



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR ARSÉNICO EN LA CAPTACIÓN
DEL PROYECTO DE RIEGO CHILLA GRANDE”.**

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

Autores:

Campaña Pallasco Edward Alexander

Moreno Chicaiza Evelyn Liseth

Tutor:

MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

Latacunga-Ecuador

Febrero-2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **CAMPAÑA PALLASCO EDWARD ALEXANDER**, con C.C. 0503776650 y **MORENO CHICAIZA EVELYN LISETH** con C.C. 0503868511 declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**EVALUACIÓN DEL SISTEMA ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR ARSÉNICO EN LA CAPTACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO CHILLA GRANDE**”, siendo la **MSc. KALINA MARCELA FONSECA LARGO** 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 investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Edward Alexander Campaña Pallasco

C.I. 050377665-0



Evelyn Liseth Moreno Chicaiza

C.I. 05036865-1



MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

C.I. 172353445-7

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHO DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **Edward Alexander Campaña Pallasco**, identificado con C.C. N° **050377665-0**, de estado civil **soltero** y con domicilio en la parroquia Toacaso y **Evelyn Liseth Moreno Chicaiza** identificada con C.C. N° **050368651-1** de estado civil **soltera** y con domicilio en el barrio Cristo Rey, parroquia Once de Noviembre; a quienes en lo sucesivo se denominará **LA/EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector 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/EL CEDENTE**, es una persona natural estudiantes de la carrera de Ingeniería De Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Proyecto de Investigación** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. - (ABRIL 2015 -AGOSTO 2015 hasta OCTUBRE 2019- MARZO 2020)

Aprobación del CD. – 15 de Noviembre del 2019

Tutor. - MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

Tema: “EVALUACIÓN DEL SISTEMA ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS POR ARSÉNICO EN LA CAPTACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO CHILLA GRANDE”.

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/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

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

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) 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/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga a los 21 días del mes de febrero del 2020.



.....
Edward Alexander Campaña Pallasco

EL CEDENTE



.....
Evelyn Liseth Moreno Chicaiza

LA CEDENTE

.....
Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

EL CESIONARIO

Latacunga, 07 de Febrero del 2020

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“Evaluación del sistema de Islas Flotantes Artificiales (IFA) en el tratamiento de aguas contaminadas por arsénico en la captación del proyecto de riego Chilla Grande”, del sr. Edward Alexander Campaña Pallasco y la srta. Evelyn Liseth Moreno Chicaiza, estudiantes 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 ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.



.....

MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

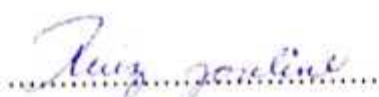
C.C. 172353445-7

Latacunga, 07 de Febrero del 2020

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“Evaluación del sistema de Islas Flotantes Artificiales (IFA) en el tratamiento de aguas contaminadas por arsénico en la captación del proyecto de riego Chilla Grande”, del sr. Edward Alexander Campaña Pallasco y la srta. Evelyn Liseth Moreno Chicaiza, estudiantes 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 ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.



Lector 1 (Presidenta)
MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos
CC: 175873906-2



Lector 2
Ing. Vladimir Ortiz Bustamante Mg.
CC: 050218845-1



Lector 3
Ing. José Luis Agreda Oña Mg.
CC: 040133210-1

AGRADECIMIENTOS

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Agradezco profundamente a mis Familiares que siempre están pendientes de mí, brindándome su apoyo incondicional y mis Amigos por brindarme su valiosa amistad y tener la oportunidad de compartir momentos maravillosos.

Un cordial agradecimiento a las autoridades y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales y a la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente. Y a los funcionarios de GADPC de la dirección de Riego y Drenaje quienes nos dieron la oportunidad de formar parte de tan prestigiosa institución para llevar a cabo nuestros estudios y formarnos para enfrentar el ámbito profesional.

Edward Alexander Campaña Pallasco

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, tristes y alegres. Estas palabras en especial son para ustedes Carmita y Milton, mis padres, a quienes agradezco su esfuerzo, dedicación, paciencia, confianza y por todo lo que me han dado a lo largo de mi carrera y de mi vida, GRACIAS por dejarme la mejor herencia, la más valiosa, mi profesión.

A mi compañero de vida Cristian Pacheco, quien, con su ayuda, paciencia, sus consejos y sobre todo su amor ha sido el apoyo suficiente para no decaer cuando por golpes de la vida todo se tornó gris, GRACIAS porque solo así pude concluir esta meta.

De igual manera a la MSc. Kalina Fonseca, quien con su dirección, conocimiento, paciencia y colaboración permitió culminar esta investigación con éxito.

Al, Ing. Juan Estrada, Ing. Camilo Zapata e Ing. Dayana Camino, funcionarios del GAD de la Provincia de Cotopaxi; grandes amigos a quienes les debo sus palabras de aliento, colaboración y conocimientos para la ejecución de este proyecto.

Evelyn Liseth Moreno Chicaiza

DEDICATORIAS

El presente trabajo, fruto de mi constancia y determinación lo dedico a Dios quien me da sabiduría y me bendice siempre. A mis padres por darme la vida, brindarme su cariño y apoyo incondicional día a día, ya que con su sacrificio y esfuerzo me dieron la fuerza para cumplir cada uno de los objetivos trazados, es por esa razón que siempre serán el pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos por estar conmigo en las buenas y en las malas, brindarme sus consejos y apoyo.

A mi sobrina por ser ese angelito que me alegra la vida día a día con sus locuras.

A Todos mis Familiares y Amigos que siempre han estado en las buenas y en las malas brindándome su apoyo.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Edward Alexander Campaña Pallasco

Quiero dedicar este proyecto que con mucho esfuerzo y dedicación lo he realizado, a mis padres quienes me han permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi pequeña sobrina Sofía, a quien quiero como una hija y es quien con su sonrisa ilumina mi vida desde el día que nació.

De una manera especial, a alguien quien marcó un antes y un después en mi vida, una de las personas que más quise, aunque no se lo decía a diario y a quien sigo queriendo a pesar de que nunca más volveré a ver, escuchar y nunca más podré abrazar, mi hermano Adonis; quien está lejos de mis ojos, pero siempre presente en mis pensamientos y en mi corazón; esto va por ti, porque sé que donde quiera que estés vas a estar orgulloso de mí y siempre vas a estar a mi lado en cada paso que dé. Hermano mío gracias por los momentos compartidos y dejarme tantos bellos recuerdos, gracias por hacerme más fuerte, más valiente y decidida.

Evelyn Liseth Moreno Chicaiza

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

TITULO: “Evaluación del sistema de Islas Flotantes Artificiales (IFA) en el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico en la captación del proyecto de riego Chilla Grande”.

Autores: Campaña Pallasco Edward Alexander
Moreno Chicaiza Evelyn Liseth

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la remoción de As por efecto del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la captación del proyecto de riego Chilla Grande, ubicado en la zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica Ilinizas, para ello se utilizó una alternativa eficiente y de bajo costo para la remoción de As es el sistema de Islas Flotantes Artificiales en combinación de la especie Vetiver (IFAV), un sistema ecotecnológico ante la creciente necesidad de procesos de descontaminación de cuerpos de agua, el cual combina simultáneamente economía, estética y eficiencia.

El estudio se realizó en dos etapas; la primera de adaptación de la especie en el suelo y en el agua a una altitud de 3190 msnm. En la segunda etapa se instaló las dos islas flotantes de 0.80 m² con 25 plantas de vetiver en cada isla, en un tanque reservorio de 1800 L ubicado en la zona de estudio a 3700 msnm. Para el proceso de evaluación de remoción de As se realizó 8 monitoreos de agua (4 de concentraciones iniciales y 4 de concentraciones finales) cada 40 días por 5 meses, 2 muestras para la determinación de metales (As y Fe) en sedimentos precipitados en el tanque reservorio y de la misma manera 2 muestras de lodos de los remanentes de las vertientes y finalmente se realizó el análisis de multi-elementos (As y Fe) en las raíces. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Control de la Calidad de Agua de la EPMAPS y mediante la aplicación de la ecuación de porcentaje de remoción se obtuvieron los siguientes resultados de remoción As desde 94% a 99% en el cuerpo de agua evaluado. Además, en las raíces se pudo observar la acumulación de As y Fe. Como conclusión se determinó que el sistema islas flotantes con la especie *Chrysopogon zizanioides* fue una alternativa para la remoción de As para la captación del proyecto de riego Chilla Grande.

Palabras Claves: islas flotantes, vetiver, fitorremediación, arsénico, contaminación del agua

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

TITLE: “Evaluation of Artificial Floating Islands (IFA) system at arsenic contaminated water treatment at Chilla Grande irrigation project”.

Authors: Campaña Pallasco Edward Alexander
Moreno Chicaiza Evelyn Liseth

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate As removal by vetiver effect (*Chrysopogon zizanioides*) at Chilla Grande irrigation project, located in the buffer zone of Ilinizas Ecological Reserve. For this purpose, an efficient and low cost alternative for the removal of As was used, the Artificial Floating Island system in combination with the Vetiver species (IFAV), an ecotechnological system to the growing need for processes of decontamination of water bodies, which simultaneously combines economy, aesthetics and efficiency.

The research was conducted in two stages; first was adaptation of the species in the soil and water at an altitude of 3190 meters above sea level. In the second stage, two floating islands of 0.80 m² were installed with 25 vetiver plants each one, in an 1800 L reservoir tank located in the study area at 3700 meters above sea level. For the process, 8 water monitoring (4 initial concentrations and 4 final concentrations) were performed every 40 days for 5 months, 2 samples to determine metals (As and Fe) in sediments precipitated in reservoir tank and in the same way 2 samples of sludge from slopes remnants and finally the analysis of multi-elements (As and Fe) roots was performed. The samples were analyzed in the EPMAPS Water Quality Control Laboratory by removal percentage equation the following As removal results were obtained from 94% to 99% in the body of evaluated water. In addition, As and Fe accumulation was observed in the roots. In conclusion, it was determined that floating islands system with *Chrysopogon zizanioides* species was an alternative for As removal for capture of Chilla Grande irrigation project.

Keywords: floating islands, vetiver, phytoremediation, arsenic, water pollution

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHO DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5. OBJETIVOS:	5
5.1 Objetivo General	5
5.2 Objetivos Específicos	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7
7.1. Contaminación de arsénico en el agua	7
7.1.1 El arsénico	7
7.1.2 Arsénico en el agua	7
7.1.3 Origen del arsénico por contaminación natural y antropogénica	8
7.1.4 Relación del arsénico (As) y otros metales	9
7.1.5 Efectos en la salud humana	12
7.2 Fitorremediación	12
7.2.1 Islas flotantes artificiales (IFA)	14
7.2.2 Aplicación	15
7.2.3 Materiales, estructura y diseño de la isla flotante.	15
7.2.4 Funcionamiento	16
7.2.5 Ventajas de islas flotantes	18
7.2.6 IFA en Ecuador	18

7.3 Vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>).....	20
7.3.1 Ecología del vetiver.....	20
7.3.2 Características	21
7.3.3 Tolerancia	22
7.3.4 Usos del vetiver	22
7.3.5 Fitorremediación con Vetiver.....	23
8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.....	24
9. METODOLOGÍA	24
9.1 Área de estudio	26
9.2 Adaptación de la planta fitorremediadora	27
9.2.1 Adaptación en el suelo	27
9.2.2 Adaptación en el agua.....	28
9.3 Construcción del sistema integral IFA.....	28
9.3.1 Construcción de las Islas Flotantes Artificiales	28
9.3.2 Construcción del reservorio	29
9.4 Evaluación	30
9.4.1 Muestras.....	30
9.4.2 Determinación del porcentaje de remoción de As	32
9.4.3 Límites máximos permisibles	32
9.5 Disposición final del sistema integral IFA	33
9.5.1 Disposición final de la matriz flotante.....	33
9.5.2 Disposición final de material vegetativo.....	33
10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	34
10.1 Resultado de la adaptación del vetiver.....	34
10.2 Construcción del sistema integral IFA.....	35
10.2.1 Resultado de la construcción de las Islas Flotantes Artificiales.....	35
10.2.2 Resultado de la construcción del reservorio.....	36
10.3 Evaluación	37
10.3.1 Resultados de los muestreos	37
10.4 Disposición Final del sistema IFA	41
11. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	41
12. IMPACTOS.....	43
12.1 Ambientales	43
12.2 Socioeconómico.....	43
13. PRESUPUESTO.....	45

14. CONCLUSIONES	47
15. RECOMENDACIONES	47
16. REFERENCIAS	48
ANEXOS	1
Anexo 1: Zona de estudio	8
Anexo 2: Adaptación del vetiver en el suelo	8
Anexo 3: Construcción de la matriz flotante	9
Anexo 4: Adaptación del vetiver en el agua	10
Anexo 5: Elaboración del sustrato (fibra de coco)	10
Anexo 6: Construcción del tanque reservorio	11
Anexo 8: Toma de muestras de lodos	13
Anexo 9: Toma de muestras de raíces del vetiver	13
Anexo 10: Resultados de las concentraciones de As en el agua. Laboratorio (EPMAPS)	15
Anexo 11: Resultados de las concentraciones de Fe en el agua. Laboratorio (EPMAPS)	20
Anexo 12: Resultados de las concentraciones de Fe en el agua. Laboratorio (EPMAPS)	24
Anexo 13: Resultados del análisis de Multi-elementos (As-Fe) en las raíces del vetiver.	27
Anexo 14: Disposición final del vetiver y del sustrato (fibra de coco)	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Beneficiarios directos	3
Tabla 2: Beneficiarios indirectos	3
Tabla 3: Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos	6
Tabla 4: Taxonomía Vetiver	20
Tabla 5: Comportamiento del vetiver en la acumulación de metales pesados	22
Tabla 6: Coordenadas del área de estudio	27
Tabla 7: Materiales y elaboración del sustrato	29
Tabla 8: Requerimientos para la toma de muestras de agua	31
Tabla 9: Tabla3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.	33
Tabla 10: Tabla9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	33
Tabla 11: Resultados de la adaptación en el suelo	35
Tabla 12: Resultado de la adaptación en el agua	35
Tabla 13: Resultado de los muestreos de agua.	37
Tabla 14: Resultados de arsénico en sedimentos	39
Tabla 15: Resultados de hierro en sedimentos	40
Tabla 16: Resultados del análisis de Arsénico e Hierro en raíces del Vetiver	41
Tabla 17: Presupuesto	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Especies de arsénico encontradas en el agua	8
Figura 2: Esquema que muestra los ojos de hierro en zonas húmedas y sistemas acuáticos.	10
Figura 3: Condición redox del suelo (mV) que influye en las transformaciones de metal y metaloide	11
Figura 4: Distribución de especies solubles de As bajo condiciones redox controladas	11
Figura 5: Tipos de fitorremediación	13
Figura 6: Isla Flotante artificial	14
Figura 7: Esquema de la isla flotante artificial.....	16
Figura 8: Funcionamiento del sistema IFA.....	17
Figura 9: Proyecto de descontaminación del estero Palanqueado-Guayaquil	19
Figura 10: Planta vetiver.....	21
Figura 11: Esquema propuesto de construcción de las IFA	36
Figura 12: Esquema propuesto del sistema integral IFA.....	36
Figura 13: Porcentaje de remoción de arsénico en el agua	38
Figura 14: Porcentaje de remoción de arsénico en sedimentos y lodos	39
Figura 15: Porcentaje de remoción de hierro en sedimentos	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de Ubicación	8
Ilustración 2: Vetiver.....	8
Ilustración 3: Limpieza del suelo	8
Ilustración 4: Trasplante del vetiver.....	9
Ilustración 5: Cambios en la adaptación.....	9
Ilustración 6: Matrices flotantes.....	9
Ilustración 7: Aplicación del sustrato y del vetiver.....	9
Ilustración 8: Sistema de islas flotantes con la especie vetiver	9
Ilustración 9: Adición de nutrientes a las raíces	10
Ilustración 10: Instalación en el reservorio.....	10
Ilustración 11: Adaptación en el agua	10
Ilustración 12: Deshilado de la fibra de coco.....	10
Ilustración 13: Adición de sal	10
Ilustración 14: Lavado de la fibra de coco.....	11
Ilustración 15: Secado de la fibra de coco	11
Ilustración 16: Lugar de construcción del tanque reservorio.....	11
Ilustración 17: Construcción del muro de costales de tierra.....	11
Ilustración 18: Instalación de la geomembrana	11
Ilustración 19: Sistema IFA con la especie vetiver.....	11
Ilustración 20: Fuente de agua (vertiente)	12
Ilustración 21: Toma de muestras de agua.....	12
Ilustración 22: Adición del perservante (HCl).....	12
Ilustración 23: Toma de muestra de sedimentos	12
Ilustración 24: Muestras de sedimentos (100ml).....	12
Ilustración 25: Muestra de agua (100ml).....	12

