marinas (Jaishankar *et al.*, 2014). Según la (OMS, 2018) la minería, la fundición de metales no ferrosos y la quema de combustibles fósiles son las principales fuentes antropogénicas de contaminación por As del aire, el agua y el suelo (principalmente en forma de trióxido de As).

- **Incidencia en el agua**

El As puede estar presente de distintas maneras en aguas superficiales y subterráneas, en forma de Arsenato (valencia As^{+5}) y Arsenito (valencia As^{+3}) respectivamente. Según Villalobos & Hidalgo, (2011) “el As en estas aguas es captado para el abastecimiento de poblaciones y por ende uno de los usos más comunes es el consumo humano.” En concentraciones altas de As puede provocar una serie de efectos negativos en la salud de la población que consume dicha agua, el contacto o la ingesta estimula un progresivo envenenamiento enfocado a una enfermedad conocida como hidroarsenicismo crónico.

La concentración estándar recomendada por la OMS para el As en el agua es de 0.01 mg/L, dicho parámetro varía entre los países Latinoamericanos entre un rango de 0.01 y 0.5 mg/L. Canadá y México por ejemplo permiten una concentración de As de 0.025 mg/L, mientras que Paraguay acepta un índice máximo extremadamente elevado de 0.5 mg/L. No obstante, la mayoría de países de América y la Unión Europea establecen una concentración máxima de 0.01 mg/L, entre ellos Costa Rica. (Bolaños Alfaro, 2016)

- **Incidencia 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 turberas). 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 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 antropogénica (International Agency for Research on Cancer, 2012).

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 sobre plantaciones de remolacha, zanahoria y trigo (Delgadillo-López *et al.*, 2011).

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 bioacumulados.

7.1.7. Efectos en la salud humana

La ingesta, inhalación o el contacto que tiene el ser humano con los metaloides As puede llevar a provocar grandes efectos negativos en la salud y calidad de vida. Según Londoño *et al.*, (2016) en humanos la toxicidad crónica con As causa lesiones en piel (queratosis, hiperqueratosis, hiperpigmentación) y lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado. Las complicaciones agudas aparecen por exposición a dosis elevadas y pueden ser letales, sus primeros efectos suelen ser fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia.

El As está clasificado en el grupo I de sustancias cancerígenas por la (International Agency for Research on Cancer) IARC. Los tipos de cáncer afectan la piel (basilioma y carcinoma de células escamosas), pulmón (carcinoma broncogénico), hemangiosarcoma hepático, linfoma y cáncer de vejiga, riñón y nasofaringe (Londoño *et al.*, 2016).

Estudios epidemiológicos han descubierto que personas expuestas al As son más propensas a síntomas como: toses frecuentes y disminución de la función pulmonar. La exposición también se asocia con un aumento de la mortalidad del cáncer de pulmón, las bronquiectasias y la tuberculosis, así como la disminución de la función pulmonar y el aumento de la susceptibilidad a las infecciones de las vías respiratorias inferiores (Jochem *et al.*, 2016).

Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso de descontaminación empleado por las plantas, incluidas las hierbas, los arbustos y los árboles y que en conjunto con microorganismos ayudan a restaurar el medio ambiente (suelo, agua y aire) mediante procesos de degradación, acumulación y estabilización de contaminantes (Shah & Daverey, 2020). Es una tecnología verde con el potencial de eliminación de contaminantes (metales pesados, contaminantes orgánicos, contaminantes radiactivos, compuestos derivados del petróleo, pesticidas, entre otros) del suelo minimizando la generación de residuos secundarios (ej: metabolitos) (Nejad *et al.*, 2018).

Además, estudios previos han demostrado que la fitorremediación posee una buena adaptabilidad ambiental y podría usarse en relaves de minería, suelos agrícolas y terrenos industriales (Lin *et al.*, 2020). La fitorremediación cada vez más va adquiriendo popularidad en las agencias gubernamentales e industrias debido a la eficiencia y la rentabilidad en su implementación ya que, presenta una financiación o inversión baja (Hu *et al.*, 2020).

En el proceso de fitorremediación se puede aplicar los siguientes mecanismos: fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración, fitoestimulación, fitodegradación y fitovolatilización

7.1.8. Fito-extracción

Una de las formas de extraer contaminantes es por la fitoextracción, esta se vale de especies de plantas hiperacumuladoras para llevar a cabo la absorción de contaminantes ambientales, transporte / translocación y concentración en la biomasa de los órganos colectores. (Teófilo *et al.*, 2020)

La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. El primer paso para la aplicación de esta técnica es la selección de las especies de planta más adecuada para los metales presentes y las características del emplazamiento. Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. La fitoacumulación se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables (Ghori *et al.*, 2016). En la Figura 2 se observa el mecanismo por el cual las plantas absorben y almacenan contaminantes.

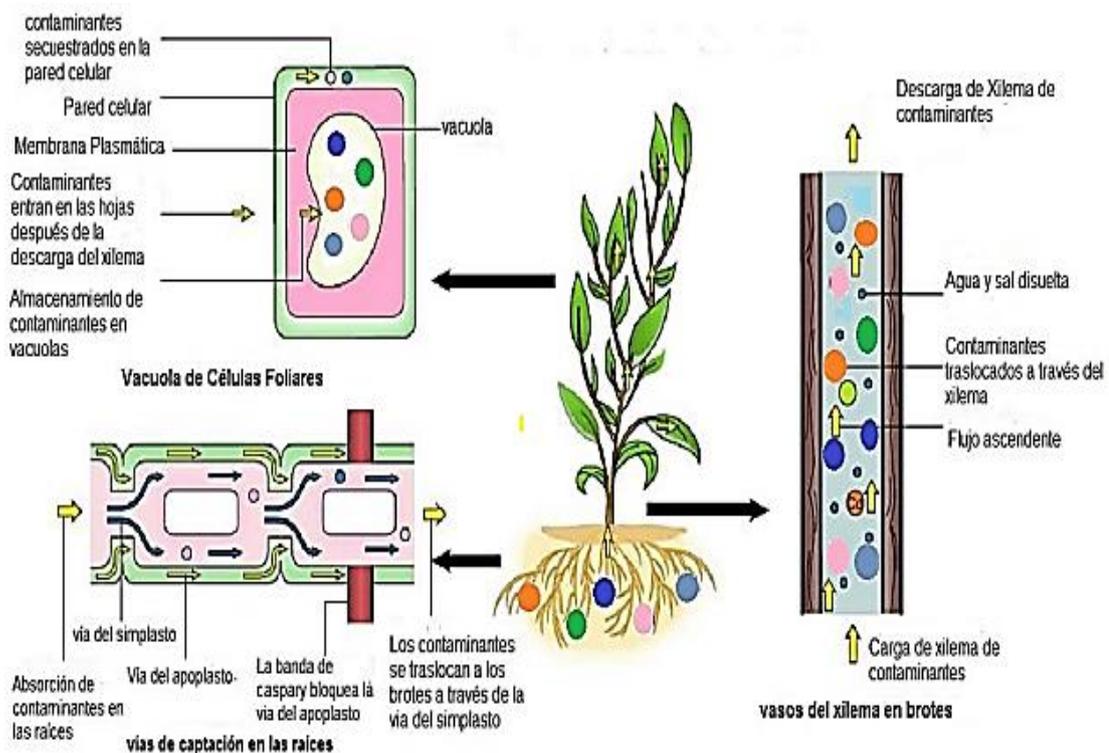


Figura 2. Mecanismo de absorción y almacenamiento de los contaminantes en la planta.

Fuente: (Ghori *et al.*, 2016)

Las posibles rutas de absorción podrían ser a través de los mecanismos de tolerancia que varían entre las distintas especies y estos son determinados por el tipo de metal, eficiencia de absorción, translocación y secuestro (Navarro *et al.*, 2007). Las fases del proceso por el cual la planta incorpora y acumula metales pesados es la siguiente:

En la primera etapa inicia con el transporte de los metales pesado al interior de la planta y después al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico.

El sistema radicular posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interaccionan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica.

Una vez dentro de la planta, comienza una segunda etapa, donde las especies metálicas son secuestradas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas están los ácidos orgánicos (ácidos cítricos, oxálicos y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos, fitoquelatinas y metaloteínas. Las fitoquelatinas son ligandos de alta afinidad que tiene como sustrato al glutatión, Están constituidas básicamente por 3 aminoácidos; ácido glutámico, cisteína y glicina, unida por enlaces péptidos.

Las metalotioneínas son polipéptidos de cerca 75 aminoácidos con un alto contenido de cistina capaz de formar complejos con cationes mediante el grupo sulfidrilo teniendo una marcada afinidad por las formas iónicas de Zn, Cd, Hg y Cu. Para finalizar la tercera etapa involucra la compartimentación y detoxificación, proceso por los cuales el complejo ligando – metal queda retenido en la vacuola (Delgadillo-López *et al.*, 2011; Gallegos, 2017).

7.1.9. Fito-estabilización

La fitoestabilización es un proceso en el que se utilizan plantas tolerantes a la contaminación para reducir la movilidad de los contaminantes, reduciendo así el riesgo de más problemas ambientales; las especies de plantas usadas inmovilizan los contaminantes en la rizosfera por: (i) sorción (en las superficies de las raíces), (ii) precipitación (formas menos solubles), (iii) complejación (ligandos orgánicos) y (iv) acumulación de contaminantes en sus tejidos radiculares, en conclusión la fitoestabilización tiene como objetivo inmovilizar contaminantes a nivel de la rizosfera utilizando el sistema de raíces de plantas adaptadas (Teodoro *et al.*, 2020).

La fitoestabilización requiere la implementación de plantas adaptadas con sistemas radiculares extensos para crear una capa vegetativa estable que no acumule contaminantes en los tejidos de

la superficie, disminuyendo el riesgo de trasladar contaminantes hacia la cadena alimentaria (Teodoro *et al.*, 2020).

La fitoestabilización inmoviliza el suelo con raíces de plantas para reducir el intercambio del suelo del sitio, debido factores como la erosión hídrica y eólica, por lo que el objetivo de la fitoestabilización es evitar que el contaminante se difunda fuera del sitio: además, el sistema de raíces también reduce la percolación de agua por medio del suelo que podría filtrar con ella los elementos del suelo (Wetle *et al.*, 2020).

7.1.10. Rizo-filtración

La rizofiltración es un método eficaz de fitorremediación que se basa en la utilización de raíces de plantas para adsorber y secuestrar contaminantes tóxicos de las superficies de tierras o aguas subterráneas contaminadas, en lugar de suelo, las plantas crecen en cultivos hidropónicos, resaltando que la rizofiltración comprende la absorción y la adsorción en las raíces de las plantas, de los contaminantes que se encuentran en la solución que rodea la zona de las raíces (rizosfera) (Tiwari *et al.*, 2019).

Este mecanismo utiliza el sistema radicular de las plantas para eliminar los contaminantes del agua (Wetle *et al.*, 2020), por lo tanto, una ventaja adicional de la rizofiltración es la capacidad de utilizar plantas tanto acuáticas como terrestres, ya sea *ex situ* o *in situ* (Tiwari *et al.*, 2019), los cuales tienen la capacidad de tener un alta tasa de crecimiento y de longitud llevando a cabo la absorción, concentración y precipitación del contaminante.

7.1.11. Fito-estimulación o rizodegradación

La rizodegradación permite la degradación de contaminantes orgánicos en la rizosfera a través de microorganismos rizosféricos, además la Fitoestimulación o también llamada Rizodegradación implica una interacción continua entre plantas y microorganismos (Ifon *et al.*, 2019). La degradación describe la descomposición de un compuesto en sus componentes más pequeños o su conversión en un metabolito, siendo la rizodegradación una de las etapas más importantes en el proceso de remediación de contaminantes orgánicos (Ilker & Dogan, 2015).

La raíz de la planta es capaz de formar una relación con la flora microbiana del suelo y esta relación es de gran ayuda para las plantas, ya que obtienen una mayor tolerancia a los factores bióticos y abióticos (Singh & Trivedi, 2017). La raíz secreta exudados (sustancias nutritivas) que los microbios pueden aprovechar para prevenir un ataque patógeno y esta asociación se denomina mutualismo, estos exudados tienden a atraer a los microbios a medida que se mueven

en la dirección de una mayor concentración de nutrientes llamada quimiotaxis; los microbios pueden situarse cerca de la raíz o también pueden estar dentro de los tejidos de las plantas como endófitos sin afectar a la planta huésped (Saravanan *et al.*, 2020).

7.1.12. Fito degradación

Las plantas sintetizan enzimas y estas pueden metabolizar ciertas sustancias tóxicas a otras más simples e inofensivas; este proceso se le conoce como fitodegradación. Por lo regular las enzimas utilizadas en el proceso de fitodegradación son reductasas, oxidasas, peroxidasas, etc (Saravanan *et al.*, 2020). Desde el punto de vista de (Ertan, 2020) la fitodegradación, que también se conoce como fitotransformación, es la descomposición de los contaminantes absorbidos por las plantas a través de procesos metabólicos dentro de la planta o la descomposición de los contaminantes que rodean la planta a través del efecto de enzimas producidas por las plantas que catalizan y aceleran la degradación, por ende, los contaminantes orgánicos se descomponen en formas moleculares más simples y se incorporan a los tejidos vegetales para ayudar al crecimiento de las plantas.

En esta técnica, la planta promueve dos tipos de procesos metabólicos: internos y externos, involucrando dos tipos de mecanismos para la degradación o descomposición de contaminantes orgánicos como lo son la actividad enzimática de las plantas y la oxidación fotosintética. En el proceso externo la planta absorbe los contaminantes y los hidroliza en unidades más pequeñas, mientras que en el proceso metabólico interno los contaminantes se utilizan como metabolitos, pueden ser utilizados por las plantas o puede descomponerlos en pequeños fragmentos (Jeevanantham *et al.*, 2019).

7.1.13. Fitovolatilización

La fitovolatilización es un proceso en el que las plantas absorben los contaminantes del suelo y los liberan en forma volátil a la atmósfera a través de la transpiración; el proceso ocurre cuando las plantas en crecimiento absorben agua y contaminantes orgánicos solubles (Ertan, 2020). En otro orden de ideas, en la fitovolatilización la planta absorbe el contaminante y luego lo convierte en vapor o en forma gaseosa (Wetle *et al.*, 2020).

La fitovolatilización puede darse en dos formas diferentes: (i) fitovolatilización directa y (ii) fitovolatilización indirecta. La primera es la forma más sutil y mayormente estudiada, como consecuencia de la absorción y translocación de contaminantes por las plantas y lo que en ocasiones conduce a la volatilización del compuesto del tallo / tronco y las hojas. La segunda

forma a menudo difiere de la segregación, puesto que muchos compuestos fitovolatilizados son moderadamente hidrófobos, capaces de dispersarse mediante barreras hidrófobas como la cutina en la epidermis o la suberina en los tejidos dérmicos leñosos; la fitovolatilización indirecta es el aumento de la afluencia de contaminantes volátiles del subsuelo como resultado de las actividades radiculares de las plantas (Limmer & Burken, 2016).

7.1.14. Especies utilizadas en la fitorremediación

Con base en sus formas de vida, para Nuñez *et al.*, (2004) las plantas utilizadas en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos:

- Emergentes: la raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta. Ejemplos: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagittaria latifolia*) tule (*Thypa dominguensis*) y Achira (*Canna indica*).
- Flotantes: se subdividen en dos grupos:
 - a) Plantas de libre flotación (no fijas): sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia minima*) y Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanoides*).
 - b) Plantas de hoja flotante (fijas): tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos. Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphaoides fallax*).
- Sumergidas: se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua. Ejemplos: bejuquillo (*Cerathophyllum demer sum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

Para la selección de las plantas se debe tomar en cuenta algunos criterios para la eficiencia de la remoción de los contaminantes, dependerá del tipo de metal que se desea remover, el desarrollo de las plantas y la estacionalidad en la que se encuentra. Por ello (Nuñez *et al.*, 2004) menciona que las plantas a utilizar deben tener las siguientes características:

- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales.

- Ser acumuladoras de metales.
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Ser fácilmente cosechables.

Entre diversas opciones potenciales destaca el sistema hidropónico Vetiver, según afirma (Ghosh & Sarkar, 2021), el sistema es el más eficaz en el tratamiento de aguas residuales contaminadas, incluidas granjas de cerdos, granjas lecheras, una fábrica de azúcar, fábricas textiles, curtiembres, efluentes de aguas residuales de la planta municipal a la fosa séptica, río y agua del lago; que otras macrófitas de uso común.

Sistema Fitorremediador (IFAs)

7.1.15. Historia de las IFAs

El sistema integral de islas flotantes (IFAs), inicio como tecnología de purificación de agua por eutrofización, hace casi 40 años. Esta tecnología ha resultado muy eficaz para la purificación y restauración ecológica ampliamente utilizada en ríos, lagos y embalses.

En el extranjero, en 1979, la empresa alemana BESTMAN estableció la primera isla flotante artificial para el tratamiento del agua. Al mismo tiempo, Japón utilizó un gran número de islas flotantes artificiales para reparar la eutrofización del agua en el lago Biwako. Poco a poco, la tecnología de las islas flotantes artificiales se ha popularizado en Alemania, China, Estados Unidos, India, España, Reino Unido Corea del Sur y otros países. (Yang *et al.*, 2021)

En el Ecuador hace algunos años se ha implementado el sistema IFAs, apenas cuenta con estudios en etapa experimental y solo pocos han sido implementados a escala real, un estudio que se puede mencionar es el implementado dentro de un reservorio ubicado en el sector de Chilla Grande dentro de la provincia de Cotopaxi.

7.1.16. Aplicación

La tecnología de islas flotantes artificiales (IFAs), es una variación de los sistemas de tratamiento de humedales. Se han utilizado principalmente para mejorar la calidad del agua. “Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material orgánico, oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química” (Santillán,Lara, 2020)

Las principales aplicaciones del sistema IFAs para mejorar la calidad de aguas han sido implementadas para el tratamiento de: ríos, aguas pluviales, aguas residuales industriales, efluentes ganaderos; entorno acuicultura y agricultura. (Chang *et al.*, 2017)

7.1.17. Materiales, estructura y diseño de la isla flotante

La estructura y diseño del sistema IFAs deberá ser planteado de acuerdo a la naturaleza de los materiales seleccionados, además del material vegetal que se va colocar dentro de la isla para garantizar su correcto funcionamiento.

En el diseño de la isla flotante se emplearon dos componentes: la estructura flotante y la vegetación. La estructura flotante está compuesta por un marco octogonal de tubos PVC de 0.5 pulgadas, sobre el cual se instala una malla plástica de 1 cm de apertura y botellas plásticas reciclables de 2 L con tapa. La parte basal de las plantas reposa entre la malla plástica y la fibra de coco. Las botellas plásticas garantizan que la estructura permanezca flotando y se ubican debajo de la estructura de PVC. La parte aérea de las plantas sobresale por encima de la fibra vegetal y las raíces se extienden por debajo de la estructura flotante hacia el fondo del cuerpo de agua. (Martínez & López, 2018).