Ilustración 26: Colecta de las submuestras.....	13
Ilustración 27: Homogenización de las submuestras	13
Ilustración 28: Toma de muestras de lodos	13
Ilustración 29: Corte de las raíces del vetiver.....	13
Ilustración 30: Toma de muestras en el papel aluminio.....	13
Ilustración 31: Muestras de las raíces (5g).....	14
Ilustración 32: Recolección.....	31
Ilustración 33: Secado	31
Ilustración 34: Incineración	31
Ilustración 35: Cenizas	31
Ilustración 36: Disposición final	31

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título

Evaluación del sistema de Islas Flotantes Artificiales (IFA) en el tratamiento de aguas contaminadas por arsénico en la captación del proyecto de riego Chilla Grande.

Lugar de ejecución

Captación de agua del proyecto de riego “Chilla Grande” - quebrada Generación de Casca, comuna Rasuyacu, Parroquia Toacaso - Cantón Latacunga - Provincia 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

- MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

Lectores

- MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos
- Ing. Vladimir Ortiz Bustamante Mg.
- Ing. José Luis Agreda Oña Mg.

Autores

- Edward Alexander Campaña Pallasco
- Evelyn Liseth Moreno Chicaiza

Área de conocimiento

Ambiente, Manejo de Recursos Hídricos

Líneas de investigación

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

Línea de vinculación

Protección del medio ambiente y desastres naturales

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El agua es el elemento más abundante en el planeta, fundamental para los procesos biológicos que hacen posible toda forma de vida, por lo que actualmente la contaminación del recurso hídrico es una de las más grandes preocupaciones mundiales puesto que, sin agua de buena calidad es imposible garantizar el bienestar de los seres vivos.

La mayor parte de esta contaminación es de origen antropogénico, alterando su calidad y composición natural a causa de la incorporación de microorganismos, aceites, sedimentos, vertidos industriales, fertilizantes, pesticidas y por otro lado, también es causada por fuentes naturales, tal es el caso de la presencia de metales pesados componentes naturales de la corteza terrestre producto de la meteorización y el lixiviado de las rocas o por emisiones volcánicas, es el caso del arsénico (As); metaloide catalogado como una problemática a nivel global debido a su toxicidad y repercusiones que tiene en la salud humana.

En la provincia de Cotopaxi, estudios recientes por parte de un equipo técnico integrado por la Escuela Politécnica Nacional, la Universidad Técnica de Cotopaxi, el Gobierno Provincial de Cotopaxi y la Secretaria Nacional del Agua, revelaron datos que indican la presencia de As con concentraciones mayores a 0.1 mg/L, en las vertientes de la Reserva Ecológica Los Ilinizas siendo esta una zona volcánica, la misma que provee el recurso hídrico tanto para riego como para consumo humano a alrededor de 20.000 habitantes de la parroquia de Toacaso y comunidades del cantón Saquisilí, de tal manera excediendo lo permitido en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Tabla 3.- Criterios de calidad de aguas para riego agrícola. (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015), siendo así un tema de preocupación para la población que consume este recurso.

El presente proyecto se ha orientado a dar una posible solución sustentable al proyecto de riego “Chilla Grande” en el tratamiento de agua con la presencia de As, mediante un sistema de fitorremediación que consiste en la implementación de islas flotantes artificiales utilizando la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), que comparado con los actuales tratamientos de agua es menos costoso en términos de instalación, operación y uso sustentable de los recursos, así mejorando la calidad de vida de la población y de la producción agropecuaria que usa este recurso. Además, los resultados conseguidos de orden científico-técnico podrán ser utilizados para consultas académicas y la producción científica de las futuras generaciones estudiantiles a nivel del territorio.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1: Beneficiarios directos

DIRECTOS			
	N°	N°	TOTAL
	Hombres	Mujeres	
Junta de agua de regadío de la comunidad Chilla Grande	255	365	620

Fuente: Proyectos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial de Cotopaxi (SERCOP, 2014-2019)

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

Tabla 2: Beneficiarios indirectos

INDIRECTOS
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi (Gestión de Riego y Drenaje)
- Universidad Técnica de Cotopaxi (Carrera Ingeniería Ambiental)

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Arsénico es un elemento altamente tóxico, siendo así que fue clasificado por la International Agency for Research on Cancer (IARC) como un elemento altamente cancerígeno que preocupa su presencia en el agua de consumo humano y de riego. Su disposición mayor y más común es en ambientes naturales debido a rocas volcánicas, depósitos minerales hidrotermales y las aguas geotermales, que asociadas hacen que la contaminación del agua por este metal sea un problema global y masivo para la salud y el medio ambiente. (International Agency for Research, 2002)

Se estima que más de 140 millones de personas en el mundo en al menos 70 países entre ellos China, India y Taiwán, se encuentra expuestas a concentraciones de arsénico superiores a los límites máximos permisibles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) 10 µg /L; esto produciendo efectos adversos en los sistemas orgánicos particularmente a la piel, riñones, vejiga y pulmones (Carabantes & Fernicola, 2003).

El caso más serio de afección a la salud debido a la ingesta de arsénico en agua de consumo se dio lugar por la alta tasa de mortalidad infantil en Bangladesh y Bengal del Oeste, India en 1970 y 1980. La UNICEF y otras agencias internacionales apoyaron al análisis para determinar la cantidad de arsénico, estos niveles sobrepasaban los 50 µg/L (límite máximo para la presencia de arsénico en agua de bebida según la normatividad bangladesí). (Galindo, Fernández, Parada, & Torrente, 2005)

América del Sur no está excluida de esta problemática, aproximadamente 4.8 millones de personas se encuentran expuestas a arsénico en el agua de consumo y para fines agropecuarios, (Farias, Bundschuh, Armienta, & Salas, 2008). Pues está presente principalmente en el agua subterránea, debido al volcanismo de la Cordillera de los Andes lo que afecta a la mayoría de las poblaciones de Argentina, Bolivia, Chile, Perú, Ecuador y Colombia. A estos se suman otras actividades antropogénicas como la explotación minera y la refinación de metales por fundición y en menor proporción en la agricultura y el empleo de plaguicidas arsenicales orgánicos. (Sancha, Reichard, & Hauchman, 2000)

En Ecuador se han realizado estudios a lo largo de varios ríos y acuíferos que muestran la presencia de arsénico en sus aguas, suelos y sedimentos de origen volcánico, presentado una contaminación natural de este metaloide. Según un estudio en la Laguna de Papallacta las aguas geotérmicas de las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua, mostraron niveles de 0.113 a 0.844 mg As/L, sobrepasando los límites máximos permisibles 0.01 mg/L, estipulados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (Cumbal, y otros, 2008)

En la provincia de Napo la contaminación de As en aguas naturales fue detectada durante la remediación de la laguna de Papallacta, contaminada con petróleo crudo por una rotura del Oleoducto Transecuatoriano SOTE ocurrida en el 2003, se reportaron concentraciones de As entre 0,039 y 10,569 mg/L en las aguas termales y ríos de las cercanías a la laguna. (Cabrera, Pinos, & Pulla, 2013)

Además, en las poblaciones de Tumbaco y Guayllabamba, las cuales toman agua para su consumo a partir este acuífero contaminado con arsénico, se detectó la presencia de toxicidad aguda (consumo a largo plazo de concentraciones bajas de arsénico en el agua, sobre la norma) y crónica (alta concentraciones en tiempos cortos) por medio de 1549 pruebas clínicas, las cuales determinaron que el 32% de la población evaluada presentó niveles de arsénico por encima del parámetro del laboratorio. (García, 2012)

En la provincia de Cotopaxi, en el mes de noviembre del 2018 la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) conjuntamente con el GAD Provincial de Cotopaxi, la Universidad Politécnica Nacional y la Universidad Técnica de Cotopaxi; inicialmente realizaron estudios, con los cuales informaron que se detectó la presencia de arsénico en el Suroccidente de la provincia de Cotopaxi específicamente en las vertientes del complejo volcánico Los Ilinizas, con concentraciones excedentes a lo permitido en las normas internacionales (> 0.01 ppm), presentándose problemas ambientales y en la calidad de vida de las poblaciones que utilizan el recurso hídrico tanto para consumo humano como para regadío. (Tovar & Zapata, 2019)

5. OBJETIVOS:

5.1 Objetivo General

Evaluar el sistema de islas flotantes artificiales en el tratamiento de aguas contaminadas por arsénico en la captación del proyecto de riego Chilla Grande mediante el efecto de la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).

5.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la adaptación de la especie vetiver para el sistema de fitorremediación.
- Determinar el porcentaje de remoción de arsénico por efecto del sistema IFA con la especie vetiver.
- Evaluar el sistema integral IFA como método alternativo de remediación de aguas contaminadas con As.

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	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (TÉCNICAS E INSTRUMENTOS)
Evaluar la adaptación de la especie vetiver para el sistema de fitorremediación.	Identificación del área de estudio, georreferenciación y elaboración de un mapa de la zona de estudio. Trasplante del vetiver en suelo, y posteriormente la colocación del sistema ensamblado en un reservorio con agua.	Estado de la especie Vetiver apto para las condiciones de la zona de estudio.	Visitas in-situ, (Observación directa). Determinación de coordenadas geográficas (Utilización de GPS). Elaboración del mapa (Mediante un Software de Sistema de Información Geográfica: ArcGIS). Para la adaptación se inició dos fases: En el suelo con un periodo de tiempo de un mes y en el agua durante dos meses ubicados en la misma a 3190 msnm. (Observación directa), (Cámara fotográfica).
Determinar el porcentaje de remoción de arsénico por efecto del sistema IFA con la especie vetiver.	Calcular el porcentaje de remoción de arsénico en base a los monitoreos de: Agua, sedimentos, raíces del vetiver.	Porcentaje de remoción de arsénico y del hierro.	Mediante el programa Excel, datos climatológicos, ecuación de remoción y una base de datos de los análisis realizados se obtuvo el porcentaje de remoción (Técnica de muestreo según el protocolo del laboratorio EPMAPS)
Evaluar el sistema integral IFA como método alternativo de remediación de aguas contaminadas con As.	Analizar los porcentajes de remoción y comparar con los límites máximos permisibles para agua de riego agrícola.	Eficiencia del sistema integral IFA en la remoción de arsénico y del hierro.	Comparación con la normativa ambiental vigente (AM 097-A), Libro VI TULSMA, Anexo 1, Tabla 3 y Tabla 9.

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Contaminación de arsénico en el agua

7.1.1 El arsénico

El arsénico (As) es un elemento químico, perteneciente a la familia de los metaloides de número atómico 33, peso atómico 74,922, es muy común en rocas, suelo, hidrosfera y biosfera (WHO, 2005). La meteorización de rocas, actividades microbianas y humanas que incluyen la minería, fundición, pesticidas a base de As, eliminación de cenizas, la combustión del carbón, fabricación de pinturas, semiconductores y baterías de plomo-ácido son las principales fuentes de arsénico en el medio ambiente (Mondal & Majumder, 2006).

En la mayoría de los compuestos inorgánicos y orgánicos de arsénico son polvos de color blanco que no se evaporan, no tienen olor y la mayoría no tiene ningún sabor especial, por lo cual, no se puede saber si están presentes en los alimentos, el agua o el aire (ATSDR, 2007).