7.1.18. Funcionamiento

El Sistema de Islas Flotantes Artificiales son Fito tecnologías que se destacan por la efectividad, facilidad en la instalación y mantenimiento (Oliveira *et al.*, 2021), por otra parte la eficiencia del tratamiento depende de distintos factores, el tamaño del sistema, las concentraciones de contaminantes de entrada, las condiciones climáticas, el índice de cobertura (Lucke *et al.*, 2019). Otro factor importante es el sistema hidráulico IFAs, que determina la cantidad de afluencia en la zona radicular y el tiempo de residencia, lo que tiene un gran impacto en el tratamiento (Nuruzzaman *et al.*, 2021).

Probablemente si existe un incremento en la temperatura del cuerpo de agua, mayor será el crecimiento y tasa de absorción de los contaminantes y a la vez aumenta la tasa de eficiencia de los IFAs. Sin embargo, un incremento en la precipitación podría disminuir la eficiencia de los IFAs debido a tiempos de retención hidráulica más cortos y más contaminantes presentes en las partículas, no en la forma disuelta (Bi *et al.*, 2019).

Para Bhattacharya *et al.*, (2015) dentro del sistema participan los siguientes actores:

- Sustrato: Es un medio de conexión entre el agua y la planta, permite la fijación de la población microbiana que va a participar en los procesos de eliminación de los contaminantes.
- Vegetación (macrófitas): Contribuye a la oxigenación del sustrato y eliminación de nutrientes.
- Agua del reservorio: Esta en contacto con el sustrato y la vegetación.

Eliminación de los principales contaminantes presentes en el agua a tratar mediante la implementación del sistema IFAs:

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.
- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes, principalmente bacterias.
- Eliminación de metales pesados como: As, Cd, Zn, Cu, Cr, Hg, Se, Pb, etc.
- Eliminación de nutrientes como el N y P, mediante mecanismos de nitrificación, desnitrificación y precipitación.

7.1.19. Ventajas de las islas flotantes

Las ventajas del sistema a implementar son varios y van desde su protección a los recursos como agua y suelo, hasta la naturaleza de los materiales que pueden ser reciclables y duraderos causando un bajo impacto al ambiente.

Presentan grandes ventajas técnicas, económicas, sociales y estéticas sobre tratamientos convencionales de aguas residuales, ya que permiten lograr una buena calidad del agua tratada conforme a la normatividad vigente y apta para ser usada en el riego agrícola. Los costos de implementación, operación y mantenimiento, en comparación con los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales son menores, pues tienen una vida útil de 25 años y sus requerimientos energéticos de operación son mínimos, dado que la conducción del agua al sistema es prácticamente por gravedad. (Arteaga-Cortez *et al.*, 2019)

El sistema IFAs es un método accesible para remediar aguas residuales, que no requieren de campos experimentales o instrumentos específicamente diseñados logrando ahorrar hasta el 80% de la energía del proceso y el 50% de los insumos materiales. Son sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, ya que pueden proporcionar una remediación a largo plazo y una degradación de los contaminantes con una intervención ambiental mínima. Otras ventajas son

su capacidad de hacer frente a las variaciones del nivel del agua, sus valores estéticos y la provisión de hábitats para invertebrados, peces y aves (Chang *et al.*, 2017).

Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

7.1.20. Taxonomía

La planta Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), “es una planta perenne nativa de la India, perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae). Esta planta presenta alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelos y climas, siendo cultivada en más de cien países, principalmente en regiones tropicales”(Campos, 2017).

Tabla 4. Taxonomía *Chrysopogon zizanioides*

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Liliidae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Subfamilia	<i>Panicoideae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Género	<i>Chrysopogon</i>
Especie	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L)

Fuente: (Campos, 2017)

7.1.21. Características morfológicas

Este tipo de características serán las que describan el modo de propagación de la especie, crecimiento y el desarrollo que constituyen a la planta. Figura 3



Figura 3 Especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

Fuente: (Lal *et al.*, 2020)

Las características morfológicas de esta especie para Siñan, (2012) son las siguientes:

- ✓ No tiene estolones ni rizomas funcionales.
- ✓ Su sistema de raíces finas y compactas crece muy rápido, en algunas aplicaciones puede alcanzar entre 3 y 4 metros de profundidad en el primer año.
- ✓ Tallos firmes y erguidos, que pueden soportar flujos de agua relativamente profundos.
- ✓ Muy resistente a plagas, enfermedades y al fuego
- ✓ Forma una barrera densa cuando es plantado a corta distancia actuando como un filtro muy efectivo de los sedimentos y como un dispersor del agua de escorrentía.
- ✓ Nuevos brotes se forman desde la corona subterránea haciendo al vetiver resistente al fuego, heladas, tráfico y alta presión de pastoreo.
- ✓ Al ser enterrado por los sedimentos, crecen nuevas raíces desde los nudos, creciendo hacia arriba con los sedimentos depositados formando eventualmente terrazas.

7.1.22. Características fisiológicas

Las características fisiológicas de la especie ayudan a determinar las funciones o límites de adaptación a ciertas condiciones adversas en los que la planta pueda subsistir.

Para (Siñan, 2012) las características fisiológicas de la especie son:

- ✓ Posee el camino fotosintético, manteniendo tasas fotosintéticas altas bajo condiciones de déficits de agua, que detendrían la fotosíntesis de otras plantas.
- ✓ Tolerancia a variaciones climáticas extremas como sequía prolongada, inundaciones, sumersión y temperaturas extremas de -15 °C a +55 °C.
- ✓ Habilidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectado por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones adversas.
- ✓ Tolerancia a un amplio rango de pH desde 3.3 a 12.5 sin enmiendas del suelo.
- ✓ Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas.
- ✓ Alta eficiencia en absorber nutrientes tales como N, P y metales pesados en aguas contaminadas.
- ✓ Muy tolerante a medios de crecimiento altos en acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad.
- ✓ Alta tolerancia de Al, Mn y metales pesados tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en los suelos.
- ✓ Especie intolerante a la sombra, que reduce su crecimiento; después del establecimiento puede aguantar niveles de sombra hasta el 50%.

7.1.23. Desarrollo de la especie

La especie que se va utilizar dentro del sistema, deberá ser seleccionada respecto a su desarrollo y adaptación dentro del medio acuático a instalar. “Las raíces de la especie Vetiver crecen muy rápido, poseen rizomas cortos, crecen a profundidad como mucho 4 metros y esto hace que la planta sea extremadamente tolerante a la sequía”(Hammam *et al.*, 2019).

El crecimiento del vetiver es muy rápido una vez plantado, puede llegar a 2 m de altura y con raíces de 1 m de largo en 6 meses, la madurez se presenta a los 18-24 meses con raíces hasta de 4 m; puede llegar a vivir más de 50 años. El sistema radicular es muy fuerte desarrollándose verticalmente hasta una profundidad de 4 m, aunque es importante resaltar que lo más frecuente es de 2 m o 3 m, se extienden alrededor de la planta solo 0.5 m aproximadamente. Las hojas son sencillas, largas y rígidas con una medida de 0.3 m – 1 m de largo y 4-10 mm de ancho, el vetiver puede alcanzar una altura de 2 m. Las raíces se desarrollan menos en medio acuático, sin embargo, presentan una masa densa de raíces finas con un diámetro promedio de 0.5-1mm. La rizósfera ofrece de esta manera una superficie específica (m^2 /m^3) grande para el establecimiento de una masa microbiana activa. Los principales cultivares estériles de desarrollo rápido son: Vallonia (Sudáfrica), Monto (Australia), Sunshine (Estados Unidos) y Guiyang (China) (Rivera, 2018).

7.1.24. Usos del vetiver

Los usos de la especie eran desconocidos antes de los años 80, pero tras comenzar a recomendarlo Grimshaw a través del Banco Mundial “el uso de este pasto en técnicas de bioingeniería para estabilización de taludes, de carreteras se ha hecho por más de medio siglo en sitios como las islas Mauricio, el Caribe, Fiji entre otros” (Muñoz, 2016).

La especie *C. zizanioides* es considerada una planta eficaz para la fitorremediación por sus propiedades fisiológicas y morfológicas. Estableciendo según (Davamani *et al.*, 2021), el sistema de tratamiento junto con la especie vetiver ofrece un futuro prometedor para desarrollar una metodología sostenible y rentable para la desintoxicación de contaminantes en aguas residuales. Varios estudios indican (Masinire *et al.*, 2021), la posibilidad de utilizar el vetiver en la extracción del metal y recuperación del recurso para su reutilización.

Según los resultados de la tasa de supervivencia en un estudio realizado por Rivera (2018) se encontró que el Vetiver es una planta viable y de fácil manejo la cual puede ser utilizada como método de fitorremediación.

Entre los usos reconocidos a nivel mundial según (Ramirez, 2018) están:

- Barrera contra erosión
- Delimitación de áreas.
- Estabilización de taludes.
- Protección y delimitación de vías y caminos.
- Tratamientos de aguas residuales.
- Hojas para cubrir suelo para control de malezas.
- Control de sedimentos.
- Barrera anti contaminación ambiental.
- Formación de bancales vivos y naturales.
- Cortavientos.

Achira (*Canna indica*)

7.1.25. Taxonomía

La achira (*Canna indica*) pertenece a “la familia Cannaceae. Fue clasificada como *Canna indica* por Lineo en 1753. Es una especie originaria de la zona andina, cuyo vocablo es de origen quechua. Probablemente fue domesticada en la zona andina, desde Colombia hasta Ecuador, con una rápida dispersión desde México hasta el norte de Chile” (Lobo-Arias *et al.*, 2016).

Tabla 5. Taxonomía *Canna indica*.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Cannaceae</i>
Género	<i>Canna</i>
Especie	<i>Canna indica</i> L.

Fuente: (Ciciarelli, 2017)

7.1.26. Características morfológicas

Se describen los modos de propagación de la especie y las características que constituyen a la planta. (Figura 4).



Figura 4. Especie Achira (*Canna indica*)

Fuente: (Rivera, 2020)

Las características morfológicas de la especie para Bautista *et al.*, (2017) son las siguientes:

- ✓ Posee una altura de 0.8-1.5 m, pero hay variedades que llegan a 3 m.
- ✓ Sus hojas son grandes, oblongas, de color verde, púrpura, rojizo o variado.
- ✓ Las flores se agrupan en inflorescencias de colores rojizo, naranja, amarillo o rosa. Su Floración es en el verano hasta bien avanzado el otoño.
- ✓ Es una planta con tallos erectos que suele emplearse en el jardín para formar bellos grupos aislados. Esta planta está presente en multitud de jardines por su magnífico follaje de vivos colores, así como por sus bellas flores, que recuerdan a las del gladiolo.
- ✓ Se propaga por división de los rizomas en primavera, al cabo de 4 o 5 años, se pueden dividir los rizomas y obtener nuevas plantas. Las semillas no siempre dan individuos con los buenos caracteres de la variedad. Debido a su dureza, las semillas deben ponerse a remojo 24 o 48 horas antes de plantarlas.
- ✓ Los brotes o yemas son producidos en las axilas de las escamas de los rizomas ordinariamente se desarrollan hasta tres brotes sobre los rizomas.

7.1.27. Características fisiológicas

Estas características son aquellas que determinan las funciones o límites de adaptación a ciertas condiciones hostiles en los que la planta pueda persistir.

Para (Ortega *et al.*, 2020) las características fisiológicas de la especie son:

- ✓ La planta de achira se ve poco afectada por los cambios de clima, siempre que el suelo sea fértil y bueno
- ✓ Esta planta se adapta a un rango de precipitación de los 240 a los 4000 mm anuales.

- ✓ La achira crece mejor con lluvias distribuidas y moderadas, aunque sus rizomas pueden soportar períodos de inundación e incluso de sequía.
- ✓ La planta de Achira crece mejor entre los 18 y 24 °C, sin embargo, puede cultivarse entre los 16 – 32 °C. Por debajo de esta temperatura, el granizo y la helada ocasionan graves daños al cultivo, en cambio por encima de los 32 °C se acelera la pérdida de agua y no hay acumulación de carbohidratos en el cormo.
- ✓ La planta puede propagarse vegetativamente por rizomas o cormos, o por semilla sexual, siendo más común el primer método por ser mucho más rápido.

7.1.28. Desarrollo de la especie

De acuerdo con Rivera, (2020) la especie tiene un crecimiento a partir de los esquejes de rizomas, mismos que se convierten en plantas cosechables en 6 - 8 meses después de la siembra. En las regiones tropicales, la floración comienza unos meses después de la siembra y las flores continúan apareciendo mientras la planta viva. En regiones donde se puede esperar escarcha, los rizomas deben levantarse e hibernarse a aproximadamente 7 °C. Un rizoma se considera maduro cuando la hendidura triangular en la hoja de la escala exterior del rizoma se ha vuelto.

7.1.29. Usos de la Achira

La especie *Canna indica* es considerada una planta eficaz para la fitorremediación por sus propiedades fisiológicas y morfológicas. Para Cheng *et al.*, (2007) es una especie de las *Cannaceae* con alta resistencia al estrés por presencia de metales pesados así como un alto potencial para su degradación.

Un estudio de Aguiar & Castillo (2019) señala la posibilidad de utilizar la especie vegetativa Achira para la depuración de cuerpos hídricos y por consecuencia mejorar la calidad de agua. Además la achira según (Caguana, 2018), presenta otros usos, en la alimentación humana, animal y para la producción de almidón industrial y la preparación de fideos.

- ✓ Se cultiva principalmente por sus cormos o rizomas, que son de importancia para la alimentación humana y la agroindustria.
- ✓ El almidón es de fácil digestión y la harina se usa para fabricar panes, bizcochos, galletas, tortas tallarines y fideos.
- ✓ Los cormos de la achira se comen también asados o cocidos. En decocción las raíces se usan como diurético y las hojas como cicatrizante; el jugo de estas como antiséptico.

- ✓ Las hojas recién cortadas se usaban, y probablemente todavía se usan sobre las quemaduras para refrescar y disipar el calor de la piel quemada. También se les utiliza como un tipo de empaque natural para envolver comidas típicas como los tamales
- ✓ Las semillas se utilizan para confeccionar collares y sonajeros o maracas.

8. NORMATIVA LEGAL

Se revisó la legislación del Ecuador para poder sustentarse en leyes que permiten, el cuidado, conservación, rehabilitación del medio natural (agua, suelo o aire) que se encuentra contaminado. Estas leyes son las más actuales con las que se rige el Ecuador.

La Constitución de la República del Ecuador es la normativa fundamental considerada la carta magna con su última modificación en el año 2018. En la Sección Segunda, Ambiente Sano, en sus artículos 14 y 15 “reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado; además que, el Estado promoverá, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”. Al igual que en su artículo 66, numeral 27 el cual se reconoce y garantizará a las personas: El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Debido a la contaminación natural y antropogénica el estado ampara y protege a la naturaleza y a la vez se deberá aplicar medidas de precaución, restauración y restricción antes las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales, descrito en el capítulo séptimo, en sus artículos 71, 72, 73 y 83 de la Constitución de la República del Ecuador. Así como en sus artículos 276, 395, 396 y 411 que buscan recuperar y conservar la naturaleza, garantizando un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, además que se adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos.

Por tal motivo en la Constitución de la República del Ecuador en el Art. 263, establece que los gobiernos provinciales tendrán la competencia exclusiva de planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego en óptimas condiciones. Así como, los gobiernos autónomos descentralizados deben cumplir con ciertas facultades en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes establecidos en el Código Orgánico del Ambiente en su Art. 26, numeral 8, el cual deben controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido, de igual manera en su Art. 191 que deberán realizar el monitoreo y seguimiento de la calidad del

aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto, en coordinación con las demás autoridades competentes.

Una vez realizado los monitoreos necesarios para determinar la calidad de aguas de uso agrícola o de riego se debe comparar los resultados con lo establecido en los límites máximos permisibles (LMP) de As dentro de los criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias se encuentran en la Tabla 3 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A referente a Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. “Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos”(Núñez, 2015).

9. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Las especies utilizadas en el proceso de fitorremediación son una alternativa viable para la descontaminación de aguas contaminadas con arsénico?

Existen diferentes tipos de tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, sin embargo, son generalmente costosas, por lo mismo se han desarrollado tecnologías alternativas como la fitorremediación que involucra el uso de plantas para la remoción de metales pesados. En base a lo anterior nos enfocamos en la Fitorremediación de metales pesados como el As y Fe presentes en el agua, mediante la utilización de especies vegetales como Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*).

Las concentraciones nos permitieron conocer la cantidad de As que se encuentran en cada órgano de las especies durante la investigación. La especie Pasto vetiver en el reservorio “QT”, presento los siguientes resultados al finalizar la investigación: la raíz absorbió 292.18 mg/kg, el tallo 19.63 mg/kg de As, las hojas 301.22 mg/kg de As y los brotes 545.84 mg/kg de As. Mientras tanto, la especie Achira del reservorio “QT” presentó los siguientes valores: la raíz absorbió 148.02 mg/kg, el tallo 105.29 mg/kg de As, las hojas 489.79 mg/kg de As y los brotes 297.66 mg/kg de As.

Finalmente, en el reservorio “TS” la especie Pasto vetiver presento las siguientes concentraciones de As al finalizar la investigación: en las raíces 204.06 mg/kg de As siendo este órgano el principal en adsorber este metal, en el tallo 17.63 mg/kg de As, en las hojas 23.09 mg/kg de As y en los brotes 87.71 mg/kg de As. Concluyendo que las dos especies son idóneas

para absorber y adsorber As en su morfología y a la vez tienen una alta capacidad fitorremediadora en aguas contaminadas con As y Fe.

10.METODOLOGÍAS (TÉCNICAS, MÉTODOS INSTRUMENTOS)

Tipos de investigación

10.1.1. Investigación Descriptiva

En este tipo de investigación se estableció el área de estudio de los reservorios de la Quebrada de Tiliche “QT” y Tiliche San José Bajo “TS”, pertenecientes al proyecto de riego de Tiliche San José, ubicados en la Comuna de Planchaloma y Cuicuno respectivamente. Los reservorios están situados en la parroquia Toacaso, del Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi - Zona 3, la misma que es utilizada por la comunidad de Tiliche San José para las actividades de la agricultura y ganadería.

10.1.2. Investigación de Campo

Las investigadoras por medio de las distintas visitas *in situ* en el proyecto de riego Tiliche San José, se determinó mediante estudios realizados, de forma visual y a través de entrevistas a los pobladores de la comunidad, colocar el sistema integral IFAs con las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*), las cuales se ubicaron en los reservorios “QT” y “TS”.

10.1.3. Investigación Analítica

Este tipo de investigación permitió a los investigadores analizar e interpretar los resultados obtenidos del Laboratorio de Investigación de la Universidad de las Américas UDLA, mediante la ecuación del factor de bioconcentración y el factor de translocación, a través de, tablas y gráficos realizados en el programa Excel con los datos adquiridos.

10.1.4. Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación facilitó a los investigadores recopilar información de diferentes fuentes como: Base de datos, Artículos Científicos, Libros, Tesis, Informes técnicos, PDYOT de Latacunga y de la parroquia de Toacaso.

Técnicas

Para la ejecución del proyecto de investigación se utilizaron las siguientes técnicas:

10.1.5. Observación directa

En la presente investigación, a través de la observación directa se identificó la zona de estudio para la implementación de las especies *Chrysopogon zizanioides* y *Canna indica* en el reservorio de la Quebrada de Tiliche “QT” mientras tanto para el reservorio de Tiliche San José Bajo “TS” se implementó la especie *Chrysopogon zizanioides*, además se pudo verificar los cambios físicos de las especies en su etapa de crecimiento.

10.1.6. Monitoreo

Se realizó 3 muestreos morfológicos de la especie Pasto vetiver para evaluar la acumulación As y Fe, el primer muestreo se realizó previo a la instalación del sistema fitorremediador, el segundo muestreo 89 días después del sistema implementado y el muestreo final a los 108 días después de su instalación (final de la investigación), tanto para la raíz, tallo, hojas y brotes. Con ello se obtuvo el factor de bioconcentración y el factor de translocación.

En el caso de la especie achira se realizó 3 muestreos morfológicos, tanto para la raíz, tallo, hojas y brotes. El primer muestreo se realizó previo a la instalación del sistema fitorremediador (muestreo inicial), el segundo muestreo 89 días después del sistema implementado (60 días de operación en el proyecto) y el muestreo final a los 108 días instalado el sistema fitorremediador (78 días).

Herramientas

Para la digitación de los resultados, se utilizó las herramientas Microsoft Excel, Software ArcMap 10.5 y AutoCad.

10.1.7. Microsoft Excel

Este programa se usó como principal herramienta para el procesamiento de datos de las distintas concentraciones en las especies vegetales, así como para el cálculo del factor de bioconcentración y del factor de translocación de metales.

10.1.8. Software ArcMap 10.5

ArcGIS es un programa que nos ayudó para la creación y delimitación del área de estudio.

10.1.9. Autocad

Es un software que usamos para el diseño de los reservorios propuestos para la implementación y experimentación del sistema fitorremediadora.

Ubicación del sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en los reservorios “QT” y “TS”, pertenecientes al proyecto de riego de Tiliche San José, ubicados en la Comuna de Planchaloma y Cuicuno respectivamente, situados en la parroquia de Toacaso, del Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. La fuente que alimenta a los reservorios se encuentra ubicado en el complejo volcánico y Reserva Ecológica Los Ilinizas, acogándose dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador. (Figura 5) (Tabla 6)

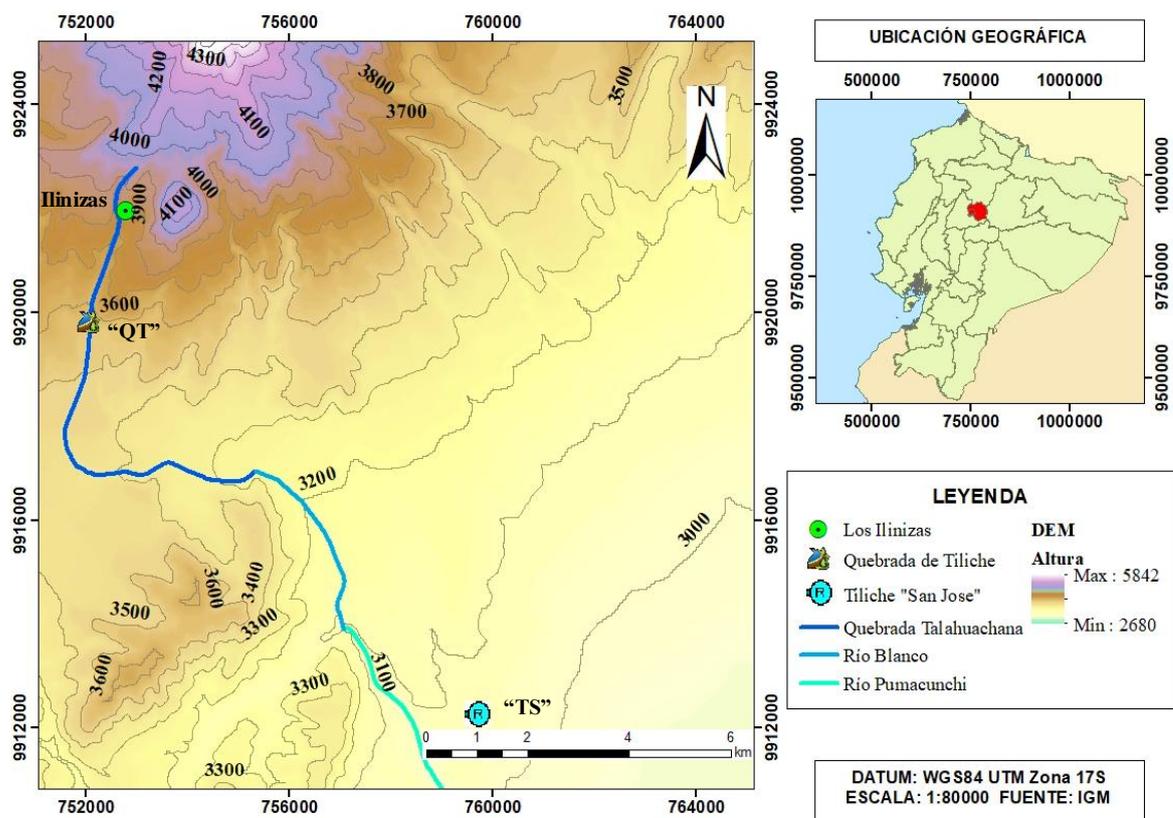


Figura 5. Zona de estudio.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

El clima del área de estudio presenta pocas variantes, principalmente determinadas por la altitud, la influencia de los vientos cálidos del trópico y la proximidad al nevado Los Ilinizas., con temperaturas promedio que oscilan entre los 6 °C a 12 °C y precipitaciones entre los 500 a 750 mililitros anuales esto debido a la presencia de vientos calientes que vienen desde el trópico y la presencia de la niebla. En este lugar encontramos pajonales, chuquiraguas, chochos de monte y pequeñas flores amarillas, plantas adaptadas al frío. El páramo se encuentra sobre los 3700 msnm y se puede identificar varios ecosistemas de páramos; páramo herbáceo, páramo

seco, páramo arbustivo y páramo de almohadillas, la cual corresponde a la clasificación de Bosque Montano Alto Siempre Verde. (Pincha, 2020) (Tabla 6)

Tabla 6. Coordenadas del área de estudio.

COORDENADAS UTM WGS 84 – 17S			
Lugar de Ejecución	X	Y	Z
Reservorio de la Quebrada de Tiliche “QT”	752049.73	9919805.9	3548
Reservorio de Tiliche San José Bajo “TS”	759699.76	9912275.7	3113

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Dimensiones de los Reservorios

El esquema propuesto para la implementación y experimentación del sistema fitorremediadora en el área de estudio, se realizó mediante el software AutoCAD (Figura 9), el mismo que nos permitió realizar los muestreos y conocer el porcentaje de islas que se deben instalar en cada reservorio.

Para determinar el área y volumen final del reservorio se utilizó como instrumento de medida un flexómetro. El reservorio QT” el cual posee una forma rectangular de dimensiones 7.16 m x 9.87 m, una profundidad de 2.54 m y un volumen de 181.25 m³. A diferencia del reservorio “TS” que posee forma trapezoidal, con un área menor de 850.93 m², área mayor de 881.9 m², altura de 2.20 m y un volumen de 1906.02 m³.

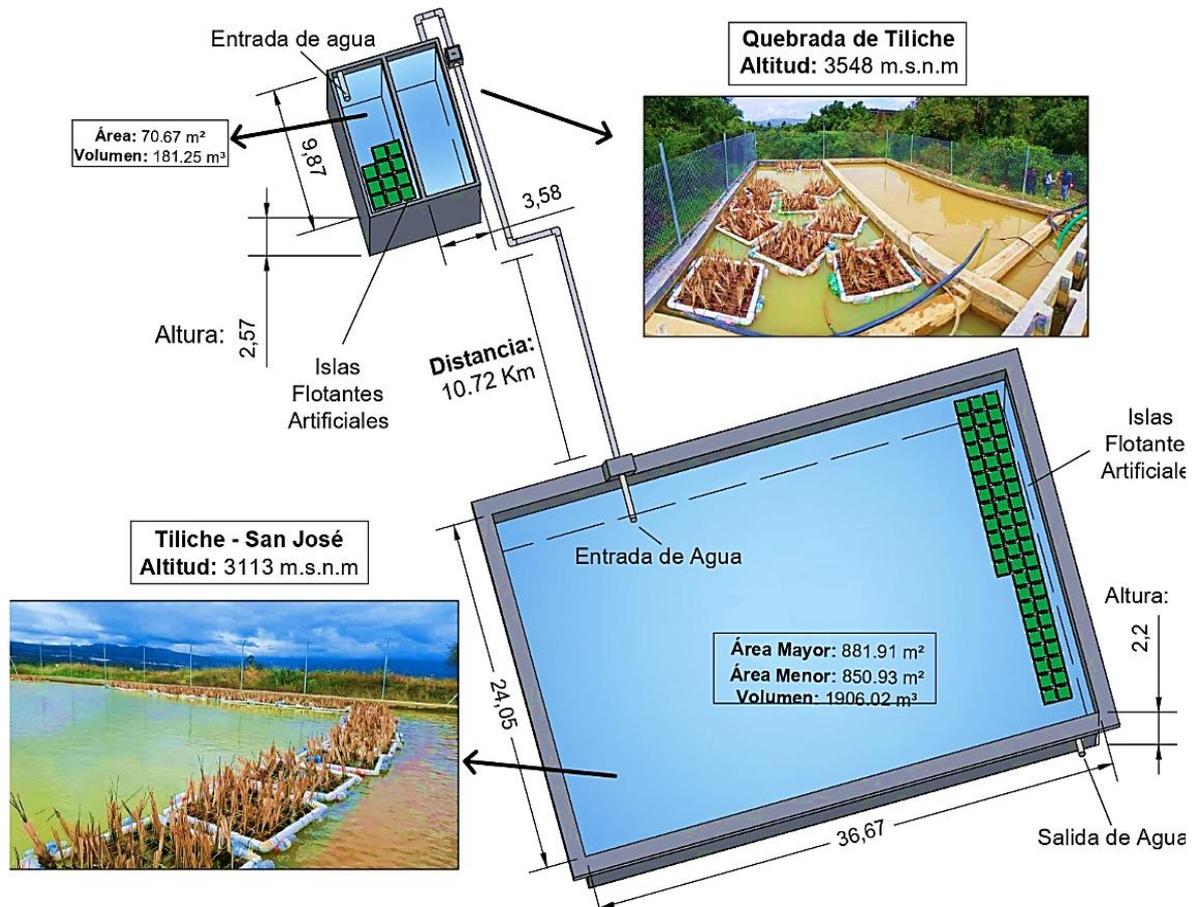


Figura 6. Esquema de los Reservorios del proyecto de riego “Tiliche San José”

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Desarrollo de las especies fitorremediadoras *C. zizanioides* y *C. indica*

Para el evaluar el desarrollo de las especies, se adquirió individuos de la especie *Chrysopogon zizanioides*, con una altura entre 20 a 35 cm y su sistema radicular se encontraba entre 8 a 14 cm de largo. La especie se adquirió en un vivero en el sector “El Limonal” en la vía a San Lorenzo, en las estribaciones occidentales de los Andes en la Provincia de Imbabura, siendo la zona subtropical la misma se encuentra a 954 msnm. Mientras que, para la especie *Canna indica*, se la adquirió con una altura entre 20 a 40 cm y su sistema radicular estaba entre 8 a 15 cm de largo, las mismas que se encontraban ubicadas en el vivero del barrio Santa Bárbara, situada a una altitud de 2805 msnm, perteneciente a la parroquia de San Buenaventura, cantón Latacunga, en la provincia de Cotopaxi.

10.1.10. Ubicación de las especies en el sistema fitorremediador

Se ubicó las plantas en el sistema fitorremediador, de acuerdo al área de cada reservorio por el porcentaje, esto establecido según estudios realizados por (Fonseca Largo *et al.*, 2020; Martínez

& López, 2018; Rocha, 2018) sobre la fitorremediación, los cuales recomiendan poner según el área de estudio por el porcentaje, el cual debe ser mayor al 15% para obtener una mejor absorción de los contaminantes.

En el caso del reservorio “QT” conto con un área de 70.67 m² formando un total de 11 islas el cual ocupo el 15% de total del área del reservorio, mientras que el reservorio “TS” tuvo un área de 881.91 m², en el cual se ubicó un total de 54 islas siendo este el 6.15% del total del reservorio.

10.1.11. Desarrollo de las especies en el sistema fitorremediador

Una vez ejecutado el sistema fitorremediador se desarrolló el proceso de instalación los cuales se ubicaron en los reservorios “QT” y “TS”.

- **Tiempo de desarrollo**

La especie Pasto vetiver se instaló el 30 de mayo del 2022 en el sistema fitorremediador en el reservorio “TS”, el cual, se llevó acabo en un periodo de 108 días (alrededor de 4 meses).

El dual de las especies se evaluó cada 30 días, mediante visitas de campo para su respectivo mantenimiento. Sin embargo, la especie Achira el muestreo se realizó antes de su instalación, posteriormente a 89 días instalado el sistema IFAs (60 días en operación del proyecto) y a los 108 días instalado el sistema fitorremediador (final del proyecto).

- **Evaluación del crecimiento de las especies fitorremediadoras**

Para evaluar el desarrollo de las especies vegetativas en el presente estudio, se realizó mediciones de los siguientes parámetros: altura de la planta; largo de las raíces; cantidad de brotes; y color de hojas. La medición de las especies se realizó al inicio y al final de la investigación.



Figura 7. Esquema de la metodología del crecimiento y evaluación de las especies.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Capacidad de acumulación de arsénico y hierro en las especies vegetativas.

10.1.12. Toma de muestra de raíz de las especies vegetales.

Para determinar el factor de bioconcentración de As y Fe en las especies vegetales Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*), se recolectó muestras de raíz en dos periodos a los 89 días y a los 108 días implementado, a través de un muestreo al azar.

Para el respectivo muestreo se utilizó los siguientes materiales: tijera podadora o tijera de acero inoxidable, papel absorbente, fundas plásticas herméticas, marcador indeleble y caja térmica para la conservación de las muestras. Para un correcto muestreo se tomó en cuenta las siguientes especificaciones:

- El material se encontraba limpio antes de proceder al muestreo y se desinfectó entre cada muestreo.
- Se tomó cuidadosamente de 4 a 5 individuos de cada sistema fitorremediador, conservando el sistema radical.
- Se realizó un corte transversal de 10° a 40° para evitar una posible reacción de hipersensibilidad.
- Luego de obtener la muestra, ésta se envolvió en papel periódico o toallas absorbentes, con la finalidad de retirar el exceso de humedad, debido a que acelera el deterioro de la misma.
- Después, se pesó 25 gramos de las muestras en una balanza, es recomendable tener por lo mínimo 3 gramos.
- Recolectada las distintas muestras del sistema radicular se colocó en fundas plásticas selladas herméticamente.
- Se etiquetó correctamente las muestras para su identificación. La etiqueta de cada muestra tenía su respectivo código, localización, fecha y hora de la toma de muestra, nombre del cliente y/o recolector, marcado de manera clara, legible y con tinta permanente.
- Finalmente, enviamos la muestra al laboratorio dentro de las 48 horas siguientes a la toma de la misma.

10.1.13. Factor de bioconcentración

También conocido como Factor de concentración biológica (BCF) o *Root accumulation factor* (RAF). Según Alderete-Suárez *et al.*, (2019) es la relación entre la acumulación del metal en el agua y la concentración del metal en la raíz de la planta. Se calculó mediante la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el medio (Yoon *et al.*, 2006).

Para determinar el Factor de bioconcentración de los metales en la morfología de las especies Pasto Vetiver y Achira, se calculó al dividir la concentración del metal presente en la especie con la concentración del elemento presente en el agua. Se determinó de acuerdo al método establecido por Munive *et al.*, (2020), se expresa en mg/kg con la siguiente fórmula:

$$BCF_{Raíz} = \frac{(Metal)_{raíz}}{(Metal)_{agua}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

BCF _{Raíz} = Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.

(Metal) _{raíz} = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/kg.

(Metal) _{agua} = Concentración del metal en el agua en mg/kg.

Según los resultados de las concentraciones de las especies se clasificaron de la siguiente manera (Baker, 1981; Calderón, 2017):

- Si el $BCF_{raíz} < 10$ la planta es considerada de bioconcentración baja (excluyente). es decir, tiene una baja adsorción de contaminantes en su raíz.
- Si el $10 < BCF_{raíz} < 100$ la planta es considerada de bioconcentración intermedia (acumuladora), es decir, tiene una adsorción media de contaminantes en su raíz.
- Si el $BCF_{raíz} > 100$ la planta es considerada de bioconcentración alta (hiperacumuladora), es decir, tiene una alta adsorción de contaminantes en su raíz.

Patrón de distribución a los diferentes órganos vegetativos de arsénico y hierro en las especies vegetativas.

10.1.14. Toma de muestras de la parte aérea de las especies vegetales.

Para determinar el factor de translocación de As y Fe en la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*), se recolectó las muestras de los distintos órganos aéreos de las especies, muestreo inicial, a los 89 días y a los 108 días implementado el sistema, a través de un muestreo al azar (aleatorio).

Para el respectivo muestreo se utilizó los siguientes materiales: tijera podadora o tijera de acero inoxidable, papel absorbente, fundas plásticas herméticas, marcador indeleble y caja térmica para la conservación de las muestras. Para un correcto muestreo se tomó en cuenta las siguientes especificaciones:

- El material se encontraba limpio antes de proceder al muestreo y se desinfecto entre cada muestreo.
- Se recolectó con cuidado, las distintas muestras sólidas de la especie (tallos, hojas y brotes). Luego de obtener la muestra, ésta se envolvió en papel periódico o toallas absorbentes, con la finalidad de retirar el exceso de humedad, debido a que acelera el deterioro de la misma.

- Después se pesó 25 gramos de las muestras en una balanza, es recomendable tener por lo mínimo 3 gramos, además se colocó en fundas plásticas selladas herméticamente.
- Posteriormente tomadas las muestras, se preservó en congelación a una temperatura de -20 °C hasta su llegada al laboratorio.
- Se etiquetó correctamente las muestras para su identificación. La etiqueta de cada muestra tenía respectivo código, localización, fecha y hora de la toma de muestra, nombre del cliente y/o recolector, marcado de manera clara, legible y con tinta permanente.
- Finalmente, enviamos la muestra al laboratorio dentro de las 48 horas.

10.1.15. Factor de translocación

El Factor de translocación es la relación entre la acumulación del metal en la parte aérea y la concentración del metal en la raíz. Para determinar el nivel de translocación de As y Fe en la morfología de las especies vegetativas se analizaron los datos obtenidos en el Laboratorio de la Universidad de las Américas – UDLA, analizadas mediante la técnica ICP-OES (Plasma Inductivo Acoplado), tanto de las concentraciones iniciales, durante y al final del funcionamiento de la isla, para ello se aplicó el factor de translocación (TF) conforme establecido por Munive *et al.*, (2020), se expresa como mg/kg con la siguiente fórmula:

$$TF = \frac{(\text{Metal}) \text{ aérea}}{(\text{Metal}) \text{ raíz}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

TF= Factor de Translocación;

(Metal) aérea= Concentración de metal en la parte aérea de la planta (tallo, hojas y brotes) en mg/kg;

(Metal) raíz= Concentración del metal en la raíz en mg/kg.