7.1.2 Arsénico en el agua

Una de las sustancias líquidas más importantes es el agua que a través de esta el arsénico entra en el cuerpo humano. El arsénico puede estar disponible en el agua en estados de oxidación variables (+5, +3, 0, -3) y puede coexistir en el entorno con otros metales como (Fe, Cu, Ni, Zn, entre otros) y minerales de sulfuro u óxido (Mondal & Majumder, 2006),

La presencia del arsénico en el agua por disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de los efluentes industriales y la sedimentación atmosférica. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es la pentavalente o arsenato (As^{+5}). Bajo condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, predomina el arsénico trivalente o arsenito, (As^{+3}). (USEPA, 2010)

El arsénico en su forma natural no se puede eliminar de un medio solo se puede interconvertir en sus diferentes formas (ver figura 1). La forma más predominante de arsénico inorgánico en ambientes acuáticos aerobios (oxicos) es como ion arseniato AS(V) como [H_3AsO_4 , $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$, HAsO_4^{-2} y AsO_4^{-3}], mientras que el ion arsenito [As (III) como H_3AsO_3 y $\text{H}_2\text{AsO}_3^{-}$] es más frecuente en ambientes anóxicos (Mondal & Majumder, 2006). Aguas con contenidos de sulfato ácido (AS), bajo condiciones moderadas de pH entre 1-6, y altas concentraciones de sulfato y de hierro, predomina la presencia de As (V) (Ravenscroft, Brammer, & Richards, 2009)

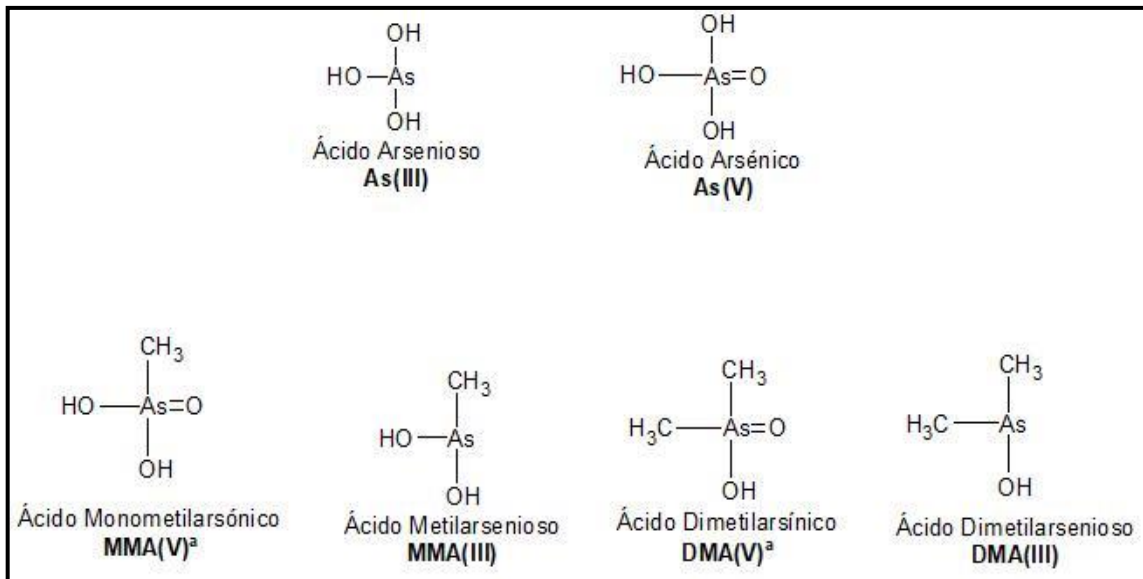


Figura 1: Especies de arsénico encontradas en el agua

Fuente: (Alarcón & Martín, 2013)

7.1.3 Origen del arsénico por contaminación natural y antropogénica

La geología en los suelos determina el contenido de arsénico, en la actividad volcánica se introduce el arsénico en la atmósfera en forma de gases, que regresan a la tierra en forma de polvo o precipitación. La contribución anual del arsénico al suelo es pequeña, pero agregando una cantidad significativa a la columna sedimentaria durante los tiempos geológicos, la abundancia de arsénico en la corteza continental de la tierra está en el rango de 1.5–2 mg kg⁻ (Reddy & DeLaune, 2008).

“El agua potable es una fuente no contaminada pero normalmente contiene una pequeña cantidad de arsénico. A pesar de ello, podría contaminarse si se encuentra en contacto con el arsénico presente en los minerales como como agar, oropimente o arsenopirita, la meteorización de los mismos puede oxidar el arsénico a arsenito a minerales de arseniato, debido alta solubilidad de los compuestos de arsenito de metal (p. Ej., Ca, Fe, Mn y Al), algunos As (V) o As (III) pueden liberarse de acuerdo a los diagramas acuosos de Eh y pH para describir el distribución de especies de arsénico bajo diversas condiciones del suelo. En equilibrio, As_2O_5 , As_4O_5 y As_2S_3 son sólidos estables, mientras que H_3AsO_4 , HAsO_2 y As_2S_3 son especies estable en solución en el rango de posibles condiciones redox del suelo. La reducción de las condiciones del suelo ($\text{Eh} < 0 \text{ mV}$) mejora en gran medida la solubilidad del arsénico, y la mayoría del arsénico soluble se presenta como As (III)” (Reddy & DeLaune, 2008).

El arsénico ha sido utilizado frecuentemente en grandes cantidades y sin ningún tipo de control, tanto en la minería como en diferentes actividades industriales, como insecticidas, herbicidas,

raticidas, en pinturas, imprentas, en medicina. El estado en el que se presenta la contaminación puede ser muy acusada en el caso de explotaciones mineras, donde tienen lugar procesos de oxidación de sulfuros como la pirita (que provoca la movilización del As) y precipitación de óxidos y oxihidróxidos de Fe, que provoca la adsorción del As). El impacto derivado de la extracción humana de As de suelos y minas para fines antropogénicos da como resultado una rotura del ciclo natural del As, a la vez puede darse una nueva incorporación al ciclo en grandes cantidades (Alarcón & Martín, 2013).

La quema de combustibles fósiles, subproductos de carbón y petróleo, o como subproducto de la fundición de minerales es otra de las fuentes importantes que origina la contaminación por arsénico. Se estima que la emisión de arsénico a la atmósfera de fuentes antropogénicas es de 28.060 toneladas al año (Reddy & DeLaune, 2008).

7.1.4 Relación del arsénico (As) y otros metales

7.1.4.1 Arsénico (As) y hierro (Fe)

Los óxidos e hidróxidos férricos son adsorbentes de As y otros oligoelementos, no obstante, si el Fe se reduce a su estado ferroso, el As será liberado nuevamente al medio de disolución. Por consiguiente, en medios donde hay presencia de Fe la movilidad del As dependerá en gran parte de la estabilidad de los óxidos de Fe (Ravenscroft, Brammer, & Richards, 2009). Esta reacción requiere la operación de un impulsor redox fuerte, principalmente sedimentario como materia orgánica, que consume todas las fuentes disponibles de oxígeno. Por lo cual se planteó este impulsor redox dominante en acuíferos es la mineralización microbiana de la vegetación enterrada la cual se acumula como turba o lodo rico en materia orgánica en canales abandonados.

Los cuerpos de agua ricos en sulfato ácido (AS) y con variaciones de pH entre 1 y 6, se asocian con altas concentraciones de sulfato y, a menudo las altas concentraciones de hierro lo cual se encuentra dominada por la presencia de As (V). Es decir, estas aguas son asociadas con el mecanismo de movilización de oxidación de sulfuro (SO) (Ravenscroft, Brammer, & Richards, 2009).

La oxidación de As (III) a As (V) está controlada por las propiedades que posee el suelo, incluido el pH y el contenido de óxidos de Al, Fe y Mn. Determinaron que el As se libera rápidamente de los suelos inundados como resultado de la disolución reductora de Fe hidro (óxido) acompañado de la reducción de As (V) a As (III) (Reddy & DeLaune, 2008).

7.1.4.2 Sedimentos de arsénico (As) y hierro (Fe)

El hierro disuelto se libera al medio de disolución por la meteorización de minerales y la reducción microbiana, esto se da en condiciones anaeróbicas. Se pueden depositar como óxidos o hidróxidos o permanecer en disolución, dependiendo del potencial redox y el pH que se encuentra en el suelo. Además, el Fe disuelto tiende a formar complejos estables con la materia orgánica y permanecer en una solución durante periodos de tiempo largos (días). Por otra parte, el Fe puede circular rápidamente en las interfaces aeróbicas-anaeróbicas de los humedales, fondos de lagos, estanques y embalses eutróficos y estratificados, arroyos y fondos de ríos, suelos minerales mal drenados y cualquier otro entorno inundado que contenga minerales de estos dos elementos (Figura 2) (Reddy & DeLaune, 2008).

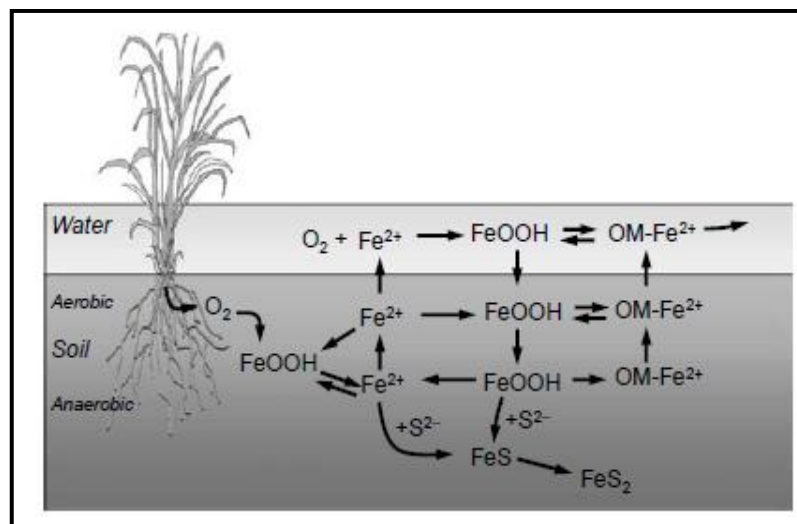


Figura 2: Esquema que muestra los ojos de hierro en zonas húmedas y sistemas acuáticos
Fuente: (Reddy & DeLaune, 2008).

Los procesos de oxidación-reducción forman un papel importante en la química del arsénico (As). Para varias condiciones del potencial redox, pH de los suelos y sedimentos, el arsénico existe como un oxianión en la forma de arseniato (As (V): H_2AsO_4^- y HAsO_4^{2-}) o arsenito (As (III): H_3AsO_3). El ácido monometilarsénico (MMAA) y el ácido dimetilarsénico (DMAA) son influyentes especies químicas órgano-arsénico. Los potenciales redox del suelo más altos (+200 a +500 mV), As (V) es el tipo predominante de As que se encuentra presente. La reducción de As (V) a As (III) ocurre a niveles redox correspondientes dentro de la zona de reducción de nitrato (+300 mV). Además, cuando el Fe se reduce y los niveles de redox que posee el suelo caen debajo de +50 mV, esto ocurre en la reoxidación de especies reducidas de As y niveles redox del suelo similares a los identificados para las reacciones de reducción. Por otra parte, los procesos de oxidación mediada por microbios como los químicos están relacionados en la oxidación de las especies As. La metilación del arsénico está presente en condiciones

potenciales redox bajos. Esto ocurre en o por debajo del nivel redox donde ocurre la reducción de sulfato (Reddy & DeLaune, 2008).

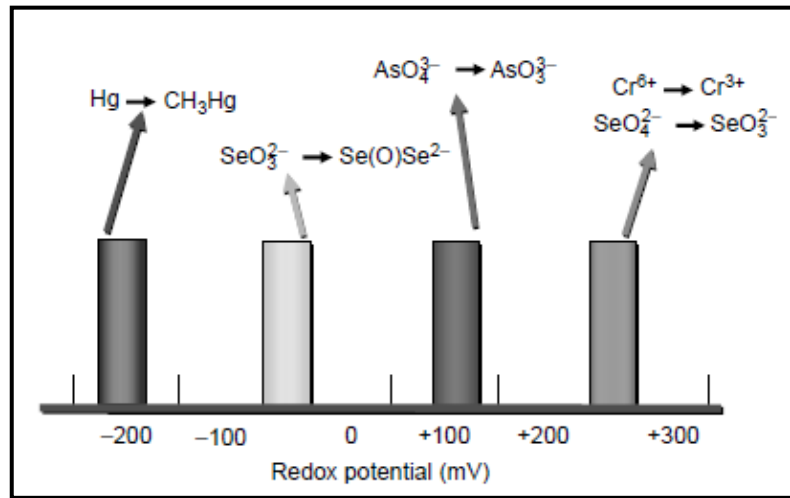


Figura 3: Condición redox del suelo (mV) que influye en las transformaciones de metal y metaloide
Fuente: (Reddy & DeLaune, 2008)

Por otra parte, al inundarse los suelos, se eleva la solubilidad del As en el suelo / sedimento. Además, bajo condiciones de un suelo oxidado, la solubilidad del arsénico es baja y la mayor parte del As en solución se encuentra presente como As (V). Tras la reducción a arsénico As (III), la solubilidad aumenta considerablemente. Así como también los compuestos órgano-arsénicos, caso particular los metanos arsenatos pueden ser descompuestos por microorganismos del suelo con el residuo As retenido en el suelo en su forma inorgánica en condiciones aeróbicas (Reddy & DeLaune, 2008)

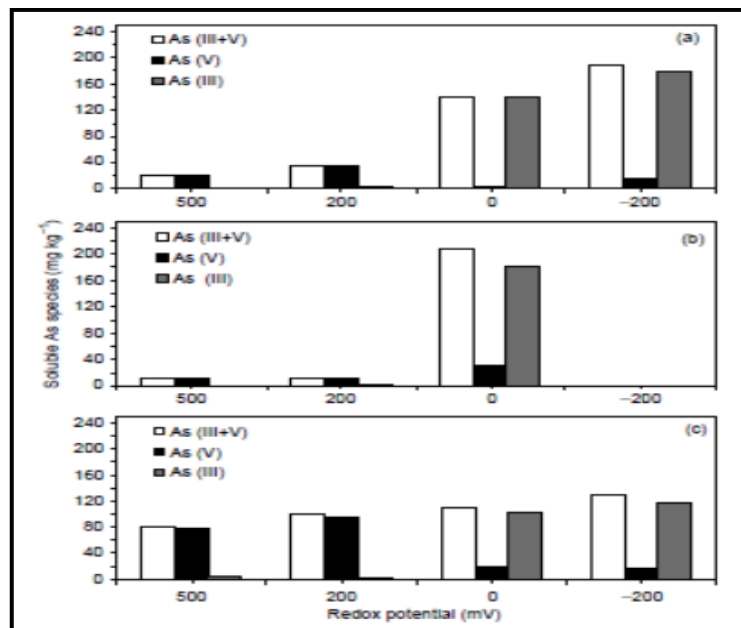


Figura 4: Distribución de especies solubles de As bajo condiciones redox controladas
Fuente: (Reddy & DeLaune, 2008)

Los metanasonatos se reducen a la forma de alquilarsina en condiciones anaeróbicas. El reverso de este proceso (la metilación de As a partir de arseniato y arsenito) Además puede ocurrir en suelos inundados y bajo condiciones altamente reductoras siempre y cuando posea valores bajos de Eh, los compuestos arsenicales orgánicos serán estables (Haque & Johannesson, 2006).

7.1.5 Efectos en la salud humana

La presencia de arsénico en el ambiente es un problema de salud pública de las personas debido a que se trata de un evento de alta frecuencia que ha sido detectado en números países del mundo tales como; Argentina, Brasil, Chile, China, India, México y Taiwán. Además, el arsénico es considerado por varios organismos científicos, entre ellos la International Agency for Research on Cancer (IARC), como un agente carcinogénico para humanos con base en estudios epidemiológicos que relacionan la ingestión de arsénico en el agua de bebida y cáncer en la piel y estudios ocupacionales que relacionan la exposición al arsénico y cáncer a los pulmones. (International Agency for Research, 2002)

Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un valor orientador para agua de consumo humano el valor de 10 mg As/L. Por su parte la Environmental Protection Agency (EPA), considerando estimativas de riesgo realizadas utilizando modelos estadísticos basados en observaciones en humanos y extrapolando los datos para concentraciones inferiores a 50 µg/L, reducirá el valor guía para arsénico en el agua de bebida de 50 µg/L para 10 µg/L. (Carabantes & Fernicola, 2003)

La contaminación por arsénico (As) del agua potable afecta la vida de 150 millones de personas en todo el mundo y es una gran amenaza para la humanidad. Este metal ha sido causa de envenenamiento, lesiones cutáneas, varios tipos de cánceres y otros síntomas en personas expuestas al arsénico. Por lo tanto, para reducir los riesgos es necesario desarrollar estrategias que puedan reducir el nivel de As en el medio ambiente. (McGrory et al., 2017; Rasool et al., 2016).