Si el $TF > 1$ significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Baker & Brooks, 1989), por lo que su potencial es la de hiperacumular metales en la parte aérea.

Si el $TF < 1$ significa que la planta no traslada eficientemente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces.

Disposición final

Para recolectar las especies vegetativas, se deberá utilizar los Equipos de Protección Personal (EPP) correspondientes para una correcta manipulación, para lo cual se utilizará fundas plásticas de color rojo (contienen materiales tóxicos) posteriormente deben ser selladas y etiquetadas correctamente. El material vegetativo recolectado del sistema fitorremediadora deberá ser entregado a un gestor ambiental calificado.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en la investigación mediante los muestreos realizados en la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*).

Desarrollo de las especies vegetales en el sistema fitorremediador.

11.1.1. Instalación de las especies vegetales en el sistema fitorremediador del reservorio “QT”

La especie Pasto vetiver se instaló el 30 de mayo del 2022 en el sistema fitorremediador en el reservorio “QT”, sin embargo, la especie al encontrarse a diferentes condiciones climáticas a su lugar de origen y a condiciones no controladas presentó una coloración amarillenta en sus hojas y su tallo presentaba una coloración morada, posiblemente por un aumento en las concentraciones de As y Fe en el reservorio. Relacionado con Landinez & Cubides, (2018) el cual señala que el Pasto vetiver se empezó a marchitar, por el cambio de nutrientes de su lugar de origen, además se menciona que “hubo un tiempo en el cual el pasto empezó a morir, probablemente porque la concentración de contaminantes se incrementó ante la disminución volumétrica del lixiviado, y la adaptación de la planta a los cambios bruscos de concentración”.

Por lo que se decidió colocar la especie Achira (30 días después) ya que de acuerdo con Purihuamán & Rojas (2018) la especie posee características óptimas para ser utilizadas en la remediación, debido a su tolerancia a niveles elevados y tóxicos de un contaminante, capaces de absorber nutrientes presentes en el agua.

A los 30 días después de la instalación de la especie Achira (60 días de operación en el proyecto); la especie Pasto vetiver tuvo una mejor apariencia en su morfología, evidenciándose un cambio en la coloración del tallo tornándose de morado a morado-verde, además se observó que su sistema radicular presentaba un pequeño crecimiento con la aparición de un pequeño brote. En el caso de la Achira al ser nativa tuvo un buen desarrollo.

Posteriormente a los 30 días se realizó el muestreo de las dos especies, debido a que se esperó que las especies se aclimaticen al área de estudio, además que tengan un desarrollo en su morfología y después se verificó la absorción de los contaminantes en las especies vegetales. Finalmente, se realizó el último muestreo a los ± 25 días para conocer sus últimas concentraciones debido a que culminó la investigación.

11.1.2. Crecimiento aéreo y radicular de las especies *Chrysopogon zizanioides* y *Canna indica* en el reservorio “QT”

Las especies *Canna indica* y *Chrysopogon zizanioides* fueron ubicadas a una altura de 3548 msnm, alrededor de 3 a 4 meses respectivamente, se realizó una medida inicial y final, tiempo en el que se evaluó el crecimiento de la parte aérea y el sistema radicular, ubicándose a una distancia promedio de 15 y 20 cm.

Tabla 7. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de las especies.

Especie	Altura	Medidas Iniciales		Medidas Finales	
<i>Chrysopogon zizanioides</i>	3548 msnm	Aéreo (cm)	27.85	Aéreo (cm)	27.85
		Radicular (cm)	11.60	Radicular (cm)	16.75
		Total (cm)	39.45	Total (cm)	44.60
<i>Canna indica</i>	3548 msnm	Aéreo (cm)	30.35	Aéreo (cm)	61.05
		Radicular (cm)	12.00	Radicular (cm)	32.40
		Total (cm)	42.35	Total (cm)	93.45

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La especie *Chrysopogon zizanioides* presentó una altura promedio de 44.60 cm. Por otro lado, la especie *Canna indica* presentó una altura promedio de 93.45 cm, resaltando un mayor desarrollo en el largo de la raíz de las dos especies. (Figura 8)

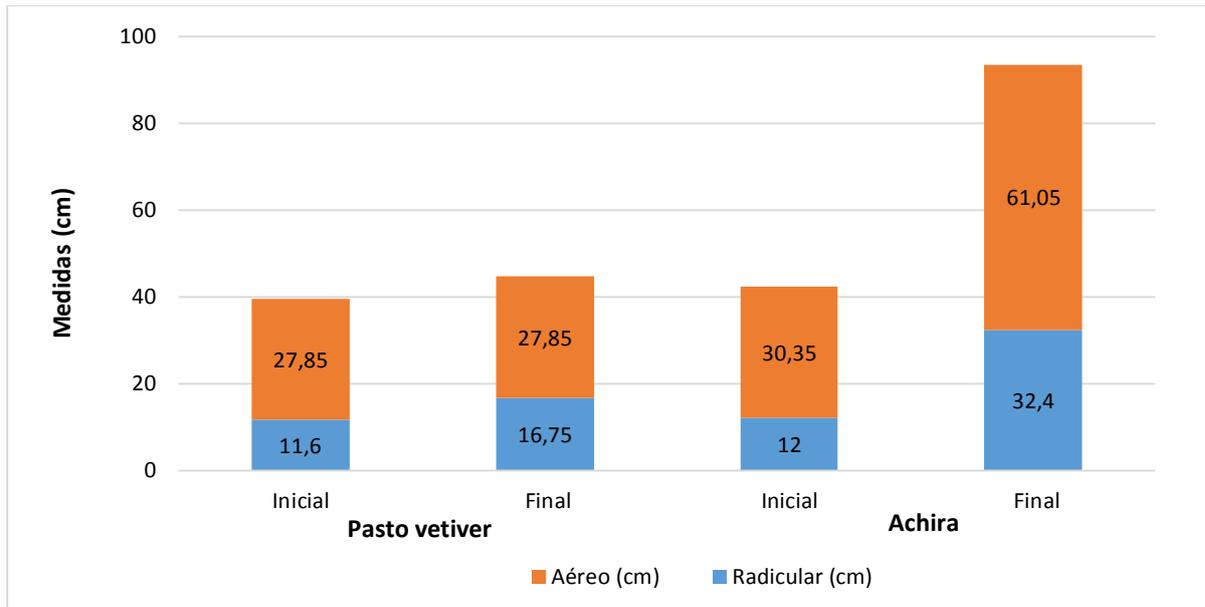


Figura 8. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de las especies en el sistema fitorremediador.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La especie *Chrysopogon zizanioides* se adquirió con una altura entre 20.4 a 35.3 cm y su sistema radicular se encontraba entre 8.5 a 14.7 cm de largo, sin embargo, una vez instalado el sistema la parte aérea se mantuvo, pero el sistema radicular creció entre 14.2 a 19.3 cm. El crecimiento de la planta, teniendo en cuenta el tallo, raíz y hojas, no se desarrollaron de la forma idónea, manifestando Cheng *et al.*, (2003) que la raíz tiene un crecimiento de 3.6 m en 12 meses y hasta 5 m de largo sin embargo Truong (1999) manifiesta que en el medio acuático es más lenta. (Figura 9)

Además, en la especie *Chrysopogon zizanioides* se observó de 2 a 3 brotes con una tonalidad a un color verde oscuro en la mayoría de las plantas, sin embargo, sus hojas presentaban un color amarillo pálido. Relacionado con Suarez, (2018) donde señala que el Pasto vetiver se empezó a marchitar, por el cambio de nutrientes de su lugar de origen, la baja concentración de P inhibe el movimiento de los azúcares fuera de las hojas y posible presencia de un hongo de color blanco. “A la fecha, no existen reportes significativos relacionados con enfermedades o plagas en el pasto Vetiver en el mundo. Sin embargo, hay reportes ocasionales de infestación del hongo *Fusarium* en Colombia y Papua (Indonesia)” (Truong & Thai, 2015).



Figura 9. Crecimiento de la especie *Chrysopogon zizanioides* en el reservorio QT.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

En el caso de la especie *Canna indica*, se adquirió con una altura entre 20.9 a 39.8 cm y su sistema radicular se encontraba entre 8.3 a 15.7 cm de largo, sin embargo, al finalizar la investigación, tuvo una altura entre 50.8 cm a 71.3 cm y del largo de raíz estaba entre 29.7 a 35.1 cm. Se evidenció el crecimiento de nuevos brotes (1 a 3) además sus hojas presentaban de un color verde, sin embargo, debido a su tamaño empezaron a decaer. El crecimiento de la planta, teniendo en cuenta el tallo, raíz y hojas, se desarrollaron de forma idónea ya que según un estudio hecho por Bravo & Gutierrez, (2019) la especie puede alcanzar 1-3 m de altura en 9 meses. Por lo que Enyoh & Isiuku (2021) indican que en general la especie *Canna indica L.* es tolerante y puede metabolizar a metabolitos menos tóxicos y podría resultar una especie fitorremediadora, prometedor y de bajo costo en soluciones acuosas. (Figura 10)



Figura 10. Crecimiento de la especie *Canna indica* en el reservorio QT.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

11.1.3. Crecimiento aéreo y radicular de la especie *Chrysopogon zizanioides* ubicada en el reservorio "TS"

La evaluación del crecimiento de la especie vegetal se realizó tanto para la parte aérea y radicular, se tomó los individuos al azar de cada sistema fitorremediador. Los individuos permanecieron en el sistema fitorremediador por 108 días, tomando las medidas al inicio y al final de la investigación.

Tabla 8. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de la especie.

Especie	Altura	Medidas Iniciales		Medidas Finales	
		<i>Chrysopogon zizanioides</i>	3113 msnm	Aéreo (cm)	27.85
		Radicular (cm)	11.60	Radicular (cm)	18.25
		Total (cm)	39.45	Total (cm)	46.10

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La especie *Chrysopogon zizanioides* fue ubicada a una altura de 3113 msnm, ubicando 50 individuos (100%) en el sistema fitorremediador, a una distancia promedio de 15 y 20 cm, formando un total de 54 islas ocupando el 6.15% del reservorio según el total de su área. La especie se adquirió con una altura entre 20.4 a 35.3 cm y su sistema radicular se encontraba entre 8.5 a 14.7 cm de largo, sin embargo, una vez instalado el sistema la parte aérea se mantuvo, pero el sistema radicular creció entre 16.2 a 20.3 cm. (Tabla 8) (Figura 11)

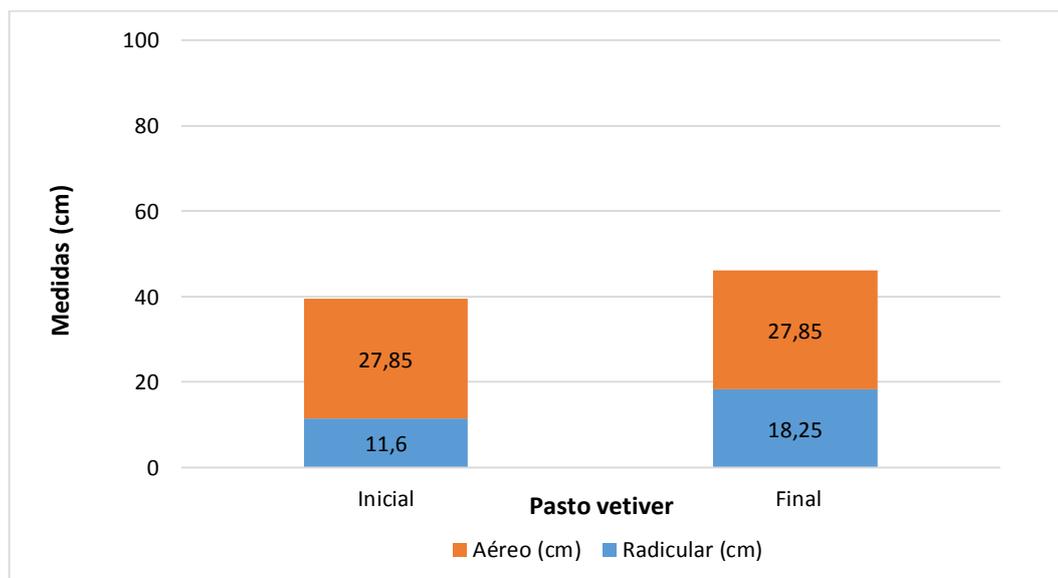


Figura 11. Promedio del crecimiento aéreo y radicular de la especie en el sistema fitorremediador.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La especie presentó de 1 a 3 brotes con una tonalidad a un color verde oscuro en la mayoría de las plantas, sin embargo, sus hojas presentaban un color amarillo pálido. En el reservorio la especie presentó una altura promedio de 39.35 cm y 46.10 cm de largo de raíz, de acuerdo con Truong (1999) que manifiesta que en el medio acuático es más lento su desarrollo. De acuerdo con Purihuamán & Rojas (2018) la especie posee características óptimas para ser utilizadas en la remediación, debido a su tolerancia a niveles elevados y tóxicos de un contaminante, capaces de absorber nutrientes presentes en el agua. (Figura 12)



Figura 12. Crecimiento de la especie *Chrysopogon zizanioides* en el reservorio TS.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Capacidad de acumulación de As y Fe en las especies vegetativas.

11.1.4. Concentración de As y Fe en la entrada de agua de los reservorios “QT” y “TS”.

Se detallan las concentraciones de As y Fe en el agua (mg/L) del reservorio de la Quebrada Tiliche San José “QT” y Tiliche San José Bajo “TS”. Se tomó en cuenta el último muestreo previo a la instalación del sistema fitorremediador. (Tabla 9)

Tabla 9. Concentración de As y Fe en la entrada de los reservorios.

Reservorio	Muestras	Entrada de agua	
		As (mg/L)	Fe (mg/L)
QT	1	1.09	3.74
TS	1	0.88	2.16

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

11.1.5. Concentración de As y Fe en la raíz de las especies del reservorio “QT”

Los resultados de las concentraciones de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) se pueden observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Concentración de As y Fe en la raíz de las especies Pasto vetiver y Achira “QT”.

Especie Vegetativa	Código	Día de Muestreo	As Conc. mg/kg	Fe Conc. mg/kg
Pasto vetiver	CRV-01	0	0.00	694.57
	CRV-02	89	24.07	152.59
	CRV-03	108	292.18	6242.94
Achira	CRA-01	30	0.76	479.79
	CRA-02	89	8.40	575.47
	CRA-03	108	149.02	672.74

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Los análisis de As en la raíz de las especies vegetales presentaron los siguientes datos; la especie Pasto vetiver en el día cero no presentó As en la raíz. Sin embargo, luego de 89 días de estar en contacto con el agua contaminada se observó un aumento en su concentración de 24.07 mg/kg. Posteriormente a los 108 días de su implementación se observó una concentración de 292.18 mg/kg, demostrando que mientras más tiempo este en contacto con el agua mayor será la concentración del contaminante.

Por otra parte, la especie Achira en su muestreo inicial previo a su instalación presentó 0.76 mg/kg, luego de 89 días implementado el sistema (60 días después instaladas) al estar en contacto con el agua aumentó su concentración a 8.40 mg/kg y a los 108 días instalado el sistema (final del proyecto) presentó una concentración de 149.02 mg/kg, demostrando así la capacidad fitoextractora de las especies evaluadas. (Figura 13).

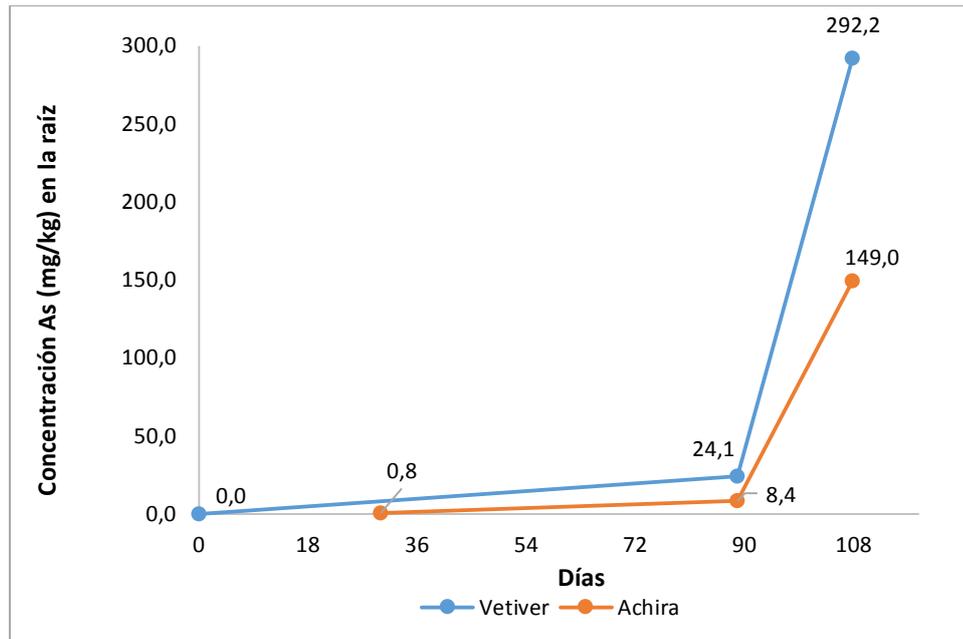


Figura 13. Concentración de As en la raíz de las especies vegetales Pasto Vetiver y Achira “QT”.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

En los análisis de concentración de Fe en la raíz de las especies vegetales utilizadas presentan los siguientes datos; la especie Pasto vetiver en el día cero presentó 694.57 mg/kg de Fe en su raíz. Sin embargo, luego de 89 días de estar en contacto con el agua contaminada se observó una disminución en su concentración a 152.59 mg/kg de Fe. Posteriormente a los 108 días de su implementación se observó una concentración de 6242.94 mg/kg, demostrando así su capacidad fitoextractora.

Por otra parte, la especie Achira en su muestreo inicial previo a su instalación (30 días después) presentó una concentración de 479.79 mg/kg de Fe, luego de 89 días implementado el sistema (60 días instaladas) al estar en contacto con el agua contaminada aumentó su concentración a 575.47 mg/kg de Fe y a los 108 días instalado el sistema (final del proyecto) se observó una concentración de 672.74 mg/kg, demostrando que mientras más tiempo este en contacto con el agua mayor será la concentración del contaminante. Esto relacionado con un estudio en donde indica que las aguas tratadas por humedales pueden ser ricas en Fe, donde se precipita en forma de óxidos, oxihidróxidos o hidróxidos en el entorno oxidante de la superficie del humedal (Fonseca Largo *et al.*, 2020b). Por ejemplo: un humedal natural en el norte de Gales, Inglaterra, retiene eficazmente metales pesados, como el As en asociación con óxidos de Fe (Horsnail *et al.*, 1969). Además, se informó de que el As era retenido en placas de Fe en la superficie de las raíces de las plantas (Otte *et al.*, 1995). (Figura 14)

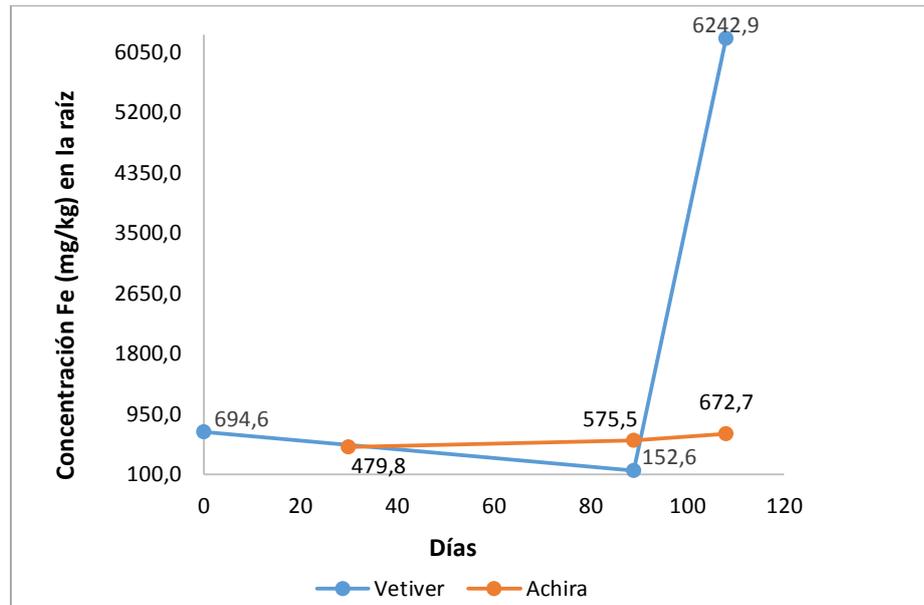


Figura 14. Concentración de Fe en la raíz de las especies vegetales Pasto Vetiver y Achira “QT”.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

11.1.6. Concentración de As y Fe en la raíz de la especie del reservorio “TS”

Los resultados de las concentraciones de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) se pueden observar en la Tabla 11.

Tabla 11. Concentración de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver “TS”.

Especie Vegetativa	Código	Día de Muestreo	As Conc. mg/kg	Fe Conc. mg/kg
Pasto vetiver	AR-01	0	0	546.88
	AR-02	89	86.80	398.14
	AR-03	108	204.06	4591.64

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Los análisis de As en la raíz de la especie vegetal utilizada dentro del reservorio TS presentan los siguientes datos; la especie Pasto vetiver en el día cero no presentó As en la raíz. Sin embargo, luego de 89 días de estar en contacto con el agua contaminada se observó un aumento en su concentración de 86.80 mg/kg de As. Posteriormente a los 108 días de su implementación se observó una concentración de 204.06 mg/kg, demostrando que mientras más tiempo este en contacto con el agua mayor será la concentración del contaminante (Figura 15).

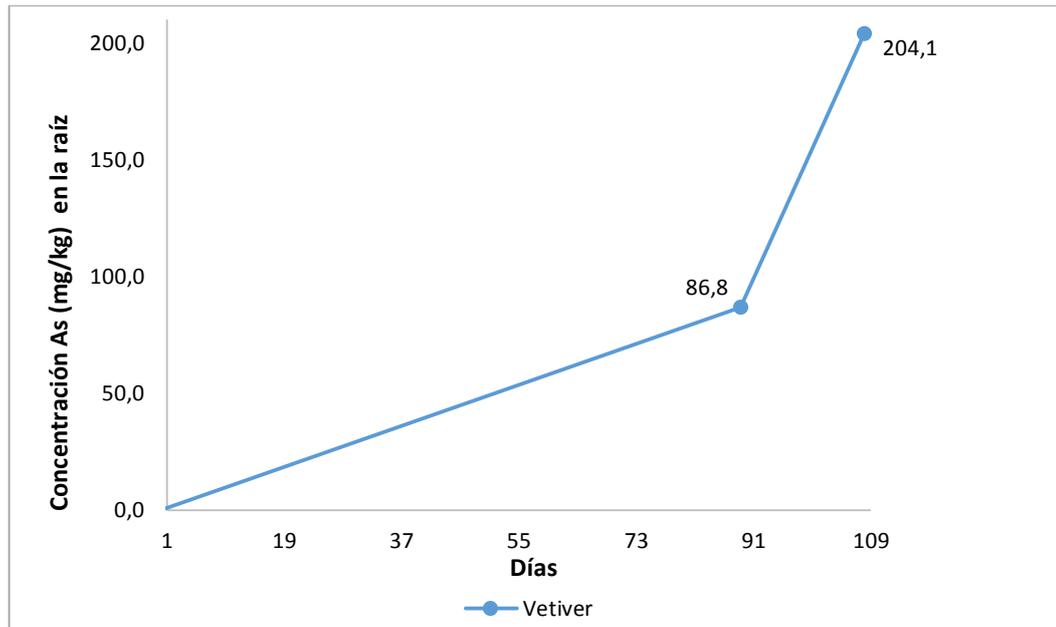


Figura 15. Concentración de As en la raíz de la especie vegetal Pasto Vetiver “TS”.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

En los análisis de concentración de Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver se obtuvo en el día cero 546.88 mg/kg de Fe en su raíz. Sin embargo, luego de 89 días de estar en contacto con el agua contaminada se observó una disminución en su concentración a 398.1 mg/kg de Fe. Posteriormente a los 108 días de su implementación se observó una concentración de 4591.64 mg/kg, demostrando así su capacidad fitoextractora (Figura 16).

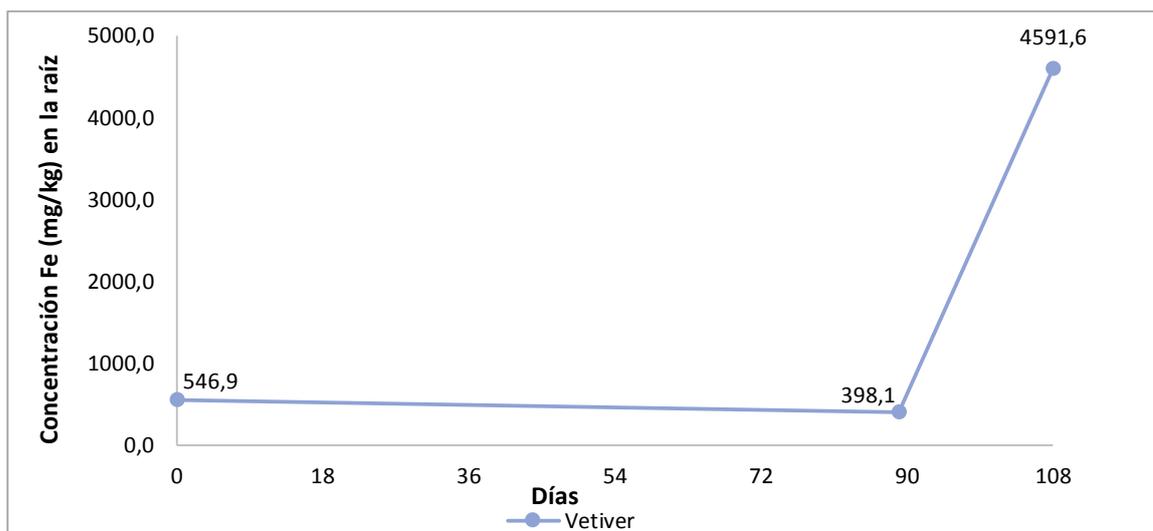


Figura 16. Concentración de Fe en la raíz de la especie vegetal Pasto Vetiver “TS”.

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Factor de Bioconcentración (BCF)

Factor de concentración biológica (FBC) también conocido como Índice de bioconcentración (BF) o Root accumulation factor (RAF). Este proceso se da cuando una planta absorbe un determinado contaminante y no puede degradarlo rápidamente, lo que resulta en una acumulación en la planta. Se utiliza para medir la capacidad de captación de un metal por una planta (raíz) con relación a su concentración en el suelo (Medina & Montano, 2014). Este factor se establece como la relación entre la concentración del producto en el organismo o un tejido específico por una exposición permanente y la concentración del producto en un medio como agua, suelo entre otros (González Miranda, 2017).

Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el medio (Yoon *et al.*, 2006). Si el $BCF_{raíz} < 10$ la planta es considerada de bioconcentración baja (excluyente). Si el $10 < BCF_{raíz} < 100$ la planta es considerada de bioconcentración intermedia (acumuladora). Si el $BCF_{raíz} > 100$ la planta es considerada de bioconcentración alta (hiperacumuladora). (Baker, 1981) (Calderón, 2017).

11.1.7. Bioconcentración en la raíz de las especies vegetativas del reservorio “QT”.

Para calcular el factor de Bioconcentración (BCF) de la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Achira (*Canna indica*) se necesita conocer la concentración de los contaminantes (As y Fe) en el agua y raíz en mg/kg (Tabla 12 y 13).

Tabla 12. BCF de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver “QT”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	Metal	Raíz	Agua	BCF raíz	Clasificación
Pasto Vetiver	89	As	24.07	1.09	22.08	Acumuladora
	108	(mg/kg)	292.18	1.09	268.06	Hipercumuladora
	89	Fe	152.59	3.74	40.80	Acumuladora
	108	(mg/kg)	5548.37	3.74	1483.52	Hipercumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La especie Pasto vetiver cuando aún no se encontraba en el sistema fitorremediador no presentó concentración inicial de As en la raíz. En el segundo muestreo (89 días después) ya en contacto con el agua tuvo una concentración de 24.07 mg/kg, sin embargo, en el último muestreo a los 108 días instaladas presento una concentración en la raíz de 292.18 mg/kg; generando un BCF de 268.06 mg/kg. Estableciendo que, al ser mayor a 100 la especie tiende a ser hiperacumuladora de As en la raíz.

Así mismo, los resultados de Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver cuando aún no se encontraba en el sistema fitorremediador presentó una concentración de 694.57 mg/kg. En el segundo muestreo (89 días después) la especie ya en contacto con el agua contaminada tuvo una concentración de 152.59 mg/kg, a los 108 días instalados incrementó su concentración, obteniendo una adsorción total de 5548.37 mg/kg, obteniéndose un BCF de 1483.52 mg/kg. Considerándola como una especie hiperacumuladora de Fe con la capacidad de fitoextraer Fe desde el agua hacia la raíz de la planta (Tabla 12).

Tabla 13. BCF de As y Fe en la raíz de la especie Achira “QT”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	Metal	Raíz	Agua	BCF raíz	Clasificación
Achira	89	As	8.40	1.09	7.71	Excluyente
	108	(mg/kg)	148.26	1.09	136.02	Hiperacumuladora
	89	Fe	575.46	3.74	153.87	Hiperacumuladora
	108	(mg/kg)	192.94	3.74	51.59	Acumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

En relación a la concentración inicial de As en la raíz de la especie Achira cuando aún no se encontraba en el sistema fitorremediador fue de 0.76 mg/kg. Después de 89 días (60 días instaladas en el sistema) ya en contacto con el agua tuvo una concentración de 8.40 mg/kg, y finalmente al pasar 108 días instaladas (final del proyecto) lograron una concentración total de 148.26 mg/kg, generando un BCF de 136.02 mg/kg. Clasificándola como una planta hiperacumuladora de As. Determinando que según Kumar Yadav *et al.*, (2018) a bajas concentraciones, los metales y el metaloide se conservaron en la raíz de las plantas; al incrementar las concentraciones, éstos comenzaron a transportarse a la parte aérea por la corriente de transpiración a través del xilema.

La concentración inicial de Fe en la raíz de la especie vegetal Achira antes de ser instalada en el sistema fitorremediador fue 479.79 mg/kg. Después de 89 días implementado el sistema (60 días instaladas) ya en contacto con el agua tuvo una concentración de 575.46 mg/kg y finalmente 108 días instalado el sistema (final de la investigación) presentó una concentración total de 192.94 mg/kg, generando un BCF de 51.59 mg/kg cuyo valor es mayor a 10, clasificándola como una especie acumuladora (Tabla 13).

11.1.8. Bioconcentración en la raíz de la especie vegetativa del reservorio “TS”

Para determinar el factor de Bioconcentración (BCF) en la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) se tomaron los datos de concentración de agua y raíz obtenidos del Laboratorio de la Universidad de las Américas – UDLA. (Tabla 14)

Tabla 14. BCF de As y Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver “TS”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	Metal	Raíz	Agua	BCF raíz	Clasificación
Pasto Vetiver	89	As	86.80	0.88	98.64	Acumuladora
	108	(mg/kg)	204.06	0.88	231.89	Hiperacumuladora
	89	Fe	398.14	2.16	184.32	Hiperacumuladora
	108	(mg/kg)	4044.76	2.16	1872.57	Hiperacumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La especie Pasto vetiver cuando aún no se encontraba en el sistema fitorremediador no presentó concentración inicial de As en la raíz. En el segundo muestreo al estar 89 días en contacto con el agua contaminada tuvo una concentración de 86.80 mg/kg, sin embargo, en el último muestreo a los 108 días instaladas presento una concentración total en la raíz de 204.06 mg/kg; cuyo valor representa un BCF de 231.89 mg/kg. En donde indica que la especie Achira es hiperacumuladora debido a que los valores son mayores a 100.

Sin embargo, en los resultados de Fe en la raíz de la especie Pasto vetiver cuando aún no se encontraba en el sistema fitorremediador presento una concentración de 546.88 mg/kg. En el segundo muestreo (89 días después) ya en contacto con el agua contaminada disminuyó su concentración a 398.14 mg/kg, finalmente en el último muestreo después de 108 días una vez instaladas en el sistema hidropónico presentó una adsorción de 4044.76 mg/kg mismo que representa un BCF de 1872.57 mg/kg. Estableciendo que al ser el valor mayor a 100, la planta es hiperacumuladora de Fe (Tabla 14).

Patrón de distribución a los diferentes órganos vegetativos de arsénico y hierro en las especies vegetativas.

El transporte de As de las raíces a las frondas se realiza probablemente a través de la savia de la xilema. Las diferencias en la concentración de As en las frondas jóvenes y viejas pueden sugerir que una mayor cantidad acumulada de transpiración ha pasado probablemente a través de las frondas viejas a lo largo del tiempo. La translocación de metales desde las raíces a las hojas envejecidas se ha considerado como un proceso de desintoxicación para ayudar a la

eliminación de As de la planta a medida que las hojas viejas envejecen y finalmente se caen de la planta (Zhang *et al.*, 2002).

11.1.9. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de las especies del reservorio “QT”

La especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en su muestreo inicial no presentó As en tallo, hojas y brotes, además se observó un comportamiento fitoextractor diferente en comparación del suelo y el agua, aumentando sus concentraciones una vez instalado en el sistema fitorremediador (Tabla 15). En el caso del Fe se observa un comportamiento diferente desde su primer muestreo debido a que este es un mineral necesario para los procesos morfológicos de la especie (Tabla 15).

Tabla 15. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie Pasto vetiver “QT”.

Especie Vegetativa	Tejido Aéreo	Código	Día de muestreo	As (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Pasto vetiver	Tallo	CTV-01	0	0.00	119.42
	Hojas	CHV-01	0	0.00	1257.25
	Brotes	CBV-01	0	0.00	243.20
	Tallo	CTV-02	89	93.90	582.96
	Hojas	CHV-02	89	403.80	2292.96
	Brotes	CBV-02	89	121.70	534.20
	Tallo	CTV-03	108	19.60	208.12
	Hojas	CHV-03	108	301.20	1398.37
	Brotes	CBV-03	108	545.80	2122.20

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

La concentración tanto para As y Fe en tallo, hojas y brotes de la especie Achira (*Canna indica*) en el muestreo inicial previo a su instalación (30 días en operación del proyecto) no presentó una cantidad considerable de estos contaminantes, sin embargo, en los siguientes muestreos una vez instalado en el sistema tuvo un aumento en sus concentraciones (Tabla 16).

Tabla 16. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie Achira “QT”.

Especie Vegetativa	Tejido Aéreo	Código	Día de muestreo	As (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Achira	Tallo	CTA-01	30	0.87	169.41
	Hojas	CHA-01	30	1.25	270.39
	Brotes	CBA-01	30	0.00	219.99
	Tallo	CTA-02	89	198.92	776.50
	Hojas	CHA-02	89	1.81	31.31
	Brotes	CBA-02	89	15.37	90.33
	Tallo	CTA-03	108	105.29	764.65
	Hojas	CHA-03	108	489.79	1919.84
	Brotes	CBA-03	108	297.66	1367.14

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

11.1.10. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie del reservorio “TS”

La determinación de la concentración de As y Fe en el tallo, hojas y brotes de la especie Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) del reservorio “TS”, expuso la cantidad de concentración de metales pesados presentes (Tabla 17).

Tabla 17. Concentración de As y Fe en los órganos aéreos de la especie Pasto vetiver “TS”.

Especie Vegetativa	Tejido Aéreo	Código	Día de muestreo	As (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Pasto vetiver	Tallo	AT-01	0	0.00	96.20
	Hojas	AH-01	0	0.00	974.06
	Brotes	AB-01	0	0.00	300.42
	Tallo	AT-02	89	1.83	51.93
	Hojas	AH-02	89	190.21	1400.02
	Brotes	AB-02	89	49.61	300.69
	Tallo	AT-03	108	17.63	450.60
	Hojas	AH-03	108	23.09	504.57
	Brotes	AB-03	108	87.71	519.08

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Factor de Translocación en las especies vegetativas

El Factor de translocación mayor a uno sugieren gran capacidad para transportar metales desde las raíces a los vástagos, explicada en su mayor parte por eficientes sistemas de transporte de metales (Zhao *et al.*, 2002) y, probablemente, por secuestro de metales en las vacuolas de las hojas y en el apoplasto (Lasat *et al.*, 2000).

De acuerdo con Audet & Charest, (2007); Deng *et al.*, (2004), un valor del $FT > 1$ indica una eficiente translocación del metal a la parte aérea, por lo que la planta puede usarse con fines de fitoextracción. Si, por el contrario, dicho valor es menor a uno, la translocación del metal es baja, por lo que éste es retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilización.

11.1.11. Translocación de los metales en la especie *Pasto vetiver* del reservorio “QT”.

Para calcular el Factor de Translocación (TF) desde la raíz hacia la parte aérea de la planta en la especie *Pasto vetiver* (*Chrysopogon zizanioides*) se debe conocer la concentración de As y Fe en sus órganos aéreos (tallos, hojas, brotes) y raíz en mg/kg (Tabla 18 y 19).