7.2 Fitorremediación

La fitorremediación es una tecnología verde que se basa en el uso de vegetación como principal agente descontaminador y remediador ya sea del aire, suelos, sedimentos, agua superficial y subterránea.

Las técnicas de fitorremediación se basan en procesos de limpieza aprovechando la capacidad natural de las plantas de absorción, acumulación, metabolización y volatilización tanto de contaminantes orgánicos e inorgánicos. En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas fijándolos en sus raíces, tallos u hojas, o metabolizándolos tal como lo hacen los microorganismos para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos. (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011)

En la fitorremediación se identifican varios tipos de procesos de remediación que varían según las partes de la planta que participan o los microorganismos que contribuyen con la degradación de los contaminantes. (Arias, Betancur, Gómez, Salazar, & Hernández, 2010)

- Fitoextracción. Concentran contaminantes en las partes cosechables.
- Rizofiltración. Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentra los contaminantes a partir de efluentes líquidos contaminados.
- Fitoestabilización. Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje al aire.
- Fitovolatilización. Las plantas captan y modifican contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera mediante la transpiración.
- Fitodegradación. Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos.

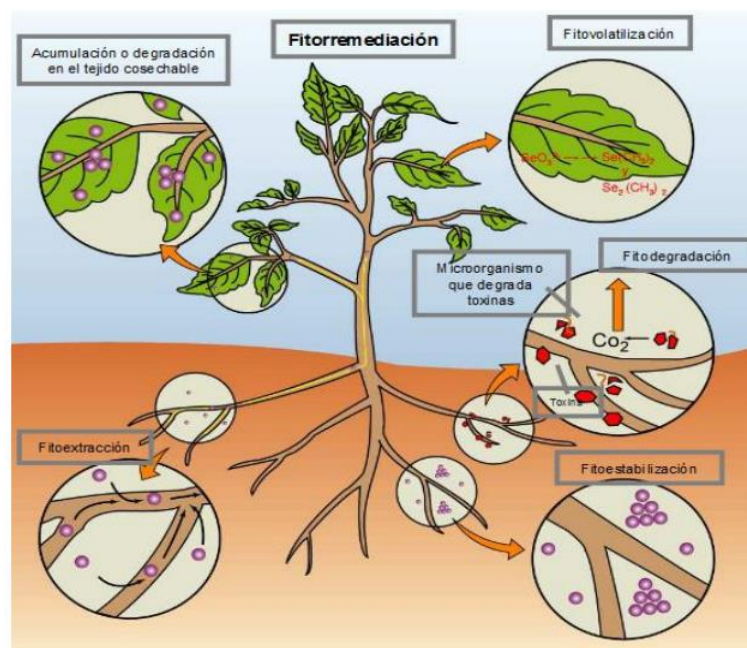


Figura 5: Tipos de fitorremediación
Fuente: (Buchanan, Grussem, & Jones, 2002)

7.2.1 Islas flotantes artificiales (IFA)

En las últimas dos décadas, las islas flotantes aparecen como una evolución natural de los humedales artificiales o filtros verdes y se han estudiado en diversas partes del mundo para diferentes aplicaciones, tales como la mejora de la calidad del agua, la creación de hábitats y la depuración de distintos tipos de aguas residuales. En Alemania, Estados Unidos China y Japón decidieron implementarlas en lagos y lagunas como método de remoción de contaminantes obteniendo buenos resultados. (Zhu, Li, & Ketola, 2011)

Las IFA pertenecen a las tecnologías ambientales emergentes, conocidos por su nombre en inglés como Floating Treatment Wetlands (FTWs); las islas flotantes funcionan como humedales artificiales construidos, por una estructura flotante en donde las plantas macrófitas crecen enraizadas en la superficie, los tallos de las plantas se desarrollan por encima del nivel del agua, mientras que las raíces crecen al interior del agua hacia el fondo del estanque favoreciendo los procesos de fitodepuración. (Martínez & López, 2018)

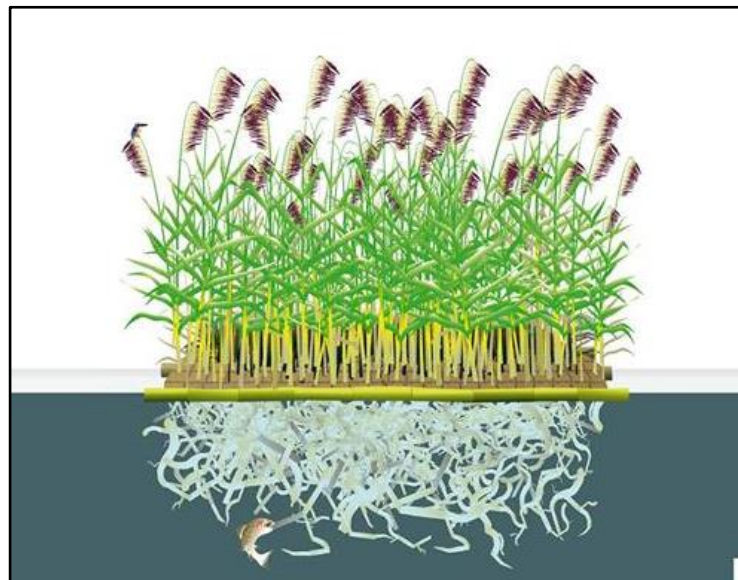


Figura 6: Isla Flotante artificial

Fuente: (Martelo & Jaime, 2012)

Las IFA es un esquema con una amplia diversidad de formas y de fácil instalación, ofrecen un proceso biológico de restauración del ecosistema acuático con una buena relación coste - eficacia con casi nulo mantenimiento. (Carvajal & Lazo, 2017).

Provee una mejora natural de la calidad del agua, mediante la remoción periódica de contaminantes como metales pesados e hidrocarburos y al igual son utilizados como método de restauración de ecosistemas acuáticos. (Martelo & Jaime, 2012)

Según (Ning, Huang, Pan, Wang, & Wang, 2014) las IFA remueven contaminantes por varios mecanismos: mediante la absorción de nutrientes y metales, el desarrollo de biopelículas, la liberación de enzimas extracelulares, la sedimentación, la unión de contaminantes y el aumento de la floculación de materia en suspensión.

7.2.2 Aplicación

Las islas flotantes son una solución innovadora que se han utilizado con éxito para una serie de aplicaciones, diseñadas para la mejora del hábitat acuático, propósitos estéticos en estanques ornamentales y principalmente aporta a la descontaminación de cuerpos de agua. (Nuñez, Meas, Ortega, & Olgún, 2004).

Según (Carvajal & Lazo, 2017), en cuanto a la mejora de la calidad del agua, las principales aplicaciones reportadas hasta la fecha han sido para el tratamiento de:

- Aguas Lluvia
- Aguas Residuales
- Aguas con la presencia de metales pesados
- Efluentes de industria minera
- Desbordamiento combinado de aguas pluviales y alcantarillado
- Efluente de basura
- Depósitos de suministro de agua

7.2.3 Materiales, estructura y diseño de la isla flotante.

Para asegurar la durabilidad, resistencia y eficiencia en el proceso de remediación ambiental, el diseño de los lechos flotantes de las IFA toma en cuenta parámetros físicos y biológicos; relacionados con los materiales y su disposición en el lecho flotante. (Lu, Ku, & Chang, 2015)

Para el diseño de la isla flotante se emplean dos componentes: la estructura flotante y la vegetación. (Martínez & López, 2018)

La estructura flotante está compuesta por un marco de tubos y codos PVC, su forma, medidas del marco, y de los tubos dependerá de la necesidad del investigador. Sobre el marco se coloca una malla plástica con una abertura de 1 a 1,5 cm, esto para que las raíces puedan sumergirse

en el agua, una vez bien sujeta con la ayuda de correas de amarre se coloca una capa de sustrato vegetal como fibra de coco; por último, se utilizan botellas plásticas reciclables de 3 L con su tapa, lo cual garantiza que la estructura permanezca flotando y se ubican debajo de la estructura de PVC. (Figura 7). La parte basal de las plantas reposa entre la malla plástica y del sustrato, mientras que 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)

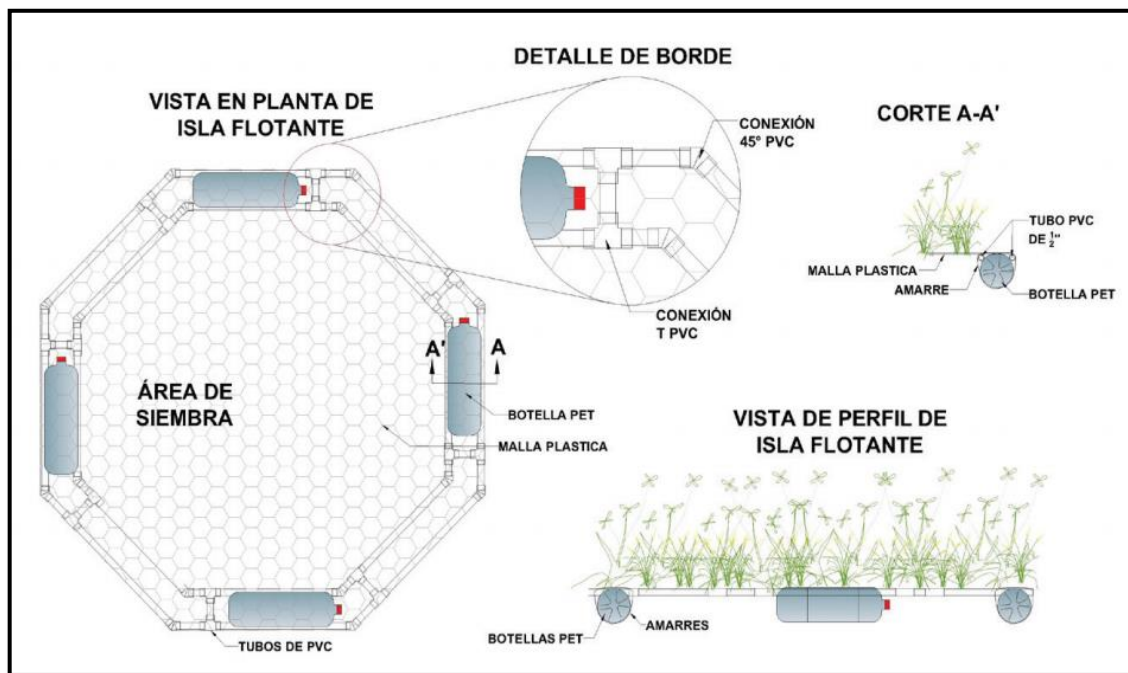


Figura 7: Esquema de la isla flotante artificial
Fuente: (Martínez & López, 2018)

7.2.4 Funcionamiento

Se basa en los sistemas flotantes naturales existentes en diferentes cuerpos de agua y están estructuradas por una estera orgánica gruesa flotante que soporta el crecimiento de las plantas. El agua atraviesa por debajo de la estera por las secciones de las plantas sumergidas y mientras los contaminantes son removidos por la superficie de las raíces que forman biopelículas, estas atraen bacterias benéficas que existen en varios cuerpos de agua en este. (Yeh, Yeh, & Chang, 2015)

En algunos casos en las islas flotantes se colocan aireadores el cual va a generar oxígeno en nuestro cuerpo de agua, lo que nos ayudara al crecimiento de nuestra especie en estudio. (Figura 8).

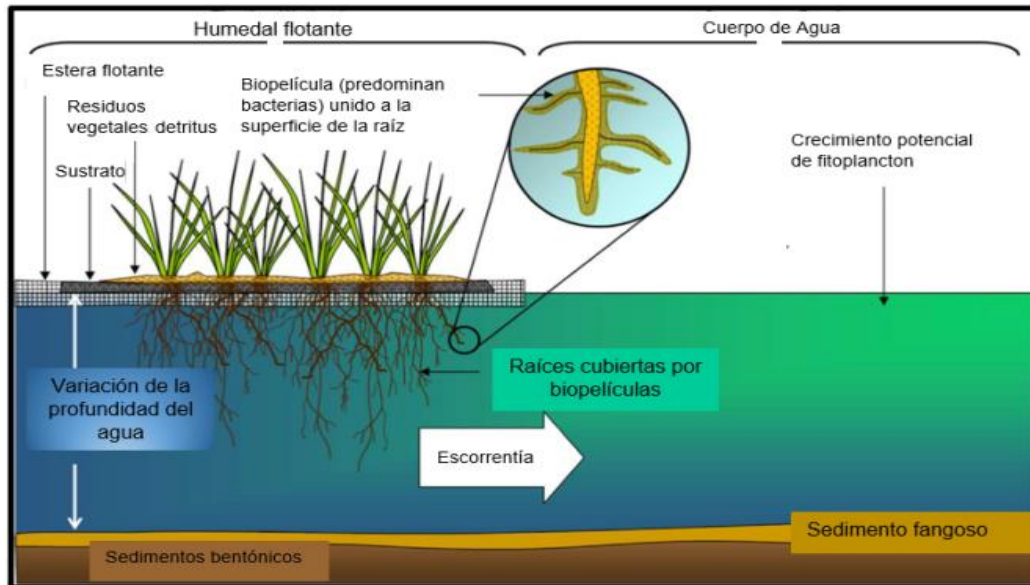


Figura 8: Funcionamiento del sistema IFA

Fuente: (Yeh, Yeh, & Chang, 2015)

Al ser un medio controlado, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes, que en los humedales naturales se dan mediante procesos físicos, biológicos y químicos. (Martelo & Jaime, 2012)

Los principales actores son:

- ✓ **El sustrato:** sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.
- ✓ **La vegetación** (macrófitas): contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que su parte subterránea también se desarrolla la comunidad microbiana.
- ✓ **El agua a tratar:** circula a través del sustrato y de la vegetación.

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas a tratar mediante el empleo de islas flotantes son:

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.
- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato.

- Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.
- Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.
- Eliminación de metales pesados como arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.

7.2.5 Ventajas de islas flotantes

Según (Soto, 2016) en su estudio de la aplicabilidad de humedales artificiales, menciona que las ventajas específicas de este sistema utilizado principalmente para la purificación de agua son:

- El sistema de las IFA depende principalmente de plantas macrófitas para restaurar el agua contaminada, por lo que sus operaciones no causan contaminación secundaria.
- Mayor capacidad de depuración por estar todo el sistema radicular sumergido completamente en el agua, lo que permite una gran actividad depuradora de la materia orgánica por medio de los microorganismos adheridos a dicha superficie o por las raíces directamente.
- Requiere una inversión mínima en la construcción, ya que su estructura conlleva materiales reciclados y fácil de conseguirlos.
- Eliminación de la biomasa generada por la operación de las IFA, aprovechando las raíces, rizomas, tallos u hojas formadas para fines energéticos o industriales, dependiendo de los contaminantes tratados.