Tabla 18. Factor de translocación de As en la especie *Pasto vetiver* “QT”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	As (mg/kg)		TF	Clasificación	
		Órgano	Concent.			Raíz
Pasto vetiver	89	Tallos	93.90		3.90	Hiperacumuladora
		Hojas	403.80	24.07	16.78	Hiperacumuladora
		Brotes	121.70		5.06	Hiperacumuladora
	108	Tallos	19.60		0.07	No acumuladora
		Hojas	301.20	292.18	1.03	Hiperacumuladora
		Brotes	545.80		1.87	Hiperacumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

El nivel de concentración de As en la especie *Pasto vetiver* (*Chrysopogon zizanioides*) en su muestreo inicial (previo a la instalación) no presentó As en toda su morfología. Sin embargo, en el segundo muestreo 89 días después de estar en contacto con el agua contaminada se observó un aumento en la concentración de As en la raíz (24.07 mg/kg) y en el último muestreo a los 108 días instaladas presentó una concentración de 292.18 mg/kg de As generando un Factor de translocación (TF) en tallos, hojas y brotes (0.07 mg/kg, 1.03 mg/kg y 1.87 mg/kg) respectivamente, resaltando que existe una mayor translocación desde la raíz hacia los brotes; lo que significa que la planta traslada eficazmente As desde la raíz hacia la parte aérea de la planta por lo que su potencial es la de hiperacumular debido a que posee valores mayores a 1 (Tabla 18).

Relacionado con un estudio realizado por (Pleto *et al.*, 2019) donde se analizaron las raíces y las hojas de *vetiver* para determinar el contenido de metales pesados. Presentando una acumulación de metales pesados tóxicos en las raíces y las hojas. Sin embargo, se translocan

hacia los brotes debido a que la hierba vetiver madura y no tiene la capacidad de concentrar más metales pesados en las raíces.

Tabla 19. Factor de translocación de Fe en la especie Pasto vetiver “QT”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	Fe (mg/kg)		TF	Clasificación	
		Órgano	Concent.			Raíz
Pasto vetiver	89	Tallo	582.96		3.82	Hiperacumuladora
		Hojas	2292.96	152.59	15.03	Hiperacumuladora
		Brotes	534.20		3.50	Hiperacumuladora
	108	Tallo	208.12		0.03	No acumuladora
		Hojas	1398.37	6242.94	0.22	No acumuladora
		Brotes	2122.20		0.34	No acumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

En los resultados de Fe de la especie Pasto vetiver en su muestreo inicial la especie presentó una concentración de Fe en la raíz de 694.57 mg/kg. Sin embargo, en el segundo muestreo (89 días después) ya en contacto con el agua se observó una disminución en la concentración de Fe en la raíz (152.59 mg/kg), pero en su último muestreo a los 108 días de su implementación nuevamente un aumento de la concentración de Fe (6242.94 mg/kg), generando un TF en tallo, hojas y brotes (0.03 mg/kg, 0.22 mg/kg y 0.34 mg/kg) respectivamente. Señalando que al obtener valores menores a 1 la planta no traslada eficazmente Fe de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar Fe en sus raíces (Tabla 19).

11.1.12. Translocación de los metales en la especie Achira del reservorio “QT”.

Para calcular el TF desde la raíz hacia la parte aérea de la planta en la especie Achira (*Canna indica*) se debe conocer la concentración de As y Fe en sus órganos aéreos (tallo, hojas, brotes) y raíz en mg/kg (Tabla 20 y 21).

Tabla 20. Factor de translocación de As en la especie Achira “QT”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	As (mg/kg)		TF	Clasificación	
		Órgano	Concent.			Raíz
Achira	89	Tallo	198.92		23.68	Hiperacumuladora
		Hojas	1.81	8.40	0.22	No acumuladora
		Brotes	15.37		1.83	Hiperacumuladora
	108	Tallo	105.29		0.71	No acumuladora
		Hojas	489.79	149.02	3.29	Hiperacumuladora
		Brotes	297.66		2.00	Hiperacumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

El nivel de concentración de As en la especie Achira (*Canna indica*) en su muestreo inicial previo a su instalación (30 días en operación del proyecto) presentó una concentración de As en la raíz de 0.76 mg/kg. Sin embargo, en el segundo muestreo 89 días implementado el sistema (60 días después) al estar contacto con el agua contaminada se observó un aumento en la concentración de As en la raíz (8.40 mg/kg) y finalmente al pasar 108 días instalado el sistema (final del proyecto), presento una concentración de 149.02 mg/kg obteniendo un Factor de translocación (TF) en tallo, hojas y brotes (0.71 mg/kg, 3.29 mg/kg y 2.00 mg/kg) respectivamente, resaltando una mayor translocación de As desde la raíz hacia las hojas. Determinado que la planta traslada eficazmente As desde la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de hiperacumular debido a que posee valores mayores a 1 (Tabla 20).

Tabla 21. Factor de translocación de Fe en la especie Achira “QT”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	Fe (mg/kg)			TF	Clasificación
		Órgano	Concent.	Raíz		
Achira	89	Tallo	776.50		1.35	Hiperacumuladora
		Hojas	31.31	575.46	0.05	No acumuladora
		Brotes	90.33		0.16	No acumuladora
	108	Tallo	764.65		1.14	Hiperacumuladora
		Hojas	1919.84	672.74	2.85	Hiperacumuladora
		Brotes	1367.14		2.03	Hiperacumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

En los resultados de Fe de la especie Achira en su muestreo inicial previo a su instalación (30 días en operación del proyecto) la especie presentó una concentración de Fe en la raíz de 479.79 mg/kg. Sin embargo, en el segundo muestreo 89 días implementado el sistema (60 días después) ya en contacto con el agua se observó una concentración de Fe en la raíz (575.46 mg/kg), pero en su último muestreo al pasar 108 días instalado el sistema (final del proyecto), presentó una concentración de Fe de 672.74 mg/kg, generando un TF en tallo, hojas y brotes (1.14 mg/kg, 2.85 mg/kg y 2.03 mg/kg) respectivamente, señalando que existe mayor translocación de Fe desde la raíz hacia las hojas.

Concluyendo que la especie tiene un alto potencial para hiperacumular Fe en la parte aérea de la planta debido a que posee valores mayores a 1. De acuerdo con Delgadillo-López *et al.*, (2011) la especie vegetativa Achira utiliza el método de fitoextracción o fitoacumulación que consiste en, la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas (Tabla 21).

Relacionando con lo expuesto por (Jamil *et al.*, 2009) el cual menciona que, en el caso de los hiperacumuladores, es necesario que el factor de translocación sea superior a 1. El valor del TF superior a 1 indica la translocación del metal de la raíz a la parte aérea tiene el potencial de ser utilizado para la fitoextracción (Ali *et al.*, 2013).

11.1.13. Translocación de los metales en la especie *Pasto vetiver* del reservorio “TS”.

Para calcular el Factor de Translocación (TF) desde la raíz hacia la parte aérea de la planta en las especies *Pasto vetiver* (*Chrysopogon zizanioides*) se debe conocer la concentración de As y Fe en sus órganos aéreos (tallos, hojas, brotes) y raíz en mg/kg (Tabla 22 y 23).

Tabla 22. Factor de translocación de As en la especie *Pasto vetiver* “TS”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	As (mg/kg)		TF	Clasificación	
		Órgano	Concent.			
Pasto vetiver	89	Tallos	1.83	0.02	No acumuladora	
		Hojas	190.21	86.80	2.19	Hiperacumuladora
		Brotes	49.61		0.57	No acumuladora
	108	Tallos	17.63		0.09	No acumuladora
		Hojas	23.09	204.06	0.11	No acumuladora
		Brotes	87.71		0.43	No acumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

El nivel de concentración de As en la especie *Pasto vetiver* (*Chrysopogon zizanioides*) en su muestreo inicial (previo a la instalación) no presentó As en toda su morfología. Sin embargo, en el segundo muestreo 89 días después de estar en contacto con el agua contaminada se observó un aumento en la concentración de As en la raíz (86.80 mg/kg) y en el último muestreo a los 108 días instaladas presentó una concentración de 204.06 mg/kg de As generando un Factor de translocación (TF) en tallos, hojas y brotes (0.09 mg/kg, 0.11mg/kg y 0.43 mg/kg) respectivamente, en donde indica que la planta no traslada eficazmente As desde la raíz a la parte aérea de la planta. Determinado que su potencial es la de fitoestabilizar As en sus raíces, debido a que posee valores menores a 1 (Tabla 22).

Tabla 23. Factor de translocación de Fe en la especie Pasto vetiver “TS”.

Especie Vegetativa	Día de Muestra	Fe (mg/kg)			TF	Clasificación
		Órgano	Concent.	Raíz		
Pasto vetiver	89	Tallo	51.93		0.13	No acumuladora
		Hojas	1400.02	398.14	3.52	Hiperacumuladora
		Brotes	300.69		0.76	No acumuladora
	108	Tallo	450.6		0.10	No acumuladora
		Hojas	504.57	4591.60	0.11	No acumuladora
		Brotes	519.08		0.11	No acumuladora

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

Mientras que, en los resultados de Fe la especie Pasto vetiver en su muestreo inicial presentó una concentración de Fe en la raíz de 546.88 mg/kg. Sin embargo, en el segundo muestreo (89 días después) ya en contacto con el agua contaminada se observó una disminución de la concentración en la raíz (398.14 mg/kg), ya en su último muestreo a los 108 días de su implementación nuevamente aumentó su concentración en Fe (4591.6 mg/kg), generando un TF en tallo, hojas y brotes (0.10 mg/kg, 0.11 mg/kg y 0.11 mg/kg) respectivamente, señalando que al obtener valores menores a 1 la planta no traslada eficazmente Fe de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar Fe en sus raíces (Tabla 23).

Constatándose lo señalado por Avila, (2017), en su investigación la especie *Chrysopogon zizanioides* tuvo una concentración Fe en la raíz de 3143.33 mg/kg, en hoja 2871.67 /mg/kg y en la biomasa total de 4236.33 mg/kg en 150 días, además que mediante el factor de translocación se confirma que la especie es capaz de acumular en gran concentración Fe en la raíz que en las partes aéreas a partir de los 30 días. Siendo estos datos consecuentes con el presente estudio de investigación.

12.IMPACTOS

Ambientales

El uso de especies fitorremediadoras son una solución sostenible para el tratamiento de aguas con As. Debido a que, el sistema de fitorremediación en comparación con los tratamientos actuales, no causará daños, ni contaminación al ambiente durante y después de su fase de operación, puesto que son especies que acumulan y mantienen metales pesados en su morfología.

Las especies poseen características esenciales como adaptación a diferentes tipos de climas y sus requerimientos nutricionales son bajos, pero primordialmente por no ser invasivas, ni

asociadas con ningún tipo de plagas las hace ecológicamente seguras para los sitios donde se las va a colocar, reduciendo el impacto ambiental ocasionado con otros tipos de restauración.

Socioeconómicos

Al mejorar la calidad del agua de riego, las personas podrán disponer de este recurso para sus diferentes actividades agrícolas y de consumo, sin el riesgo de contraer enfermedades por productos con altas concentraciones de As; mejorando así el comercio e ingresos dentro de la provincia, aportando con el crecimiento económico del país y mejorado su calidad de vida.

La implementación de especies fitorremediadoras en los reservorios del proyecto de riego “Tiliche San José” servirá como guía para futuros interesados en esta rama de la investigación. Las especies fitorremediadoras podrán ser implementadas en varios sitios donde se hayan superado el límite máximo permisible de As en aguas utilizadas para diferentes usos como consumo humano y agrícola.

13.PRESUPUESTOS

Tabla 24. Presupuesto

RECURSOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL \$
Humanos	3	Personas (Autores y Tutor)	20	360.00
	1	Libreta de Campo	1.25	1.25
Oficina	2	Esferos	0.60	1.20
	1	Resma A4	3.50	3.50
	1	Cinta de etiquetado	1	1.00
	2	Tijera	0.75	1.50
	1	Paquete de fundas Zip-Zap	2.50	2.50
Tecnológicos	48 hojas	Impresora	0.10	4.80
Material Vegetativo	550	Pasto Vetiver “QT”	0.21	115.50
	400	Achira “QT”	0.25	100.00
	2700	Pasto Vetiver “TS”	0.21	567.00
Toma de Muestras	12	Guantes de Látex	0.50	6.00
	12	Mascarillas Kn-95	0.60	7.20

	9 botellas	Agua Destilada	0.95	8.55
Otros	36 (raíces, tallo, brotes y hojas)	Muestras de Especies vegetales Laboratorio UDLA	15	540.00
	15	Transporte en General	10	150.00
	TOTAL			1870.00

Elaborado por: Casa E. & Cunalata M. 2022.

14.CONCLUSIONES

- El crecimiento de las especies, tomando en cuenta la altura, largo de raíz y cantidad de brotes indican que la especie *Chrysopogon zizanioides* no tuvo un buen desarrollo debido a las condiciones climáticas adversas a su lugar de origen. En el caso de la especie *Canna indica* tuvo un buen desarrollo dado que, la especie es nativa de la zona.
- En el reservorio “QT” las especies *Chrysopogon zizanioides* y *Canna indica* tuvieron un BCF alta por tanto tienen un comportamiento hiperacumulador de metales. Sin embargo, en los resultados de Fe la especie *Canna indica* tuvo una bioconcentración media en las raíces de la planta concluyendo que tiene un comportamiento acumulador.
- El TF en el reservorio “QT” las especies se clasificaron como Hiperacumuladoras con alta capacidad de acumular y Fito extraer metales en la parte aérea de la planta (brotes y hojas). No obstante, para Fe la especie *Chrysopogon zizanioides* se presentó como no acumuladora con la capacidad de fitoestabilizar Fe en sus raíces.
- En el reservorio “TS” la especie *Chrysopogon zizanioides* tuvo BFC alta, por tanto, tienen un comportamiento hiperacumulador de metales. El TF indica que la concentración de As y Fe acumulada en la raíz. Debido a que las especies en el reservorio “QT” absorbieron mayor cantidad de estos metales en su morfología, considerándola como una especie con el potencial de fitoestabilizar metales en sus raíces.

15.RECOMENDACIONES

- El desarrollo de las especies deber ser idóneo para utilizarlas en la fitorremediación, sin embargo, es recomendable hacer un ensayo con un diseño experimental mejor estructurado.
- Los muestreos se pueden realizar con mayor frecuencia y de acuerdo a los protocolos establecidos, para obtener mayor precisión en la evaluación de resultados.
- En próximos estudios se recomienda seguir la normativa de AGROCALIDAD para la toma de muestras.
- Realizar el cálculo de la capacidad de carga máxima de las plantas y medir los parámetros físico-químicos con el fin de tener una visión más amplia del proceso fitorremediador.
- Para lograr una mayor efectividad en la remoción de metales pesados, es recomendable ubicar el sistema fitorremediador en la entrada y salida del agua y a la vez realizar el mantenimiento y cambio de las especies.

16.REFERENCIAS

- Aguiar, M., & Castillo, Y. (2019). “ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES CON LA ESPECIE ACHIRA (*Canna indica*) COMO ALTERNATIVA PARA LA REMOCION DE CROMO Y COLIFORMES FECALES EN AGUA PROCEDENTE DEL RIO CUTUCHI”. 78.
- Alam, Md. S., Wu, Y., & Cheng, T. (2014). Silicate Minerals as a Source of Arsenic Contamination in Groundwater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(11), 2201. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2201-9>
- Alderete-Suárez, B. M., Valles-Aragón, M. C., Canales-Reyes, S., Peralta-Pérez, M. del R., & Orrantia-Borunda, E. (2019). BIOCONCENTRACIÓN DE Pb, Cd Y As EN BIOMASA DE *Eleocharis macrostachya* (CYPERACEAE). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(esp03), 93–101. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.11>
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., Valle-Paniagua, D. H. del, Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., Ramírez-Zierold, J. A., Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., Valle-Paniagua, D. H. del, Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: Una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), 319–343. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>
- Audet, P., & Charest, C. (2007). Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: Meta-analytical and conceptual perspectives. *Environmental Pollution*, 147(3), 609–614. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.10.006>

- Avila, D. (2017). Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
<https://hdl.handle.net/20.500.12371/966>
- Ávila-Canto, J. G., Velázquez-Mendoza, C., Castelblanco-Martínez, N., Niño-Torres, C., & Córdova-Tapia, F. (2017). Is the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) back in town? Presence of the species at the “Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam”, Quintana Roo, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 999–1002.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.036>
- Baker, A., & Brooks, R. (1989). Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements, A Review of Their Distribution, *E. Ecol. Phytochem. Biorecovery*, 1.
- Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1–4), 643–654.
<https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Bautista, S., Córdor, R., & Allcca, D. (2017). Variabilidad morfológica y agronómica de *Canna* ssp. “Achira” Ayacucho.
<http://revistas.unsch.edu.pe/revistasunsch/index.php/investigacion/article/view/63/60>
- Bhattacharya, D., Guzey, S., Miller, C., & Moore, T. (2015). Artificial Floating Islands. *Science Scope*, 2.
- Bi, R., Zhou, C., Jia, Y., Wang, S., Li, P., Reichwaldt, E. S., & Liu, W. (2019). Giving waterbodies the treatment they need: A critical review of the application of constructed floating wetlands. *Journal of Environmental Management*, 238, 484–498.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.064>
- Boglione, R., Griffa, C., & Panigatti, M. (2016). Distribución, determinación y remoción de Asénico en aguas.

file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Distribucion,%20determinacion%20y%20remocion%20de%20arsenico%20en%20agua%20(1).pdf

Bolaños Alfaro, J. D. (2016). Determinación de arsénico en agua potable del cantón del Grecia. *InterSedes*, 17(35). <https://doi.org/10.15517/isucr.v17i35.25561>

Bravo, A., & Gutierrez, E. (2019). “Islas flotantes artificiales con Achira (*Canna indica*) y Pasto guinea (*Panicum maximum*), como alternativa para la remoción de nitratos, fosfatos y cromo de agua procedente del río Cutuchi.” [Universidad Técnica de Cotopaxi].
file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/citas%20tesis/PC-000630.pdf

Bundschuh, J., Pérez, A., & Litter, M. (2009). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana (CYTED).
http://limza.uta.cl/jdownloads/Libros/distribucion_del_arsenico_en_las_regiones_ibrica_e_iberamericana.pdf

Caguana, E. (2018). DE VAJILLA DESECHABLE BIODEGRADABLE”. 88.