Comparado con los actuales tratamientos de agua, el sistema IFA es menos costoso en términos de instalaciones, operación y uso sostenible de los recursos naturales.

7.2.6 IFA en Ecuador

En el Ecuador, el Ministerio del Ambiente (MAE) creó un proyecto piloto de islas flotantes que se implementó a finales de junio en el año 2017, para descontaminar el estuario Palanqueado en Guayaquil. En los últimos siete años es la cuarta alternativa ambiental encaminada a solucionar la problemática, son 40 islas flotantes que sostienen a diferentes tipos de plantas como: mangles, lirios, paja y una hierba que resiste la salinidad del agua, su función será reducir los niveles de coliformes fecales y totales, nitrógeno, fósforo e incrementar el oxígeno disuelto en el agua. (EL TELÉGRAFO, 2017)

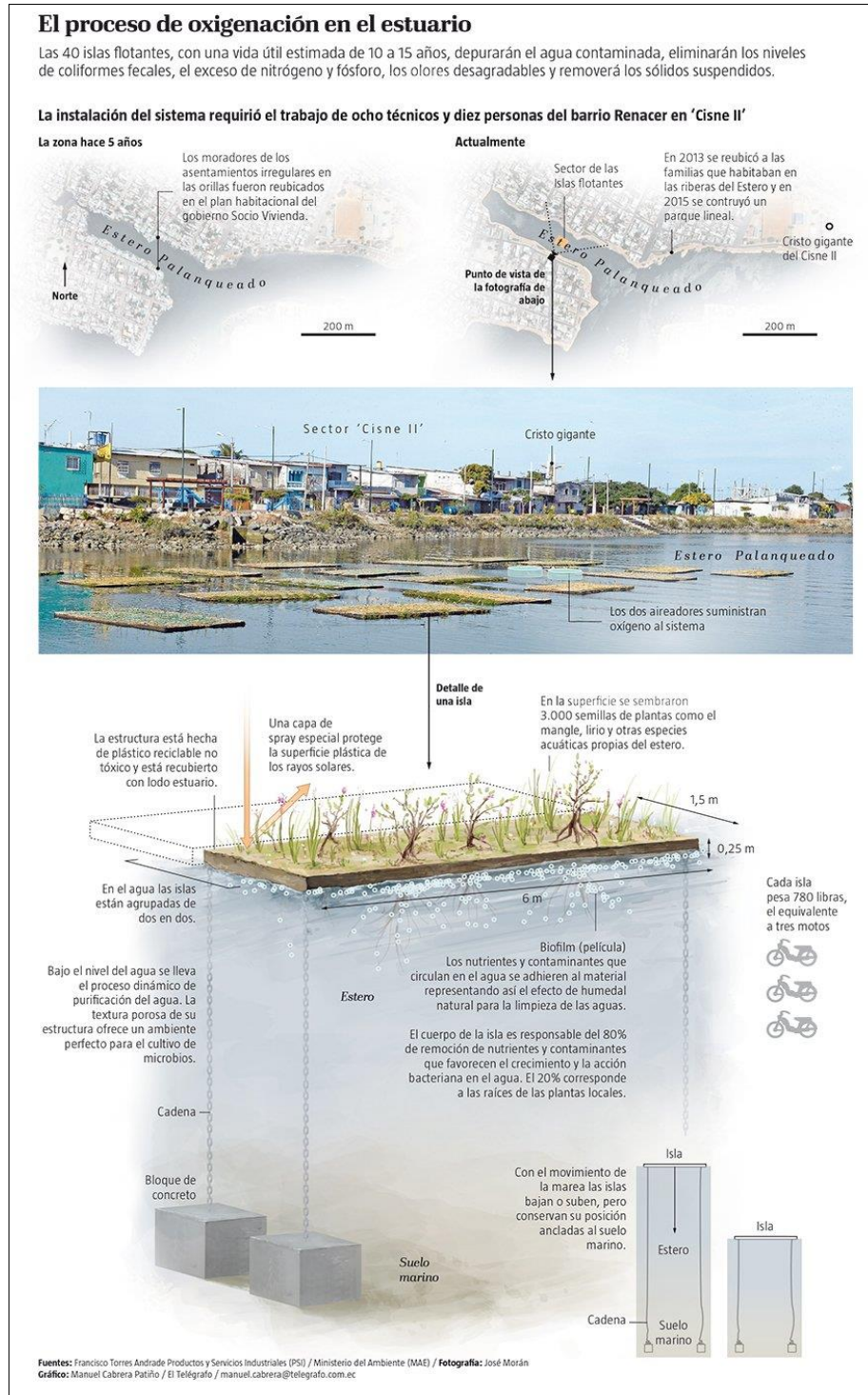


Figura 9: Proyecto de descontaminación del estero Palanqueado-Guayaquil
Fuente: (EL TELÉGRAFO, 2017)

En el año 2017, la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL) organizó las Jornadas en Ciencias Naturales y Matemáticas, en donde Martina Clairand, docente de la Universidad Central del Ecuador, y Kalina Fonseca, catedrática de la Universidad Técnica de Cotopaxi, realizaron la ponencia sobre las IFA ,como una alternativa eco tecnológica para la remoción de

contaminantes con el fin de restaurar y remediar los cuerpos hídricos con la utilización de especies de plantas nativas como: la achira (*Canna indica*), el pasto guinea (*Megathyrus maximus*), el lirio de flor amarilla (*Iris pseudacorus*) y la caña guadúa (*Guadua angustifolia*) las cuales son idóneas para la absorción de contaminantes aplicadas al sistema de islas flotantes artificiales, ya que han demostrado en otros países la remoción de contaminantes en el agua. (EL UNIVERSO, 2017)

7.3 Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

Chrysopogon zizanioides (L.) es una gramínea perenne, originaria de la India tropical y subtropical. A pesar de esto, es ampliamente cultivado en los países de las regiones tropicales, los mayores productores a nivel mundial son Haití, la India. (Mickovski, van Beek, & Salin, 2005)

Es una planta de tupidos penachos, tallos tiesos en grandes grupos, hojas rígidas, largas y lisas que crece de 0.5 a 1.5 m, inflorescencias y semillas estériles, es importante resaltar que su propagación es través del plantío de mudas y no por rizomas, estolones o germinación de semillas, lo que la hace una planta no invasora; sus raíces alcanzan profundidades de hasta 4 m con grandes macollos. (Alegre, 2017)

Tabla 4: Taxonomía Vetiver

Reino:	Plantae
División:	<i>Magnoliopyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Subclase:	<i>Liliidae</i>
Orden:	<i>Poales</i>
Familia:	<i>Poaceae (Gramíneas)</i>
Tribu:	<i>Andropogoneae</i>
Genero:	<i>Chrysopogon</i>
Especie:	<i>C. Zizanioides (L) Roberty</i>

Fuente: (Catalogue of the Vascular Plants of Madagascar, 2017)

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

7.3.1 Ecología del vetiver

El Vétiver es una especie tanto xerofita como hidrófita, la cual forma matas o macollas muy densas que van engordando y creciendo sin ser invasivas como otras plantas, se propagan a

altitudes desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm, sin embargo están en fase de evaluación en sitios hasta los 3500 msnm (Alegre, 2017); poseen una gran tolerancia a condiciones extremas de suelo con niveles altos y bajos de pH, son extremadamente resistentes a las sequías extremas debido al alto contenido de sal de la savia de sus hojas, a las inundaciones por largos períodos; adaptable a todo tipo de condiciones de suelo y clima, logrando soportar heladas aunque no muy prolongadas, reportándose temperaturas de -15°C y de temperaturas extremas hasta los 40°C . Es una de las plantas más importantes y más útiles a nivel mundial en la lucha contra la erosión y en la conservación del suelo y del agua, ya que estudios recientes muestran su atributo como planta fitorremediadora por su capacidad de tolerar y acumular una gran variedad de metales pesados, absorbiendo los contaminantes a través de su sistema radicular atrapando en sus tejidos y utilizando para su crecimiento. (Truong, Foong, Guthrie, & Hung, 2010)

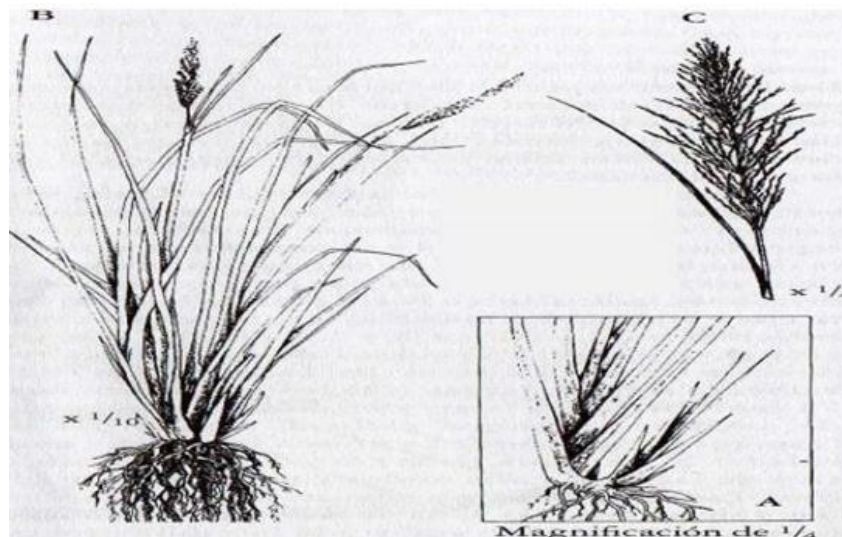


Figura 10: Planta vetiver

Fuente: (Alegre, 2017)

7.3.2 Características

Vetiver es un pasto de crecimiento rápido. una vez plantado, puede desarrollar en 6 meses una planta de 2 m de altura y con raíces de 1 m de largo que llegan a la madurez a los 18-24 meses con raíces de hasta 4 m. La planta tiene una longevidad alta, de más de 50 años. (Muñoz, y otros, 2014)

En cultivo, las plantas o barreras de vetiver ocupan muy poco espacio y no compiten con otras plantas. Las raíces se desarrollan verticalmente y se extienden sólo unos 0,5 m alrededor de la planta. Sólo en casos de aguda sequía puede haber problemas de competencia, pero sólo con

plantas de raíces pequeñas que estén plantadas a menos de 0,70 m del vetiver. Además, las raíces del vetiver, gracias a la acción de micorrizas con las que están asociadas incrementa de forma significativa el aporte de nitrógeno al suelo. (Santana & Santos, 2016)

7.3.3 Tolerancia

Vetiver tiene una gran tolerancia en cuanto a las propiedades químicas del suelo. Permite un amplio rango de pH, de 3-11 y tiene una elevada tolerancia a la sodicidad y sulfatos e incluso elevadas concentraciones de Al, Mn, y metales pesados como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en el suelo y en el agua. Debido a ello, Vetiver puede ser plantado en prácticamente cualquier tipo de suelo y puede ser utilizado para la descontaminación de aguas contaminadas. (Truong, Foong, Guthrie, & Hung, 2010)

Vetiver es muy tolerante a elevadas concentraciones de metales pesados en el suelo y tiene la capacidad de absorber en la planta, el As, Cd, Cr y Hg es retenido en las raíces. Solo una menor fracción (1-5%) pasa a la parte vegetal. En el caso de Cu, Pb, Ni, Sn y Zn, la incorporación de los metales a la parte vegetativa es mayor. (Vargas, Pérez, Masaguer, & Moliner, 2013)

Tabla 5: Comportamiento del vetiver en la acumulación de metales pesados

METALES PESADOS	CONDICIONES DE SUELO		CONDICIONES HIDROPÓNICA	
	Raíces (mg/Kg)	Hojas (mg/kg)	Raíces (mg/Kg)	Hojas (mg/kg)
Plomo	4940	359	≥10,000	≥3350
Zinc	2666	642	>10,000	>10,000
Cobre	953	65	900	700
Arsénico	268	11,2		
Cadmio	396	44	2232	93
Hierro	871	1197		
Manganeso	552	648		
Uranio	28	164		

Fuente: (Truong & Thai, 2015)

7.3.4 Usos del vetiver

Según (Alegre, 2017) en su manual de uso del pasto Vetiver, menciona que esta especie es utilizada para un sin número de actividades es distintos países, no solo como planta fitorremediadora para la conservación del suelo y agua sino también como:

- Barreras vivas: protección de caminos, riveras de ríos, canales de riego, protección de acueductos, de represas.
- Estabilización de pendientes y mitigación de desastres naturales.
- Conservación de suelos.
- Tratamiento de aguas contaminadas: aguas residuales domésticas, industriales, municipales, lixiviados.
- Reducción de elementos tóxicos de agua para riego.
- Tolerancia a metales pesados.
- Extracción de aceite esencial: industria farmacéutica y de perfumes.
- Biocombustible, para la generación de energía.
- Forraje para animales (ganado vacuno y otros rumiantes).
- Material de construcción: techos, paredes, persianas, artesanías (sombreros, cestos), decoraciones.
- Propiedades medicinales: controla la fiebre, dolor de cabeza, inflamación e irritabilidad del estómago, disuelve cálculos biliares, casos de reumatismo, lumbago, esguinces, controla el cáncer de próstata, diabetes, refuerza el sistema nervioso central y puede superar la depresión, insomnio, ansiedad, estrés, tensión y nerviosismo. Su aceite previene estrías en el embarazo.

7.3.5 Fitorremediación con Vetiver

En el ámbito de la fitorremediación, el vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) se ha identificado como la planta con mayores capacidades fitorremediadoras de suelos y aguas dentro de las 400 especies estudiadas a nivel mundial. Sus raíces de 5 m y su rápido crecimiento, además de su adaptabilidad a todo tipo de climas y suelos, la convierten en la estrella de la fitorremediación. (Ning, Huang, Pan, Wang, & Wang, 2014)

Su rango fitorremediador abarca todos los metales pesados y metaloides. En el caso del arsénico, por ejemplo, el umbral de toxicidad de las demás plantas estudiadas está entre 1 a 10 mg/kg, mientras que el vetiver acumula niveles de hasta 72 mg/kg. La absorción de herbicidas y pesticidas, tales como paratión, endosulfán, clorpirifos, también es una resultante exitosa, al igual que los hidrocarburos, y últimamente la aplicación en la descontaminación de radioactividad. (Truong & Thai, 2015)

8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿El sistema de las Islas Flotantes Artificiales con la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) constituye una alternativa para la remoción de arsénico?

En base al análisis de datos obtenidos de los muestreos de agua en un periodo de evaluación de 5 meses, se pudo determinar que mediante la implementación del sistema de Islas Flotantes Artificiales con la especie vetiver, presenta un porcentaje de remoción de arsénico alto entre 94% a 99%, esto es claro en la comparación de los resultados con los límites máximos permisibles de los niveles de arsénico en el agua empleada en el uso agrícola para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas, estos presentes en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, así constituyendo al sistema IFA con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como una alternativa fitorremediadora en la remoción de arsénico de aguas contaminadas por el mismo.