Calderón, J. (2017). Evaluación del factor de bioconcentración por metales pesados en la eichhornia crassipes presentes en la laguna Valle Hermoso [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7908/1/236T0307.pdf>

Campos, P. (2017). EVALUACIÓN DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) PARA LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO EROSIONADO EN LA FINCA EL LIMONAR, VEREDA ALTO DE LA PALMA, MELGAR (TOLIMA) [Universidad de Cundinamarca].
<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/953/Evaluaci%C3%B3n%20del%20Pasto%20Vetiver%20%28Chrysopogon%20Zizanioides%29%20para%20la%20Estabilizaci%C3%B3n%20de%20un%20Suelo%20Erosionado%20e>

- n%20la%20Finca%20el%20Limonar%2C%20Vereda%20Alto%20de%20la%20Palm
a%2C%20Melgar%20Tolima.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Capato, N. (2016). Distribución, determinación y remoción de Arsénico en aguas.
file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Distribucion,%20determinacion%20y%20rem
ocion%20de%20arsenico%20en%20agua%20(1).pdf
- Cartaya, O., & Reynaldo, I. (2008). CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE IONES COBRE (II)
POR UNA MEZCLA DE OLIGOGALACTURÓNIDOS. 7.
- Castelo, M. (2015). Determinación de Arsénico y Mercurio en agua de consumo del cantón
Rumiñahui por Espectrofotometría de Absorción Atómica [PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR].
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8658/Determinaci%C3%B3n%20de%20Ars%C3%A9nico%20y%20Mercurio%20en%20agua%20de%20consumo%20del%20Cant%C3%B3n%20Rumi%C3%B1ahui.pdf?sequence=1>
- Chang, Y., Cui, H., Huang, M., & He, Y. (2017). Artificial floating islands for water quality
improvement. *Environmental Reviews*, 25(3), 350–357. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0038>
- Cheng, H., Yang, X., Liu, A., Fu, H., & Wan, M. (2003). A Study on the Performance and
Mechanism of Soil-reinforcement by Herb Root System. 7.
- Cheng, S., Xiao, J., Xiao, H., Zhang, L., & Wu, Z. (2007). Phytoremediation of Triazophos by
Canna Indica Linn. In a Hydroponic System. *International Journal of Phytoremediation*,
9(6), 453–463. <https://doi.org/10.1080/15226510701709531>
- Ciciarelli, M. de las M. (2017). Morfología, nueva distribución geográfica de “*Canna amabilis*”
en la Argentina, afinidades y diferencias con otras especies del género. *Botanica
Complutensis*, 42, 83–91. <https://doi.org/10.5209/BOCM.61370>

- Contreras Pérez, J. B., Mendoza Gómez, C. L., & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 38–71. <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp38-71>
- Davamani, V., Indhu Parameshwari, C., Arulmani, S., Ezra John, J., & Poornima, R. (2021). Hydroponic phytoremediation of paperboard mill wastewater by using vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105528. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105528>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597–612.
- Deng, H., Ye, Z. H., & Wong, M. H. (2004). Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution*, 132(1), 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.030>
- Enyoh, C. E., & Isiuku, B. O. (2021). Competitive biosorption and phytotoxicity of chlorophenols in aqueous solution to *Canna indica* L. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100094>
- Ertan, M. (2020). Heavy Metal Contamination and Remediation of Water and Soil with Case Studies From Cyprus. En *Heavy Metal Toxicity in Public Health*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90060>
- Fernández, A. (2012). El agua: Un recurso esencial. 25.
- Fonseca Largo, K. M., Ruiz Depablos, J. L., Espitia-Sarmiento, E. F., & Llugsha Moreta, N. M. (2020a). Artificial Floating Island with Vetiver for Treatment of Arsenic-Contaminated Water: A Real Scale Study in High-Andean Reservoir. *Water*, 12(11), 3086. <https://doi.org/10.3390/w12113086>

- Fonseca Largo, K. M., Ruiz Depablos, J. L., Espitia-Sarmiento, E. F., & Llugsha Moreta, N. M. (2020b). Artificial Floating Island with Vetiver for Treatment of Arsenic-Contaminated Water: A Real Scale Study in High-Andean Reservoir. *Water*, 12(11), 3086. <https://doi.org/10.3390/w12113086>
- Gallegos, F. P. (2017). Rizofiltración de aguas de riego agrícola contaminados por metales pesados en comunidades del municipio de Atlixco, Puebla [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/967/017518T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M. F., Nasar-um-Minullah, Sharma, I., Kazi, A. G., & Ahmad, P. (2016). Chapter 15 - Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soil. En P. Ahmad (Ed.), *Plant Metal Interaction* (pp. 385–409). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1>
- Ghosh, K., & Sarkar, A. (2021). Evaluating urban wastewater remediation efficiency of the Hydroponic Vetiver System through predictive modelling using Artificial Neural Network. *Environmental Technology & Innovation*, 102007. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102007>
- González Miranda, M. I. (2017). Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero [Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona]. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <http://www.tdx.cat/handle/10803/404215>
- Hamman, K., Amer, A., & Noreldin, T. (2019). Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) Yield and its water use efficiency affected by different plant populations under reclaimed soil conditions. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 7, 126–134.

- Heinrich-Salmeron, A., Cordi, A., Brochier-Armanet, C., & Halter, D. (2011). Unsuspected Diversity of Arsenite-Oxidizing Bacteria as Revealed by Widespread Distribution of the *aoxB* Gene in Prokaryotes. *77*, 4685–4692. <https://doi.org/10.1128/AEM.02884-10>
- Herrera Apablaza, V., Carrasco Farías, C., Sandoval Cárcamo, P., & Cortés Carvajal, C. (2017). Transferencia de arsénico en el sistema aguasuelo-maíz de *Zea Mays* L. cultivados en la quebrada de Camiña, norte de Chile. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *83*(1), 52–64.
- Horsnail, R. F., Nichol, I., & Webb, J. S. (1969). Influence of variations in secondary environment on the metal content of drainage sediments (Vol. 64).
- Hu, H., Li, X., Wu, S., & Yang, C. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*, *315*, 123809. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123809>
- Ifon, B. E., Togbé, A. C. F., Tometin, L. A. S., Suanon, F., & Yessoufou, A. (2019). Metal-Contaminated Soil Remediation: Phytoremediation, Chemical Leaching and Electrochemical Remediation. En *Metals in Soil—Contamination and Remediation*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81223>
- Ilker, I., & Dogan, I. (2015). Chapter 9—Plant–Microbe Interactions in Phytoremediation. En *Soil Remediation and Plants* (pp. 255–285). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00009-7>
- Imbago, C., & Oña, E. (2019). BIORREMEDIACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO PROVENIENTE DE LA PARROQUIA TOACASO, MEDIANTE EL USO DE *Pleurotus ostreatus*, *Trichoderma harzianum* y *Pseudomonas aeruginosa* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17415/1/UPS-QT13961.pdf>

- International Agency for Research on Cancer. (2012). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 100 C, arsenic, metals, fibres, and dusts: This publication represents the views and expert opinions of an IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, which met in Lyon, 17 - 24 March 2009. IARC.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Jamil, S., Abhilash, P. C., Singh, N., & Sharma, P. N. (2009). *Jatropha curcas*: A potential crop for phytoremediation of coal fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1), 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.004>
- Jeevanantham, S., Saravanan, A., Hemavathy, R. V., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., & Yuvaraj, D. (2019). Removal of toxic pollutants from water environment by phytoremediation: A survey on application and future prospects. *Environmental Technology & Innovation*, 13, 264–276. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.007>
- Jochem, W. C., Razzaque, A., & Root, E. D. (2016). Effects of health intervention programs and arsenic exposure on child mortality from acute lower respiratory infections in rural Bangladesh. *International Journal of Health Geographics*, 15(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12942-016-0061-9>
- Kumar Yadav, K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L. M., Singh, N., Rezanian, S., & Ahmad Khan, S. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. *Ecological Engineering*, 120, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.039>
- La Hora. (2018, noviembre 18). Arsénico contamina el agua de las parroquias: Noticias Cotopaxi: La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo. La hora.

<https://lahora.com.ec/cotopaxi/noticia/1102201549/arsenico-contamina-el-agua-de-las-parroquias->

- Lal, R., Gupta, P., Chanotiya, C., & Mishra, A. (2020). Genetics of essential oil yield and their component traits in vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty). 9.
- Landinez, T., & Cubides, E. (2018). Eficiencia del pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en la remoción de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada – Meta. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
- Lasat, M. M., Pence, N. S., Garvin, D. F., Ebbs, S. D., & Kochian, L. V. (2000). Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Journal of Experimental Botany*, 51(342), 71–79.
- Li, Y., Zhang, M., Xu, R., Lin, H., Sun, X., Xu, F., Gao, P., Kong, T., Xiao, E., Yang, N., & Sun, W. (2021). Arsenic and antimony co-contamination influences on soil microbial community composition and functions: Relevance to arsenic resistance and carbon, nitrogen, and sulfur cycling. *Environment International*, 153, 106522. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106522>
- Limmer, M., & Burken, J. (2016). Phytovolatilization of Organic Contaminants. *Environmental Science & Technology*, 50(13), 6632–6643. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04113>
- Lin, H., Liu, C., Li, B., & Dong, Y. (2020). *Trifolium repens* L. regulated phytoremediation of heavy metal contaminated soil by promoting soil enzyme activities and beneficial rhizosphere associated microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123829. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123829>
- Lobo-Arias, M., Medina-Cano, C. I., Grisales-Arias, J. D., Yepes-Agudelo, A. F., & Álvarez-Guzmán, J. A. (2016). Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 47. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:558

- Londoño, L. F., Londoño, P., & Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Lucke, T., Walker, C., & Beecham, S. (2019). Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. *Science of The Total Environment*, 660, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.018>
- Martin, C. W. (2000). Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. *CATENA*, 39(1), 53–68. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00080-6)
- Martínez, L., & López, C. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 110–120.
- Masinire, F., Adenuga, D. O., Tichapondwa, S. M., & Chirwa, E. M. N. (2021). Phytoremediation of Cr(VI) in wastewater using the vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*). *Minerals Engineering*, 172, 107141. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107141>
- Medina, K., & Montano, Y. (2014). “Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza—Ancash 2013”. Universidad nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(1), 93–102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & García, F. P. (2009). CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA. 17.

- Mohammed Abdul, K. S., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P. S., Jayasumana, C., & De Silva, P. M. C. S. (2015). Arsenic and human health effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(3), 828–846. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.016>
- Montoya, E. A. R., Hernández, L. E. M., & Escareño, M. P. L. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. 16.
- Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., Cabello Torres, R., Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., & Cabello Torres, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177–186. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Muñoz, R. M. (2016). REVISIÓN PANORÁMICA DEL USO DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EN RESTAURACIÓN DE TALUDES COMO TÉCNICA DE. 119.
- Navarro, J., Aguilar, I., & López-Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix.
- Navoni, J. A., De Pietri, D., Garcia, S., & Villaamil Lepori, E. C. (2012). Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 31, 1–8. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892012000100001>
- Nejad, Z., Jung, M. C., & Kim, K.-H. (2018). Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(3), 927–953. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9964-z>
- Núñez, L. T. (2015). Acuerdo 097 -A. 184.

- Nuñez, R. A. N., Meas, Y. M., Borges, R. O., & Olgún, E. J. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. 15.
- Nuruzzaman, M., Anwar, A. H. M. F., Sarukkalige, R., & Sarker, D. C. (2021). Review of hydraulics of Floating Treatment Islands retrofitted in waterbodies receiving stormwater. *Science of The Total Environment*, 801, 149526. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149526>
- Oliveira, G. A., Colares, G. S., Lutterbeck, C. A., Dell’Osbel, N., Machado, Ê. L., & Rodrigues, L. R. (2021). Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of The Total Environment*, 773, 145609. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145609>
- OMS. (2018, febrero 15). Arsénico. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Ortega, M. C., Mojica-Ramos, S. L., Vergara-Navarro, E. V., & Sotelo-Cardona, P. (2020). Entomofauna asociada al cultivo de achira *Canna indica* (Cannaceae) en tres zonas de Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 46(1), e10167. <https://doi.org/10.25100/socolen.v46i1.10167>
- Otte, M. L., Kearns, C. C., & Doyle, M. O. (1995). Accumulation of arsenic and zinc in the rhizosphere of wetland plants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 55(1), 154–161. <https://doi.org/10.1007/BF00212403>
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- PDOT Latacunga. (2016). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial latacunga 2016—2028. https://www.latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf

- Pincha, L. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Toacaso– PDOT. https://toacaso.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2021/02/PDOT_TOACASO_2020.pdf
- Pleto, J., Simbahan, J., & Árboleda, M. (2019). Phytoremediation Potential of Vetiver Grass (*Chrysopogon* sp.) System for Improving the Water Quality of Aquaculture Ponds along the Marilao and Meycauayan River in Bulacan, Philippines. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/343-Article%20Text-1008-1-10-20200716.pdf>
- Prieto García, F., Prieto Méndez, J., Callejas Hernández, J., Román Gutiérrez, A. D., & Méndez Marzo, M. A. (2010). Bioacumulación de arsénico en las etapas de desarrollo de la cebada maltera (*Hordeum distichon* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(1), 37–44.
- Prieto, J., González, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & García, F. P. (2009). CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA. 17.
- Purihuamán, C., & Rojas, M. Y. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON LA ESPECIE VETIVER (*chrysopogon zizanioides*) EN HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL. *TZHOECOEN*, 10(1), 13–24.
- Ramírez, A. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica. *Anales de la Facultad de Medicina*, 74(3), 237. <https://doi.org/10.15381/anales.v74i3.2642>
- Ramirez, S. (2018). Uso de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como barrera viva para control de la erosión hídrica; Chicago, Suchitepéquez [Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/17/Ramirez-Salvador.pdf>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & Gonzalez, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. 66–77.

- Ríos, S., Agudelo, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rivera, I. (2018). Evaluación del potencial fitorremediador de metales pesados del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la laguna de oxidación del municipio de Jerusalén (Cundinamarca) [Universidad El Bosque]. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3438/Rivera_P%C3%A1ez_Ingrith_Patricia_2018.pdf?sequence=1
- Rivera, K. D. E. (2020). Producción y obtención de almidón de achira *Canna edulis* con fines comerciales en el municipio de Algeciras Huila. 75.
- Rizzo, A., Daga, R., Arcagni, M., Catán, S. P., Bubach, D., Sánchez, R., & Guevara, S. R. (2010). Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. *ECOLOGÍA AUSTRAL*, 20.
- Rocha, E. G. (2018). UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL. Universidad Federal de Campina Grande.
- Rodríguez, D. (2017). Occupational poisoning due to heavy metals. <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n12/san122112.pdf>
- Rodríguez, H. L., Peña, M., Gutiérrez, A. V., González, C. L., Montes, S. L., & López, G. G. (2017). Biorremediación de arsénico mediada por microorganismos genéticamente modificados. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 35(4), 353. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i4.220>
- Santillán, Lara, X. M. (2020). EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE ISLAS FLOTANTES COMO MÉTODO DE BIORREMEDIACIÓN EN EL ESTERO PALANQUEADO [UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL].

http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51396/1/Xavier%20Santillan_biorremediacion%20estero%20palanqueado.-signed.pdf

- Santini, J., & Vanden, R. (2004). Molybdenum-Containing Arsenite Oxidase of the Chemolithoautotrophic Arsenite Oxidizer NT-26 | Journal of Bacteriology. https://journals.asm.org/doi/10.1128/JB.186.6.1614-1619.2004?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed
- Saravanan, A., Jeevanantham, S., Narayanan, V. A., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., & Muthu, C. M. M. (2020). Rhizoremediation – A promising tool for the removal of soil contaminants: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103543. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103543>
- Shah, V., & Daverey, A. (2020). Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100774. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>
- Singh, B. K., & Trivedi, P. (2017). Microbiome and the future for food and nutrient security. *Microbial Biotechnology*, 10(1), 50–53. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12592>
- Siñan, A. (2012). EFECTO DE LA ALTURA DE CORTE Y EL NÚMERO DE CEPAS SOBRE LA PRODUCCION DEL VETIVER (*Chrysopogon zizanioides* L.), EN LOS YUNGAS DE LA PAZ. [UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7949/T-1670.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Suarez, S. (2018). Eficiencia del pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en la remoción de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada – Meta [Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21125/1122130398.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Teodoro, M., Hejzman, M., Vítková, M., Wu, S., & Komárek, M. (2020). Seasonal fluctuations of Zn, Pb, As and Cd contents in the biomass of selected grass species growing on contaminated soils: Implications for in situ phytostabilization. *Science of The Total Environment*, 703, 134710. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134710>
- Teófilo, T. M. da S., Mendes, K. F., Fernandes, B. C. C., Oliveira, F. S. de, Silva, T. S., Takeshita, V., Souza, M. de F., Tornisielo, V. L., & Silva, D. V. (2020). Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species. *Chemosphere*, 256, 127059. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127059>
- Tiwari, J., Ankit, Sweta, Kumar, S., Korstad, J., & Bauddh, K. (2019). Chapter 5—Ecorestoration of Polluted Aquatic Ecosystems Through Rhizofiltration. En V. C. Pandey & K. Bauddh (Eds.), *Phytomanagement of Polluted Sites* (pp. 179–201). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00005-3>
- Truong. (1999). *Vetiver Grass Technology for Mine Rehabilitation*. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin N° 2. Vetiver Conf. TH. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.615.9444&rep=rep1&type=pdf>
- Truong, P., & Thai, L. (2015). El sistema Vetiver para mejorar la calidad del agua. <https://www.vetiver.org/Water%20quality%20Spanish%20web%202.pdf>
- Villalobos, H., & Hidalgo, J. (2011). Informe: Arsénico en el Agua Potable. <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Informe%20Ars%C3%A9nico%20en%20el%20agua%20potable.pdf>
- Wetle, R., Bensko-Tarsitano, B., Johnson, K., Sweat, K. G., & Cahill, T. (2020). Uptake of uranium into desert plants in an abandoned uranium mine and its implications for phytostabilization strategies. *Journal of Environmental Radioactivity*, 220–221, 106293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106293>

- Xiong, J., He, Z., Van Nostrand, J. D., Luo, G., Tu, S., Zhou, J., & Wang, G. (2012). Assessing the Microbial Community and Functional Genes in a Vertical Soil Profile with Long-Term Arsenic Contamination. *PLoS ONE*, 7(11), e50507. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050507>
- Yang, H., Zhang, Y., & Zhang, J. (2021). Artificial Floating Island Technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 702(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/702/1/012044>
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of The Total Environment*, 368(2), 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
- Zhang, W., Cai, Y., Tu, C., & Ma, L. Q. (2002). Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. *Science of The Total Environment*, 300(1–3), 167–177. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00165-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00165-1)
- Zhao, F., Hamon, R. E., Lombi, E., McLaughlin, M. J., & McGrath, S. P. (2002). Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Journal of Experimental Botany*, 53(368), 535–543. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.368.535>

17.ANEXOS

Anexo 1: Toma de muestras de las especies fitorremediadoras

Ilustración 1: Muestreo de especies vegetativas “QT”.



Ilustración 2: Muestreo de especies vegetativas “TS”.



Ilustración 3: Etiquetado y sellado de muestras.



Ilustración 4: Muestra del Tallo Vetiver “QT”.



Ilustración 5: Muestra de Hojas Vetiver “QT”.



Ilustración 6: Muestra de Brotes Vetiver “QT”.



Ilustración 7: Muestra de Raíces Vetiver “QT”.



Ilustración 8: Muestra de Tallo Achira “QT”.



Ilustración 9: Muestra de Hojas Achira “QT”.



Ilustración 10: Muestra de Brotes Achira “QT”.



Ilustración 11: Muestra de Raíces Achira “QT”.



Ilustración 12: Muestra del Tallo Vetiver “TS”.



Ilustración 13: Muestra de Hojas Vetiver “TS”.



Ilustración 14: Muestras de Brotes Vetiver “TS”.



Ilustración 15: Muestras de Raíces Vetiver “TS”.