9. METODOLOGÍA

TIPOS DE INVESTIGACIÓN.

Investigación Bibliográfica.

Este tipo de investigación permitió a los investigadores recopilar información de revistas científicas: Scielo, Redalyc.org, Dialnet, Tesis, Libros, informes técnicos, PDYOT de la parroquia de Toacaso, y la normativa ambiental vigente como es el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

Investigación Descriptiva.

Este tipo de investigación permitió determinar la zona influencia de la investigación, la cual se desarrolló en la captación de agua del proyecto de riego “Chilla Grande”, quebrada Generación de Casca, comuna Rasuyacu, Parroquia Toacaso - Cantón Latacunga - Provincia Cotopaxi - Zona 3, la misma que se encuentra dentro de la reserva ecológica Los Ilinizas, el agua objeto de estudio es de una de las vertientes que es captada y aprovechada por la comunidad de Chilla Grande del Cantón Saquisilí, con 625 consumidores directos.

Investigación de Campo.

Los investigadores mediante visitas in situ en la zona de la captación de agua de Chilla Grande, se determinó de forma visual el sitio para colocar el sistema integral IFA con la especie vetiver, el mismo que se ubicó en una parte ya intervenida por la construcción de la captación, en las siguientes coordenadas X: 752532; Y: 9921293; Z: 3667.

Investigación Analítica.

La investigación analítica permitió analizar los resultados obtenidos de los muestreos de agua, mediante la ecuación de porcentaje de remoción y del mismo modo se realizó diagramas en el programa Excel con los mismos datos.

MÉTODOS.

Los métodos a utilizarse en la ejecución del proyecto son:

Método Inductivo.

Este método permitió generar conocimiento sobre la contaminación por arsénico proveniente de una de las vertientes de la reserva ecológica Los Ilinizas, generando datos para la determinación de la remoción de arsénico y la comparación con los límites permisibles vigentes.

En el siguiente método se aplicó las siguientes etapas:

Observación: Mediante el método de la observación se logró verificar los cambios que tuvo la especie vetiver en las etapas de adaptación.

Análisis: Para el análisis los resultados se utilizó una hoja de cálculo Excel para el cálculo estadístico, realizar los respectivos histogramas y determinar el porcentaje de remoción.

Comparación: La comparación de los resultados se realizó mediante la relación entre la remoción y el periodo de tiempo de cada muestreo. Además, se verificó con la Normativa Ambiental Establecida en la Tabla 3 del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

TÉCNICAS.

Para la ejecución de la investigación se utilizó las siguientes técnicas:

Observación Directa.

La observación directa en la presente investigación permitió identificar la zona de implementación del sistema integral IFA con la especie vetiver en la zona de estudio, por otra parte, se logró verificar los cambios de la especie vetiver en las etapas de adaptación.

Monitoreo.

Se realizó ocho monitoreos de agua 4 de entrada y 4 de salida cada 40 días durante 5 meses, por otra parte, se efectuó 4 muestras de sedimentos tanto para el tanque y la vertiente, por último, se realizó una muestra de raíces. Todo esto con el fin de determinar el porcentaje de remoción.

9.1 Área de estudio

El objeto de estudio corresponde a las aguas de concesión de la quebrada Generación de Casca, aprovechadas para riego del proyecto “Chilla Grande”, con un caudal de 9 litros por segundo más los excedentes o remanentes que se generen de dicha quebrada; localizados en la comuna Rasuyacu de la parroquia Toacaso del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi; que a su vez la quebrada se encuentra ubicada en la Reserva Ecológica los Ilinizas acogándose dentro del Sistema de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador. (ver Anexo 1)

El área de estudio presenta un clima frío, cálido húmedo, con temperaturas que oscilan desde los 6°C a 17° 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 y al inhóspito suelo. El páramo se encuentra sobre los 3.700 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. (PDYOT TOACASO, 2014-2019)

El sitio de recolección del agua fue de los remanentes generados de la quebrada que los utilizan en épocas de sequía, agua que cuenta con la presencia de metales pesados en gran cantidad, entre ellos el Arsénico. (Tovar & Zapata, 2019)

Tabla 6: Coordenadas del área de estudio

COORDENADAS UTM WGS 84-17S		
X	Y	COTA
752544	9921304	3672
752532	9921293	3700
752534	9921289	3700
752528	9921290	3700
752532	9921286	3700

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

Para evaluar la capacidad de remoción de As, el presente estudio constó de cuatro etapas: adaptación, construcción, evaluación y disposición final.

9.2 Adaptación de la planta fitorremediadora

Se adquirió plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) de 20 a 25 cm de largo, desde un vivero ubicado en El Limonal, en las estribaciones occidentales de los Andes en la provincia de Imbabura, en una zona subtropical entre los 920 a 1000 msnm, para posteriormente trasladarlas a la parroquia de Toacaso de la provincia de Cotopaxi que se encuentra a una altitud de 3190 msnm. Para su adaptación se inició dos fases: en el suelo y en el agua

9.2.1 Adaptación en el suelo

- Tipo de suelo

El suelo en el que fue trasplantado el vetiver corresponde al orden Mollisoles, los cuales en su mayoría son de color negro, con un horizonte superior de gran grosor oscuro con abundante materia orgánica; son de texturas arcillosas o arcillo arenosas, pH ligeramente ácido y buena fertilidad natural, pudiendo encontrarse cangagua a más de un metro de profundidad. (PDYOT TOACASO, 2014-2019) (ver Anexo 2)

- Preparación del suelo

Se comienza por la limpieza quitando las malas hierbas, raíces y demás materiales que interfieran el crecimiento de la planta, esta operación se puede realizar con la azada, pero es más eficiente si sacamos la maleza con la mano.

- **Abonado del suelo**

La tierra fue fertilizada mediante la incorporación de abono orgánico suficiente para la nutrición de las plantas.

- **Trasplantación**

Se realizó por esquejes, propagación asexual compuesta de pedazos de tallos y hojas con una pequeña cantidad de raíces, para posteriormente trasplantarlas con un poco de abono orgánico (dos puños) en cada hoy, con separación entre plantas de 30 cm.

- **Riego**

El riego después del trasplante tiene que ser frecuente en forma moderada durante 15 días y después ya se puede aplicar el agua en mayores intervalos.

- **Tiempo de adaptación**

La adaptación en el suelo fue por un periodo de tiempo de 1 mes.

9.2.2 Adaptación en el agua

El sistema IFA una vez ensamblado se instaló en un tanque reservorio ubicado en la misma zona de trasplante, es decir a 3190 msnm en similares condiciones a nuestra área de estudio, por lo que permanecieron sumergidas en la matriz flotante; antes sus raíces fueron sumergidas en agua con nutrientes para acelerar su crecimiento. (ver Anexo 4)

- **Tiempo de adaptación**

La adaptación en el agua fue por un periodo de tiempo de 2 meses, para luego ser trasladadas al área de estudio.

9.3 Construcción del sistema integral IFA

9.3.1 Construcción de las Islas Flotantes Artificiales

- **Selección de materiales**

La matriz flotante se puede construir con materiales reciclables y de bajo impacto ambiental, como son tubos y codos PVC, pegamento de tubo, una malla plástica, correas de amarres

plásticas y botellas plásticas recicladas. Estos materiales han sido seleccionados por su durabilidad y disponibilidad en el medio.

- **Ensamblado de la matriz flotante**

Para la unión entre los tubos PVC y los codos del mismo material se usa una capa de pegamento de tubos PVC, esto para asegurarlos y evitar el ingreso de agua al interior de la matriz, una vez seco se procede a la fijación de la malla plástica asegurándola con correas de amarres plásticas y de la misma manera las botellas plásticas en la parte inferior de la matriz para asegurar su flotabilidad. (Ver Anexo 3)

- **Implementación de sustrato**

La fibra de coco funciona en el sistema IFA como un aislante entre el agua y la planta, por lo que disminuye enfermedades y plagas. La fibra de coco requiere de un proceso de elaboración. (Tabla 7) (ver Anexo 5)

Además, se coloca una capa de pumita (piedra pómez) como soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.

Tabla 7: Materiales y elaboración del sustrato

Sustrato	Materiales	Insumos	Procedimiento
Fibra de coco	Bandejas de aluminio Estufa Binder	Agua (H ₂ O) Sal (NaCl)	La fibra debe quedar a manera de hilos muy finos, lavarlos con abundante agua y sal, se realiza un nuevo lavado que retire la sal para finalmente secarla en una estufa por 2 horas a una temperatura de 120 °C.

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

9.3.2 Construcción del reservorio

- **Selección de materiales**

El tanque reservorio es un elemento fundamental para la investigación ya que permite la retención del agua en un determinado tiempo (40 días), necesaria para la experimentación.

El reservorio se construyó en un espacio existente en el área de estudio, el cual se edificó con costales rellenos de tierra a una altura de 1 metro, 2.55 metros de ancho y 2.40 metros de largo, con una capacidad de 3600 litros, cabe mencionar que en la investigación se manejó un volumen de 1800 litros. Consecuentemente se colocó 42 metros de geomembrana de 0.5 milímetros para evitar el contacto del agua con la tierra. (ver Anexo 6)

9.4 Evaluación

9.4.1 Muestreos

9.4.1.1 Toma de muestras de agua y sedimentos

Las muestras de agua van a ser utilizadas para la determinación de la concentración de arsénico inicial y final, es decir la disminución de este metaloide por acción del sistema IFA. Las muestras de agua con sedimentos determinarán la presencia de arsénico y de hierro en los mismos. (ver Anexo 7)

Para lo cual se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Usar guantes de látex para la toma de muestra ya que se manipula agua contaminada.
- Enjaguar el envase de vidrio tres veces con el agua que se va a ser recolectada antes de la toma de la muestra.
- Llenar los frascos de vidrio de 100ml completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte.
- Adición del preservante: el compuesto químico usado es el ácido clorhídrico al 36%, necesario para la conservación específica de ciertos elementos para la determinación de arsénico, por lo cual se adiciona inmediatamente 8 gotas en el sitio de la recolección; para después taparlos.
- La refrigeración o congelación de las muestras no es necesario ya que por el preservante se las puede mantener a temperatura ambiente.
- Los frascos que contienen las muestras deben ser protegidos y rotulados de manera que no se pierda la secuencia de toma de muestra y que ayuden a una correcta interpretación de los resultados, esta con su respectivo código, marcados de una manera clara y permanente (fecha y hora del muestreo, cantidad de los conservantes adicionados).

Tabla 8: Requerimientos para la toma de muestras de agua

Parámetro	Volumen min de muestra	Envases	Preservante	Recolección
Metales: Arsénico	100 ml	Vidrio	Ácido Clorhídrico (HCl)	Enjaguar el envase de vidrio tres veces con el agua que se va a ser recolectada, llenar el envase, añadir (8 gotas) de ácido clorhídrico, cerrar bien el envase.

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

9.4.1.2 Toma de muestras de lodos

La toma de muestras de lodos se lo realizó con el fin de analizar las cantidades de arsénico y hierro presentes en los remanentes de la captación (ojos de agua), esto bajo el método de muestreo asistemático, es decir un muestro al azar. El tipo de muestra de lodos fue compuesta, con una cantidad de 1 kg. (ver Anexo 8)

Para la toma de muestra se siguió los siguientes pasos, (AGROCALIDAD, 2018):

- Utilizar guantes de látex.
- Como primera medida para la colecta de muestra del suelo se deberá eliminar la cobertura vegetal.
- Con la ayuda de una pala se toma 3 submuestras haciendo hoyos en forma de V con una profundidad de 20cm. Se recomienda coleccionar submuestras de 40 gramos, a fin de obtener el peso requerido (1kg).
- Homogenizar la muestra en un balde.
- La muestra una vez homogenizada se envasa en una funda plástica (Ziploc) resiste al transporte, la misma que se deberá rotular con el código de la muestra, fecha de recolección y responsable.
- Para el transporte se debe evitar que las muestras tengan contacto directo al sol o a otras fuentes de calor hasta llegar a su destino final (laboratorio).

9.4.1.3 Toma de muestras de raíces del vetiver

El análisis vascular permite conocer el estado de la planta y diagnosticar el exceso o carencia de los contaminantes en estudio, en este caso de arsénico y de hierro, el cual se lo realiza después del tiempo de evaluación del sistema IFA. (ver Anexo 9)

Para la toma de muestra se siguió los siguientes pasos, (AGROCALIDAD, 2017):

- Al momento de realizar la toma de muestras se debe utilizar guantes de látex y una tijera esterilizada.
- Se debe retirar la materia orgánica, basura o maleza que interfiera con las raíces del vetiver.
- Tomar una cantidad mínima de cada muestra es de 5g.
- Colocarlas en papel aluminio y dentro de una funda plástica (Ziploc), bien cerrada para evitar la pérdida de humedad.
- Realizar el respectivo rotulado con el código de la muestra, fecha de recolección y responsable.
- Mantener las muestras en un lugar fresco sin contacto directo al sol o a otras fuentes de calor hasta llegar a su destino final (laboratorio).

9.4.2 Determinación del porcentaje de remoción de As

Para determinar la eficiencia del sistema IFA con la especie vetiver, se analizan los datos obtenidos en los análisis realizados en el Laboratorio de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), tanto de las concentraciones iniciales y finales de arsénico (ver Anexo 10), aplicando la siguiente ecuación de porcentaje de remoción:

$$\%R_N = \left(\frac{C_0 - C_1}{C_0} \right) * 100\%$$

Donde %R_N es el porcentaje de remoción del contaminante; C₀ es el valor de concentración del parámetro inicial y C₁ es el valor de concentración del parámetro final, todo esto multiplicado por 100.

9.4.3 Límites máximos permisibles

- Arsénico en aguas para riego agrícola

Los límites máximos permisibles de los niveles de arsénico en el agua empleada en el uso agrícola para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas, se encuentran en la Tabla 3 del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, en donde prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y

que cumplan con los niveles de calidad establecidos en el (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015).

Tabla 9: Tabla3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Arsénico	As	mg/l	0,1

Fuente: (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015)

- Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce: arsénico y hierro

Los lodos y sedimentos generados de tratamientos de aguas, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuarios, sistemas de alcantarillado y causases estacionales secos o no, siempre y cuando no cumplan con las normas fijadas en la Tabla 9 del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

Tabla 10: Tabla9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Hierro total	Fe	mg/l	10

Fuente: (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015)

9.5 Disposición final del sistema integral IFA

9.5.1 Disposición final de la matriz flotante

La matriz flotante constituida por los tubos PVC, la malla y las botellas de plástico; se puede almacenar para futuras investigaciones del mismo tipo, así optimizando recursos y reciclando una vez más los mismos materiales.

9.5.2 Disposición final de material vegetativo

Para la disposición final de las plantas de vetiver utilizadas y su sustrato en este caso la fibra de coco, se deberá seguir el siguiente proceso. (Alegre, 2017)

- **Proceso de recolección y transporte**

Los residuos vegetales del sistema IFA, deberán ser recolectados de forma manual utilizando EPP, bolsas de basuras plásticas selladas, transportándolos al sitio de incineración. (ver Anexo 14)

- **Proceso de incineración**

Los residuos de plantas y fibra de coco serán dispuestos en un lugar impermeable para ser secados a temperatura ambiente durante dos días. En un contenedor de metal sellado se coloca los residuos secos para posteriormente realizar combustión a una temperatura aproximada de 300 °C, convirtiendo los residuos en cenizas.

- **Disposición final**

Una de las opciones para desechar las cenizas de los residuos es mezclar proporcionalmente con materiales pétreos de construcción como cemento y arena para utilizarlos en construcciones.

10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para la ejecución de la presente investigación se estructuró cuatro etapas: adaptación, construcción, evaluación y disposición final del sistema integrado IFA, de los cuales se obtuvo los siguientes resultados.

10.1 Resultado de la adaptación del vetiver

Se adquirió plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) de 20 a 25 cm de largo, desde un vivero ubicado en la provincia de Imbabura, en una zona subtropical entre los 920 a 1000 msnm. (Ilustración 2). Posteriormente se las trasladó a la parroquia de Toacaso de la provincia de Cotopaxi que se encuentra a una altitud de 3190 msnm. La adaptación se inició en dos fases: en el suelo y en el agua.

Tabla 11: Resultados de la adaptación en el suelo

Descripción	
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="480 322 1399 472">- La adaptación de vetiver en el suelo fue en un periodo de 1 mes. Se las plantó en esta zona por las condiciones similares al área de estudio a 3700 msnm. <li data-bbox="480 524 1399 837">- Las plantas de vetiver adquiridas llegaron con una tonalidad verde, sin embargo, durante el mes de adaptación tuvo cambios en su aspecto, se tornaron de color moradas-rojizas y se empezaron a secar sus hojas, cambios propios por las diferentes condiciones climáticas a las que se enfrentaron (temperatura, precipitación, altitud). (Ilustración 4)

Tabla 12: Resultado de la adaptación en el agua

Descripción	
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="480 1066 1399 1290">- Para la adaptación del vetiver en el agua, se tomó 50 plantas, las que se encontraban en mejores condiciones, como las que poseían mayor número de raíces y con tamaños considerables para colocarlas en las dos islas flotantes artificiales ya ensambladas 25 en cada una. (Ilustración 10) <li data-bbox="480 1341 1399 1536">- Permanecieron parcialmente sumergidas y flotando en un tanque reservorio por dos meses en la misma zona de trasplante; tiempo en el que crecieron sus raíces, se adaptaron al medio hidropónico y al clima de la zona. (Ilustración 11)

10.2 Construcción del sistema integral IFA

10.2.1 Resultado de la construcción de las Islas Flotantes Artificiales

El esquema propuesto para las IFA para el presente estudio, se realizó en el programa AutoCAD, (Figura 11), para luego construirlo siguiendo el procedimiento descrito en la metodología, cabe recalcar que se repitió el proceso ya que para la investigación se necesitó 2 matrices flotantes de las mismas dimensiones. (Ilustración 7)

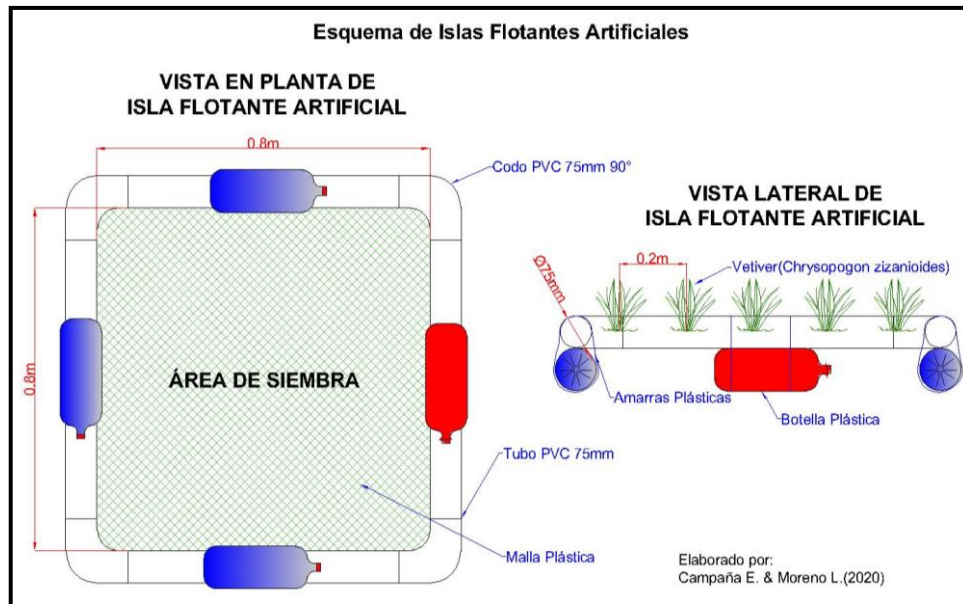


Figura 11: Esquema propuesto de construcción de las IFA
Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

10.2.2 Resultado de la construcción del reservorio

El esquema propuesto para la construcción e instalación del sistema IFA en el área de estudio, se realizó en el programa AutoCAD (Figura 12), el cual después de su construcción aportó con la retención del agua para poder tomar las muestras de agua y así poder comprobar el proceso de remoción. (Ilustración 18)

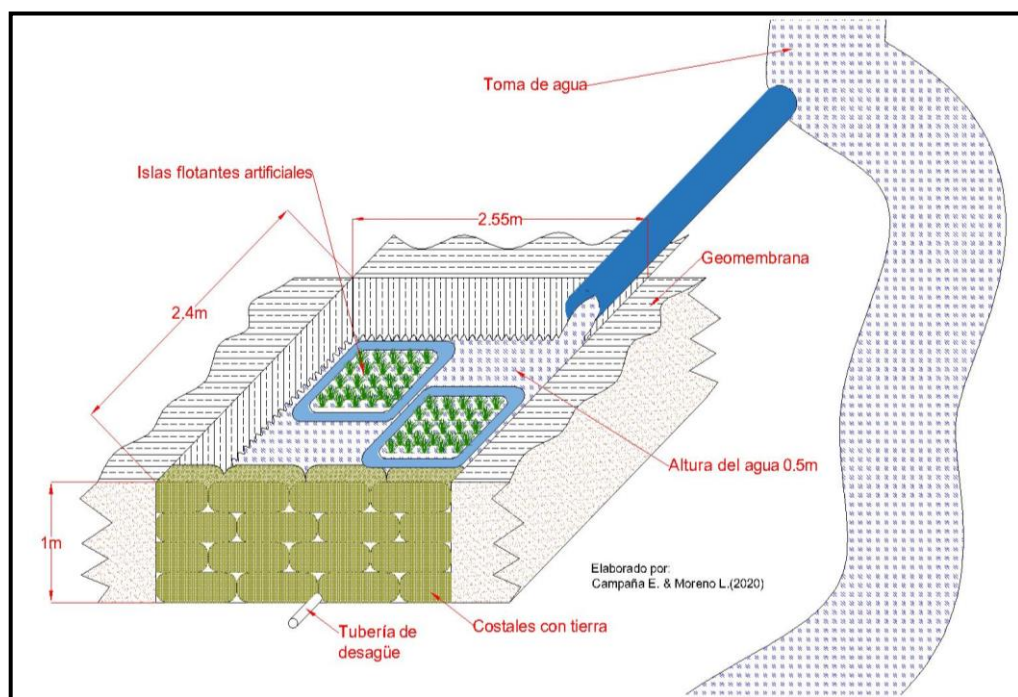


Figura 12: Esquema propuesto del sistema integral IFA
Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

10.3 Evaluación

10.3.1 Resultados de los muestreos

10.3.1.1 Análisis de los resultados de las muestras de agua

Se realizó el monitoreo de agua de una de las fuentes que provee al proyecto de riego Chilla Grande, misma que se utilizó para la presente investigación durante cinco meses (septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero).

Siguiendo el protocolo de muestreo descrito en la metodología, se tomaron las muestras para luego mandar a analizar en el Laboratorio de Control de la Calidad de Agua de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13: Resultado de los muestreos de agua.

ENTRADA				SALIDA				Tasa de eliminación
Número de muestreos	Código de muestra	Día de la muestra	As Conc. (mg.L ⁻¹)	Código de muestra	Día de la muestra	As Conc. (mg.L ⁻¹)	LMP A.M 097-A (mg.L ⁻¹)	
Muestreo 1	A001	0	20.44	A002	40	0.34	0.1	98
Muestreo 2	A003	40	16.33	A004	80	0.38	0.1	98
Muestreo 3	A005	80	12.60	A006	100	0.17	0.1	99
Muestreo 4	A007	100	12.60	A008	120	0.72	0.1	94

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

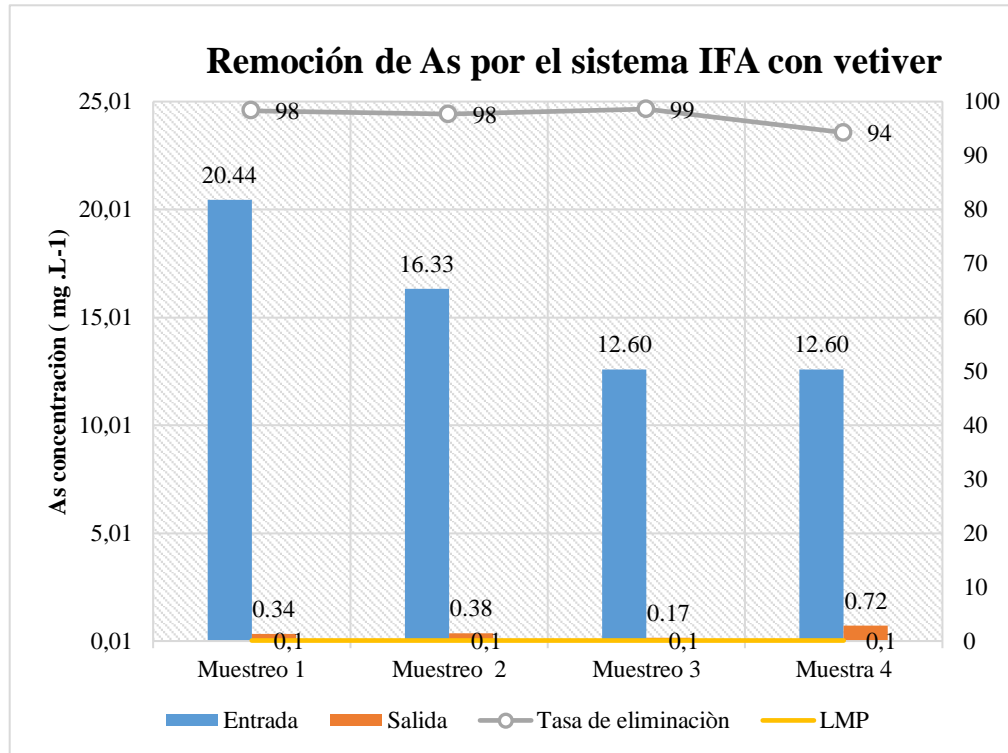


Figura 13: Porcentaje de remoción de arsénico en el agua
Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

Interpretación:

En la comparación de los (4) muestreos de entrada y (4) muestreos salida realizados se evidenció una disminución significativa de la concentración de As, En el muestreo (1) la concentración inicial (entrada) es de 20.44 mg/L con una concentración final (salida) de 0.34 mg/L⁻¹ obteniendo un 98% de remoción, Para el muestreo (2) la concentración inicial (entrada) es de 16.33 mg/L con una concentración final (salida) de 0.38 mg/L obteniendo un 98% de remoción. Para el muestreo (3) la concentración inicial (entrada) es de 12.16 mg/L y con una concentración final (salida) de 0.17 mg/L obteniendo un 99% de remoción. Para el muestreo (4) la concentración inicial (entrada) es de 12.60 mg/L y con una concentración final (salida) de 0.72 mg/L⁻¹ obteniendo un 94% de remoción. La disminución evidente en las concentraciones finales se aproxima al 0.1 mg/L que es el límite máximo permisible, para aguas para riego agrícola

10.3.1.2 Análisis de los resultados de las muestras de sedimentos

Por el proceso de precipitación que se presentó en el tanque reservorio, se realizó el análisis de As y Fe en los sedimentos, esto ya que los dos elementos tienen una gran afinidad. Siguiendo el protocolo de muestreo, se tomaron un total de 4 muestras dos de As y dos de Fe en diferentes fechas, mandándolas a analizar en el Laboratorio de Control de la Calidad de Agua de la

Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14: Resultados de arsénico en sedimentos

SEDIMENTOS ARSÉNICO					
ENTRADA			SALIDA		
código de muestra	As	código de muestra	As	LMP A.M 097-A	As Tasa de eliminación
	Conc.		Conc.		
	(mg.L ⁻¹)		(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	%
SED. TOMA1	132.23	SED. TANQUE1	28.08	0.1	79
SED. TOMA2	132.63	SED. TANQUE2	4.67	0.1	96

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

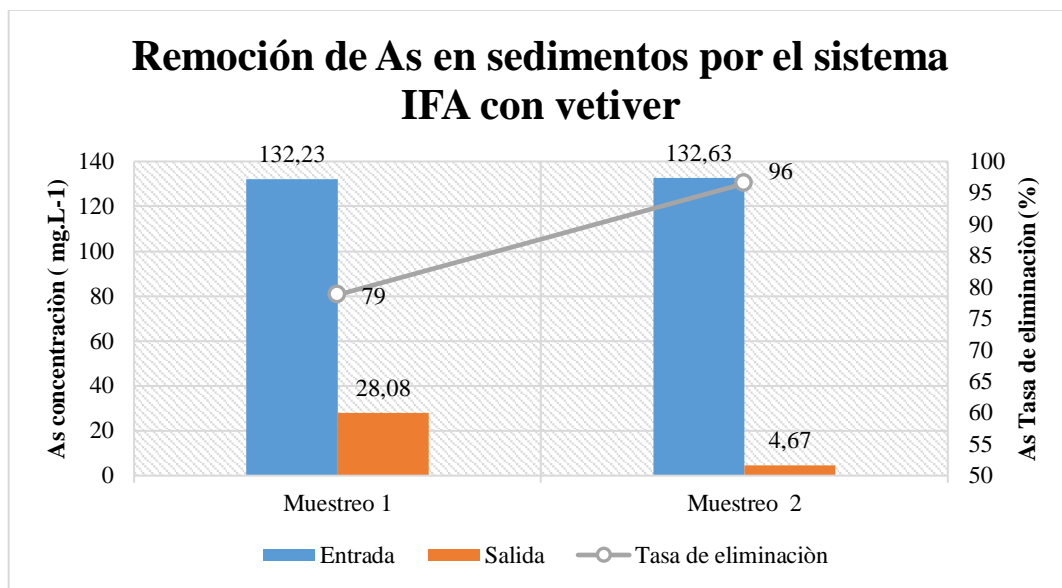


Figura 14: Porcentaje de remoción de arsénico en sedimentos y lodos
Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