Anexo 2: Resultado de la concentración de As y Fe en agua. Reservorio Quebrada de Tiliche "QT" Laboratorio CICAM



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 29 de marzo de 2021

No.IRS-21-135

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-03-16
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-037
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21-135
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 26 de marzo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 12,1°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	N° de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-15	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	C-01			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Reservorio Quebrada de Tiliche UTM (17M) X=752053,00 Y= 9919800,00			
Origen de la muestra:	Altitud: 3548 m			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	1,11
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	3,71

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.IRS-21-164

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarquí N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21-164
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-26	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	C-02			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Reservorio Quebrada de Tiliche UTM (17M) X=752053,00 Y=9919800,00			
Origen de la muestra:	Altitud: 3548 m			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	1,15
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	3,95

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.IRS-21-166

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 166
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-29	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	C-03			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Reservorio Quebrada de Tiliche UTM (17M) X=752053,00 Y=9919800,00			
Origen de la muestra:	Altitud: 3548 m			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	1,31
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	4,28

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jarro Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador

INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la c:
Código de la muestra: MS-21- 170
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-:
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: Estudios de Calidad de Agua de Riego
Fecha de muestreo: 2021-04-08
Rotulación de la muestra: C-04
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Natural
Lugar de muestreo: Reservorio Quebrada de Tiliche
UTM (17M)
X=752053,00
Y=9919800,00
Altitud: 3548 m
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico
Nº de envases: 2
Preservante: Ácido

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	0,796
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	3,00

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO



Anexo 3: Resultado de la concentración de As y Fe en agua. Reservorio Tiliche San José Bajo "TS" Laboratorio CICAM.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+ 593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+ 593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 29 de marzo de 2021

No.IRS-21-134

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacomc@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-03-16
No. Oferta de Servicio: OE20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-037
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 134
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 26 de marzo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 12,1°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-15	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	A-03			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Reservorio Tiliche-San José			
	UTM (17M)			
Origen de la muestra:	X=759674,96			
	Y=9912242,39			
	Altitud: 3113 m			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	0,678
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	1,80

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.IRS-21-1

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacomc@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 163
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: Estudios de Calidad de Agua de Riego
Fecha de muestreo: 2021-03-26
Rotulación de la muestra: A-04
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Natural
Lugar de muestreo: Reservorio Tiliche - San José UTM (17M)
X=759674,96
Y=9912242,39
Altitud: 3113 m
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico
Nº de envases: 1
Preservante: Ácido

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	0,645
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	1,05

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.IRS-21-165

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 165
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-29	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	A-05			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Reservorio Tiliche - San José UTM (17M) X=759674,96 Y=9912242,39 Altitud: 3113 m			
Origen de la muestra:	Cliente			
Responsable de muestreo:				

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	0,743
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	1,08

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe


Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO


Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.IRS-21-169

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui Nº 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 169
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-04-08	Plástico	2	Ácido
Rotulación de la muestra:	A-06			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Reservorio Tiliche - San José UTM (17M) X=759674,96 Y=9912242,39 Altitud: 3113 m			
Origen de la muestra:				
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/L	1,45
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/L	4,71

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO



Anexo 4: Resultados de concentraciones de As de sedimentos. Fuente Natural y Reservorios "TS" y "QT" Laboratorio CICAM



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 17 de mayo de 2021

No.IRS-21-168

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-04-27
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-047
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 168
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 29 de abril al 03 de mayo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,7°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-31	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	Y-01			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Sedimentos			
Lugar de muestreo:	Páramo de los Ilinizas UTM (17M) X=752770,53 Y=9921955,86 Altitud: 3773 m			
Origen de la muestra:				
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/Kg	9228,08
(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/Kg	35028,68

Acreditaciones:

(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: 
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 29 de marzo de 2021

No.IRS-21-136

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacome@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-03-16
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-037
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 136
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 24 al 26 de marzo de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 12,1°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Estudios de Calidad de Agua de Riego	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2021-03-15	Plástico	1	Ácido
Rotulación de la muestra:	D-01			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Sedimento			
Lugar de muestreo:	Reservorio Quebrada de Tiliche UTM (17M)			
Origen de la muestra:	X= 752053,00 Y= 9919800,00 Altitud: 3548 m			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	Absorción atómica / EPA 7010	mg/Kg	19273
^(c) Hierro total	Absorción atómica / EPA 7000 B	mg/Kg	87240

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 13 de septiembre de 2021

No.IRS-21-372

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi
Nombre del Representante: Jorge Gonzalo Guamán Coronel
Cédula / RUC: 0560000110001
Dirección: Tarqui N° 507 y Quito
Teléfono convencional: (03) 2800 416 - 2800 418
Teléfono celular: 0998049714
Correo electrónico: mpadillajacom@yahoo.com

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-03
No. Oferta de Servicio: OF20-174
No. Solicitud de trabajo: ST-21-114
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-21- 372
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis:
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: Estudios de Calidad de Agua de Riego
Fecha de muestreo: 2021-08-27
Rotulación de la muestra: B-01
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Sedimento
Lugar de muestreo: Reservorio Tiliche - San José UTM (17M)
Origen de la muestra: X=759674,96
Y=9912242,39
Altitud: 3113 msm
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico
N° de envases: 1
Preservante: Ácido

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Arsénico	PE-V-62 EPA7010 / Absorción atómica	mg/Kg	44354,13
^(c) Hierro total	PE-V-59 EPA 7000 B / Absorción atómica	mg/Kg	170200

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe


Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO




Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADORA DE LABORATORIO

Anexo 5: Resultados de las concentraciones de As y Fe en la morfología de las especies Pasto Vetiver y Achira. Laboratorio (UDLA).

Ilustración 16: Informe Inicial del Laboratorio de la UDLA.

 		INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación	
Nombre del Solicitante:	Carlos Córdova		
Fecha de entrega de muestras:	Agosto 17, 2021		
Fecha de análisis:	Agosto 20, 2021		
Condiciones de muestra:	Las muestras fueron entregadas en fundas Ziploc etiquetadas con los códigos establecidos por el solicitante.		
Preparación de muestra:	Se pesó 0.5 g de muestra seca y molida y se añadió 1 ml de Peróxido de Hidrógeno, 7 ml de Ácido Nítrico Libre de metales y 1 ml de Agua Ultrapurificada. Se digirió la muestra en el microondas CEM modelo MARS6 con la metodología Plant Material para plantas; después de la digestión se filtró la muestra en balones de 25 ml y se aforó con agua Tipo I.		
Técnica utilizada:	ICP-OES (Plasma Inductivo Acoplado)		
Método de digestión utilizado:	Plant Material		
Fecha de entrega de resultados:	Agosto 31, 2021		
Responsable del análisis:	Genoveva Granda		

Ilustración 17: Resultado Inicial de As en las especies Pasto Vetiver y Achira.

 		INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación		RESULTADOS METALES ppm [mg/Kg]									
Muestra	Código	Peso	Dilución	Al	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co
1	AB-01	0,5722	25 mL	163,3430	1,2410	N/D	5,9430	23,6340	0,0710	57,1170	3200,0780	0,0570	N/D
2	AH-01	0,6181	25 mL	1266,2940	3,2290	N/D	3,8460	51,8690	0,0310	51,6050	2687,6900	0,0930	0,5940
3	AR-01	0,8076	25 mL	378,2020	1,1190	N/D	2,8290	11,0460	0,0430	39,5090	1174,4710	0,0740	N/D
4	AT-01	0,7107	25 mL	34,8870	0,3460	N/D	2,6040	6,8710	0,0600	45,1530	1037,5770	0,0600	N/D
5	CBA-01	0,6042	25 mL	234,4580	0,9200	N/D	5,9580	4,6680	0,0580	52,8050	1650,3700	0,0590	N/D
6	CBU-01	0,5500	25 mL	239,6230	1,4640	N/D	6,2620	23,9970	0,0640	57,5190	3135,8090	0,0460	N/D
7	CHA-01	0,5635	25 mL	224,1450	1,8650	1,2540	14,2170	5,2870	0,0580	55,5840	3992,3940	0,0870	N/D
8	CHU-01	0,4767	25 mL	1623,9100	4,4150	N/D	5,2480	57,5200	0,0290	64,3280	3296,4940	0,0740	0,8550
9	CRA-01	0,5968	25 mL	542,5310	2,0570	0,7600	6,2910	8,0370	0,0400	51,4550	2295,5830	0,1000	N/D
10	CRU-01	0,5575	25 mL	540,6640	1,5140	N/D	3,2910	12,0410	0,0540	54,1510	1282,2950	0,1400	N/D
11	CTA-01	0,5908	25 mL	146,8050	1,3880	0,8720	10,6070	7,3430	0,0590	53,0100	3104,4380	0,0480	N/D
12	CTU-01	0,5410	25 mL	48,1750	0,8070	N/D	7,6420	14,9720	0,0670	52,8120	1957,7690	0,0630	N/D

Observaciones: N/D: No detectado

Ilustración 18: Resultado Inicial de Fe en las especies Pasto Vetiver y Achira.

 		INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación		RESULTADOS METALES ppm [mg/Kg]									
Muestra	Código	Peso	Dilución	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg	Mn
1	AB-01	0,5722	25 mL	2,3750	N/D	9,1120	300,4210	N/D	4,1310	16761,1020	0,5570	1624,3690	58,8800
2	AH-01	0,6181	25 mL	5,6620	N/D	6,9800	974,0670	N/D	4,3710	1438,1530	0,5280	835,1590	62,9430
3	AR-01	0,8076	25 mL	3,1600	N/D	38,8650	546,8800	N/D	1,9370	1550,7580	0,2410	438,5410	21,1000
4	AT-01	0,7107	25 mL	1,8550	N/D	28,8740	96,1950	N/D	2,0320	13553,0360	0,0650	852,7890	26,8240
5	CBA-01	0,6042	25 mL	1,3200	N/D	9,2370	219,9870	N/D	1,8330	28635,7180	0,3260	2291,6250	11,0110
6	CBU-01	0,5500	25 mL	3,4450	N/D	9,3410	243,1970	N/D	2,5690	17629,5760	0,6270	1502,0560	29,3950
7	CHA-01	0,5635	25 mL	3,7970	N/D	9,4810	270,3920	N/D	2,6120	41512,2250	0,8290	2507,2170	40,1340
8	CHU-01	0,4767	25 mL	7,9780	N/D	7,7810	1257,2480	N/D	3,7090	1642,3020	0,7630	904,2170	47,6390
9	CRA-01	0,5968	25 mL	2,9100	N/D	6,8630	479,7900	N/D	2,7800	25285,2490	0,7030	2300,3960	16,3940
10	CRU-01	0,5575	25 mL	4,6670	N/D	40,4880	694,5700	N/D	2,4450	3953,2860	0,3310	731,7870	27,0050
11	CTA-01	0,5908	25 mL	2,2870	N/D	7,6890	169,4130	N/D	2,6230	4266,5290	0,6970	5630,6590	12,1590
12	CTU-01	0,5410	25 mL	1,8910	N/D	34,0010	119,4240	N/D	2,7200	22839,7720	0,1370	2189,2470	39,2850

Observaciones: N/D: No detectado

Ilustración 19: Informe Intermedio emitido por el Laboratorio de la UDLA.

  INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN		RESULTADOS DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE MERCURIO Y METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación	
Nombre del Solicitante:	Carlos Córdova		
Fecha de entrega de muestras:	Agosto 30, 2021		
Fecha de análisis:	Septiembre 07, 2021		
Condiciones de muestra:	Las muestras fueron entregadas en congelación en fundas Ziploc etiquetadas con los códigos establecidos por el solicitante.		
Preparación de la muestra:	Se liofilizaron las muestras por 7 días. Se pesó 0,5 g de muestra seca y molida y se añadió 7 ml de Ácido Nítrico Trace Meta, 2 mL de Peróxido de Hidrógeno y 1 mL de agua tipo I. Después de la digestión se filtró la muestra en balones de 25 ml y se aforó con agua Tipo I.		
Técnica utilizada:	ICP-OES (Plasma Inductivo Acoplado)		
Método de digestión utilizado:	Microondas CEM método preestablecido "Plant Material"		
Fecha de entrega de resultados:	Septiembre 09, 2021		
Responsable del análisis:	David Zapata Cravajal		

Ilustración 20: Resultado Intermedio de As en las especies Pasto Vetiver y Achira.

  INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN		RESULTADOS DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación		RESULTADOS METALES ppm [mg/Kg]				
N° Muestra	Código	Peso	Dilución (mL)	Ag	Al	As	B	Ba
Muestra 1	CTV-02	0.5043	25	1.312	350.774	93.891	116.731	28.873
Muestra 2	CTA-02	0.5019	25	0.896	31.303	198.922	126.811	3.875
Muestra 3	CRV-02	0.5397	25	0.726	28.839	24.065	102.546	4.386
Muestra 4	CRA-02	0.5026	25	2.038	702.894	8.402	74.526	42.607
Muestra 5	CHV-02	0.5883	25	1.741	667.501	403.784	105.063	14.295
Muestra 6	CHA-02	0.5168	25	0.363	7.905	1.811	34.601	3.950
Muestra 7	CBV-02	0.5087	25	0.836	91.502	121.687	138.642	13.932
Muestra 8	CBA-02	0.5485	25	0.619	18.419	15.365	46.619	1.490
Muestra 9	AT-02	0.5300	25	0.414	39.499	1.827	81.530	4.883
Muestra 10	AR-02	0.5120	25	0.845	52.373	86.803	48.121	3.516
Muestra 11	AH-02	0.5091	25	1.064	481.979	190.208	50.635	15.968
Muestra 12	AB-02	0.5127	25	0.943	109.426	49.611	214.757	14.095

Ilustración 21: Resultado Intermedio de Fe en las especies Pasto Vetiver y Achira.

  INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN		RESULTADOS DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación		[mg/Kg]		RESULTADOS MET		
N° Muestra	Código	Peso	Dilución (mL)	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga
Muestra 1	CTV-02	0.5043	25	0.847	N/D	4.689	582.959	N/D
Muestra 2	CTA-02	0.5019	25	0.700	N/D	8.900	776.502	N/D
Muestra 3	CRV-02	0.5397	25	1.241	N/D	6.732	152.591	N/D
Muestra 4	CRA-02	0.5026	25	1.063	N/D	4.703	575.468	N/D
Muestra 5	CHV-02	0.5883	25	1.166	N/D	17.770	2292.961	N/D
Muestra 6	CHA-02	0.5168	25	0.498	N/D	11.235	31.311	N/D
Muestra 7	CBV-02	0.5087	25	0.842	N/D	7.643	534.195	N/D
Muestra 8	CBA-02	0.5485	25	0.370	N/D	5.677	90.328	N/D
Muestra 9	AT-02	0.5300	25	0.419	N/D	9.391	51.929	N/D
Muestra 10	AR-02	0.5120	25	0.595	N/D	6.832	398.141	N/D
Muestra 11	AH-02	0.5091	25	1.031	N/D	15.296	1400.015	N/D
Muestra 12	AB-02	0.5127	25	0.838	N/D	5.988	300.690	N/D

Ilustración 22: Resultado Final emitido por el Laboratorio UDLA.

  INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN		RESULTADOS DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE MERCURIO Y METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación	
Nombre del Solicitante:	Carlos Córdova		
Fecha de entrega de muestras:	Agosto 30, 2021		
Fecha de análisis:	Septiembre 07, 2021		
Condiciones de muestra:	Las muestras fueron entregadas en congelación en fundas Ziploc etiquetadas con los códigos establecidos por el solicitante.		
Preparación de la muestra:	Se liofilizaron las muestras por 7 días. Se pesó 0,5 g de muestra seca y molida y se añadió 7 ml de Ácido Nítrico Trace Meta, 2 mL de Peróxido de Hidrógeno y 1 mL de agua tipo I. Después de la digestión se filtró la muestra en balones de 25 ml y se aforó con agua Tipo I.		
Técnica utilizada:	ICP-OES (Plasma Inductivo Acoplado)		
Método de digestión utilizado:	Microondas CEM método preestablecido "Plant Material"		
Fecha de entrega de resultados:	Septiembre 09, 2021		
Responsable del análisis:	David Zapata Cravajal		

Ilustración 23: Resultado Final de As en la especie Pasto Vetiver y Achira.

  INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN		INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación			
RESULTADOS METALES ppm [mg/Kg]					
Muestra	Código	Peso	Dilución	As 193,759 (474) (Axial) [mg/Kg]	B 249,678 (135) (Axial) [mg/Kg]
1	AB-03	0,5049	25 mL	87,707	337,809
2	AH-03	0,5074	25 mL	23,088	73,985
3	AR-03	0,5215	25 mL	204,057	136,911
4	AT-03	0,5121	25 mL	17,629	64,649
5	CBA-03	0,5088	25 mL	297,655	178,776
6	CBU-03	0,4849	25 mL	545,839	265,454
7	CHA-03	0,4998	25 mL	489,794	205,438
8	CHU-03	0,5142	25 mL	301,221	99,707
9	CRA-03	0,5184	25 mL	149,023	51,982
10	CRU-03	0,5201	25 mL	292,176	71,031
11	CTA-03	0,5172	25 mL	105,286	97,235
12	CTU-03	0,5280	25 mL	19,634	85,461

Ilustración 24: Resultado Final de Fe en la especie Pasto Vetiver y Achira.

  INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN		INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación			
RESULTADOS METALES ppm [mg/Kg]					
Muestra	Código	Peso	Dilución	Cu 327,396 (103) (Axial) [mg/Kg]	Fe 259,940 (130) (Radial) [mg/Kg]
1	AB-03	0,5049	25 mL	10,587	519,076
2	AH-03	0,5074	25 mL	6,048	504,565
3	AR-03	0,5215	25 mL	50,662	4591,638
4	AT-03	0,5121	25 mL	22,063	450,597
5	CBA-03	0,5088	25 mL	12,741	1367,139
6	CBU-03	0,4849	25 mL	10,379	2122,202
7	CHA-03	0,4998	25 mL	11,867	1919,843
8	CHU-03	0,5142	25 mL	3,871	1398,374
9	CRA-03	0,5184	25 mL	5,413	672,739
10	CRU-03	0,5201	25 mL	69,482	6242,938
11	CTA-03	0,5172	25 mL	12,081	764,647
12	CTU-03	0,5280	25 mL	17,159	208,122

Ilustración 25: Informe Final emitido por el Laboratorio de la UDLA.

		INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP) Laboratorios de Investigación	
Nombre del Solicitante:	Carlos Córdova		
Fecha de entrega de muestras:	Septiembre 21, 2021		
Fecha de análisis:	Septiembre 30, 2021		
Condiciones de muestra:	Las muestras fueron entregadas en fundas Ziploc etiquetadas con los códigos establecidos por el solicitante.		
Preparación de muestra:	Se pesó 0,5 g de muestra seca y molida y se añadió 1 ml de Peróxido de Hidrógeno, 7 ml de Ácido Nítrico Libre de metales y 1 ml de Agua Ultrapurificada. Se digirió la muestra en el microondas CEM modelo MARS6 con la metodología Plant Material para plantas; después de la digestión se filtró la muestra en balones de 25 ml y se aforó con agua Tipo I.		
Técnica utilizada:	ICP-OES (Plasma Inductivo Acoplado)		
Método de digestión utilizado:	Plant Material		
Fecha de entrega de resultados:	Octubre 04, 2021		
Responsable del análisis:	Genoveva Granda		

Anexo 6: Disposición final de las especies fitorremediadoras

Ilustración 26: Donación de las especies a la comunidad.**Ilustración 27:** Ceremonia de donación de las especies.