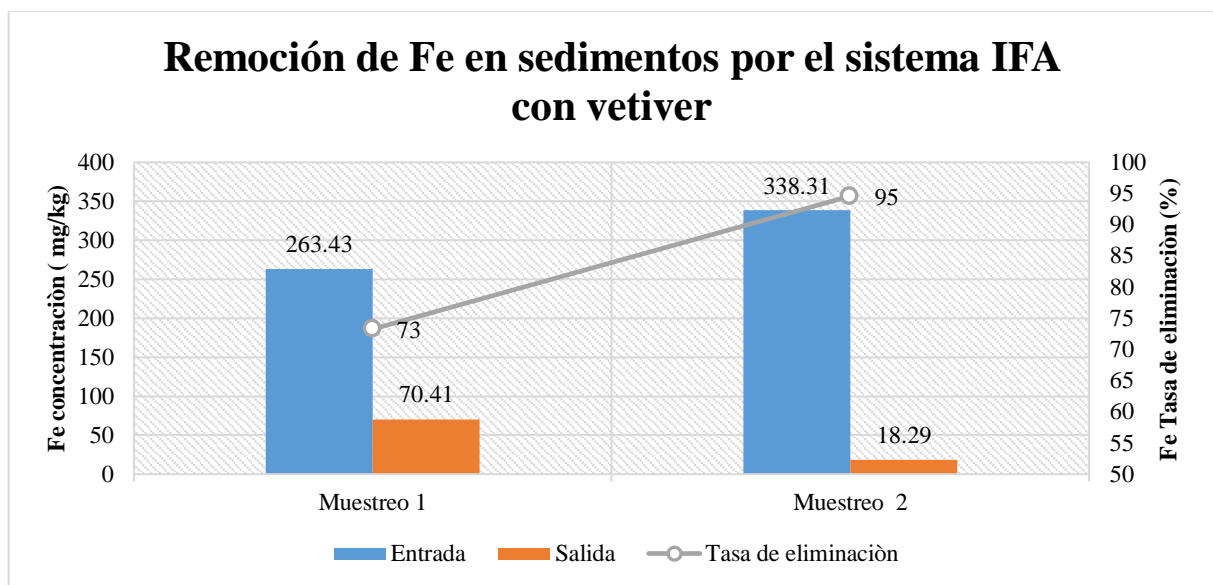
Interpretación:

En los muestreos de sedimentos se evidencia una tasa de eliminación considerable de la concentración de As. En el muestreo (1) la concentración inicial (entrada) es de 132.23 mg/L y con una concentración final (salida) de 28.08mg/L obteniendo un 76% de remoción. Para el Muestreo (2) la concentración inicial es de 132.63 mg/L y con una concentración final (salida) de 4.67 mg/L obteniendo una remoción del 96%.

Tabla 15: Resultados de hierro en sedimentos

SEDIMENTOS HIERRO					
ENTRADA		SALIDA			
Código de muestra	Fe Conc. (mg.L ⁻¹)	Código de muestra	Fe Conc. (mg.L ⁻¹)	LMP A.M 097-A (mg.L ⁻¹)	Fe Tasa de eliminación %
SED. TOMA1	263.43	SED. TANQUE1	70.41	10	73
SED. TOMA2	338.31	SED. TANQUE2	18.29	10	95

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

**Figura 15:** Porcentaje de remoción de hierro en sedimentos

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

Interpretación:

En los muestreos de sedimentos se evidencia una tasa de eliminación considerable de la concentración de Fe. En el muestreo (1) la concentración inicial (entrada) es de 263.43 mg/L y con una concentración final (salida) de 70.41 mg/L obteniendo un 73% de remoción. Para el muestreo (2) la concentración inicial es de 338.31 mg/L y con una concentración final (salida) de 18.29 mg/L obteniendo una remoción del 95%.

10.3.1.3 Análisis de resultados de la muestra de raíces

El vetiver realiza su proceso de fitorremediación, por rizofiltración, esto evidenciándose en los siguientes resultados.

Tabla 16: Resultados del análisis de Arsénico e Hierro en raíces del Vetiver

MUESTRA	Peso	Dilución	RESULTADO METALES (mg.L ⁻¹)	
			As	Fe
Raíz	0,5 g	50 ml	5.519	337.667

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

10.4 Disposición Final del sistema IFA

- Las 2 matrices flotantes serán entregadas a la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente para futuras investigaciones.
- El material vegetativo después de seguir con el procedimiento de disposición final, las cenizas resultantes de la incineración fueron entregadas a un propietario de una vivienda de la parroquia Toacaso, en donde fueron mezcladas con los distintos materiales pétreos que utilizaban para construir un cerramiento. (Ilustración 34)

11. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- El arsénico se encuentra en cuerpos de agua mediante procesos de meteorización de rocas, actividades microbianas y en cenizas de erupciones volcánicas (Mondal & Majumder, 2006), el agua objeto de estudio presenta contaminación natural siendo estas de vertientes del complejo volcánico los Ilinizas.
- El arsénico evaluado se presume que es inorgánico As (V) debido que este es predominante en ambientes acuosos, mientras que el ion arsenito [As (III) como H₃AsO₃ y H₂AsO₃⁻] es más frecuente en ambientes anóxicos (Mondal & Majumder, 2006).
- El vetiver utilizado en la investigación es una planta perenne no invasiva, ya que no se producen por esporas (Truong, Foong, Guthrie, & Hung, 2010) y el crecimiento de su sistema radicular es ampliamente distribuido y profundo características fitorremediadoras del vetiver (Danh, Truong, Mammucari, Pu, & Foster, 2012), además es una planta hidropónica ya que pudo sobrevivir y desarrollarse en ambiente hidropónicos por 120 días (Shu & Xia, 2003) al igual que en nuestro estudio, además se

adaptó a temperaturas extremas como la de los Ilinizas que van entre 9°C y 11°C y los extremos absolutos de 0°C a 22°C.

- El vetiver acumuló altas concentraciones de metales pesados y la combinación de estos, tal es el caso de arsénico y del hierro (Danh, Truong, Mammucari, Pu, & Foster, 2012), con la capacidad de acumulación en sus raíces (Siyar, y otros, 2020)
- Las especies de plantas tolerantes a bajas cantidades de metales trabajan por medio de un mecanismo de fitoestabilización, mientras que las plantas hiperacumuladoras de metales pesados usan un mecanismo de fitoextracción y el vetiver se pudo adaptar a condiciones de humedales utilizando el mecanismo de fitofiltración o rizofiltración, en donde las raíces de las plantas crecen en el agua, precipitan y concentran los metales tóxicos de los efluentes contaminados (Ravenscroft, Brammer, & Richards, 2009). La mayor parte del As acumulado por la planta fue retenido por las raíces, lo que conlleva a una menor translocación a las partes aéreas (Singh, 2017)
- Se utilizó un sistema basado en botellas que permitieron la flotabilidad, tubos PVC que dieron soporte para el medio de crecimiento de las plantas, asegurando la durabilidad, resistencia y eficiencia en el proceso de remediación ambiental. La flotabilidad, puede ser provista en las estructuras de las IFA por tubos PVC sellados, malla de plástico, bambú y almohadillas de vinilo inflables (Stefani, Tocchetto, Salvato, & Borin, 2011). Se utilizó la fibra de coco como medio de crecimiento del vetiver y como aislante entre el agua y la planta permitiendo que las raíces se desarrollen y así puedan remover fácilmente los metales pesados. La estructura interna puede ir constituida con fibras naturales como las de coco, caña de bambú (Stefani, Tocchetto, Salvato, & Borin, 2011) caña y paja de cebada (Garbett, 2005) o con polímeros sintéticos (Stewart, Mulholland, Cunninham, Kania, & Osterlund, 2008)
- La concentración de metales pesados en las aguas residuales desempeña un papel importante en el crecimiento del vetiver, el sistema evaluado por (Roongtanakiat, Tangruangkiat, & Meesat, 2007) demostró que es eficiente en la eliminación de Mn, Fe, Zn y Pb de aguas residuales provenientes de cuatro industrias: láctica, de fabricación de

- batería, de lámparas eléctricas y de fabricación de tintas. En la presente investigación demostró eficiencia en la remoción de As y Fe de fuentes naturales en zonas volcánicas.
- (Singh, 2017) demostró que el vetiver cultivado in vitro es eficiente en la remediación del arsénico del sistema hidropónico. La planta captó As en un rango de 11% a 28% con una concentración inicial de 10 μM , en un período de 7 y 14 días respectivamente y la remediación de As aumentó según el incremento de la concentración y los días de exposición. El sistema de fitorremediación evaluado en las IFA con la especie vetiver demostró eficiencia en la remoción de As en un rango de 94% a 99%, con concentraciones iniciales de 20 mg/L.

12. IMPACTOS

12.1 Ambientales

Las Islas Flotantes Artificiales se ha orientado a dar una solución sustentable para el tratamiento de agua con la presencia de arsénico, mediante un sistema de fitorremediación que, comparado con los actuales tratamientos de agua, el sistema IFA en su operación no perjudica ni causa contaminación alguna al ambiente ya que usa materiales reciclables, salvaguardando los recursos naturales.

La implementación del sistema IFA como tratamiento de aguas contaminadas con arsénico, con la utilización del vetiver fue esencial ya que posee características primordiales como la adaptación a distintos tipos de climas, su bajo requerimiento de nutrientes y principalmente al no ser invasora y no estar asociada a ninguna plaga, hace que sea ecológicamente segura, de esta manera no se produjo ningún tipo de invasión y propagación de esta especie en la Reserva Ecológica Los Ilinizas, donde fue implementado el sistema IFA, reduciendo el impacto ambiental a relación de otros tipos de remediación.

12.2 Socioeconómico

Con el mejoramiento de la calidad de agua de riego, las personas podrán consumir y expender productos agrícolas de calidad, sin el riesgo de contraer enfermedades por el consumo de alimentos con altas concentraciones de arsénico; así mejorando el comercio y la plusvalía en la zona, que por ende los ingresos económicos de las personas aumentarían ayudando a mejorar su estilo de vida.

El tratamiento de agua que se implementó en la Junta de riego Chilla Grande servirá de ejemplo para las demás poblaciones que tanto en agua de riego y de consumo humano excedan los límites máximos permisibles de arsénico.

El sistema IFA requiere una inversión mínima tanto en costos de instalación, operación y mantenimiento.

13. PRESUPUESTO

Tabla 17: Presupuesto

RECURSOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Humanos	3	Personas (autores, tutor)	\$20,00	\$300,00
Oficina	2	Resmas	\$5,00	\$10,00
	2	Libretas de campo	\$1,00	\$2,00
	2	Esferos	\$0,50	\$1,00
Tecnológicos	2 horas diarias	Computador	\$0,80	\$160,00
	2 horas cada cinco meses	GPS	\$15,00	\$75,00
	200 hojas	Impresora	\$0,10	\$20,00
Materiales:	7 metros	Tubos PVC	\$3,50	\$24,50
	1	Pegamento de tubos PVC	\$2,00	\$2,00
Elaboración de las islas flotantes	8	Codos	\$0,80	\$6,40
	2	Mallas de plástico	\$4,00	\$8,00
	1	Amarraderas	\$3,25	\$3,25
	6 kg	Fibra de coco	\$4,00	\$24,00
Elaboración del sustrato	1	Sal	\$1,00	\$1,00
	6	Bandejas de aluminio	\$5,00	\$30,00
	1	Tanque reservorio	\$150,00	\$150,00
Construcción del tanque reservorio	7	Envases de vidrio para toma de muestra 100ml	\$5,00	\$35,00
	1 paquete	Guantes de látex	\$10,00	\$10,00
	1 paquete	Fundas plásticas Ziploc	\$1,50	\$1,50
Toma de muestras	1	Rollo papel aluminio	\$3,00	\$3,00
Otros	7 muestras de agua	Análisis de arsénico (Laboratorio Acreditado)	\$30,00	\$210,00
	4 muestras de agua	Análisis de arsénico en sedimentos (Laboratorio Acreditado)	\$30,00	\$120,00

4 muestras de lodos	Análisis de arsénico sedimentos (Laboratorio Acreditado)	\$15,00	\$60,00
1 muestras raíces	Análisis de arsénico en las raíces del Vetiver (Laboratorio Acreditado)	\$72,80	\$72,80
20 tomas de muestra	Transporte	\$20,00	\$400,00
20 salidas	Alimentación	\$2,50	\$100,00
SUBTOTAL			\$ 1829,45
10% IMPREVISTOS			\$182,84
TOTAL			\$2012,29

Elaborado por: Campaña E. & Moreno L. (2020)

14. CONCLUSIONES

- La especie Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), en la etapa de adaptación mostró un crecimiento lento, manteniendo sus hojas de color amarillento sin tornarse completamente de verde oscuro y brillante como es su color característico, su sistema vascular no se desarrolló completamente presentando raíces débiles y no tan profundas, en tal sentido, por sus mismas características si se desarrolló y adaptó en un ambiente hidropónico a los 3700 msnm, es necesario recalcar que el vetiver sobrevivió a estas condiciones puesto que en algunas de las plantas utilizadas presentaron pequeños brotes.
- El sistema IFA evaluado en un periodo de cinco meses, muestran los siguientes resultados después de ser analizada el agua de la captación y de la misma manera sedimentos tanto de arsénico y consecuentes de hierro, de tal manera el rango de remoción de As fue entre 94% a 99%; remoción de As en sedimentos: 79% a 96% y la remoción de Fe: 73% a 94%, así demostrando una eficiencia en la remediación de arsénico en el captación del proyecto de riego Chilla Grande.
- El sistema IFA con la especie vetiver fue eficiente para la reducción de As en agua, las concentraciones de As se concentraron en raíces y no translocaron a otras partes de la planta facilitando su posterior uso. En los sedimentos se identificó disminución de As y Fe; gracias al sistema IFA se logrando purificar estos metales hasta en un 99% .

15. RECOMENDACIONES

- Basado en el análisis de laboratorio y en la evaluación de porcentajes de remoción de arsénico y de hierro, se considera pertinente utilizar el sistema IFA con la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), para mejorar la calidad de agua de reservorios con problemas de contaminación por metales pesados en especial de los ya analizados.
- La matriz flotante diseñada presentó excelentes características de resistencia, durabilidad y flotabilidad siendo posible su aplicación para el desarrollo de otras especies vegetativas.
- Los muestreos se pueden realizar con mayor frecuencia y de acuerdo a los protocolos establecidos, para obtener mayor precisión en la evaluación de resultados.
- La evaluación del sistema IFA para remoción de As se debería continuar por lo menos 1 año más para tener resultados más fiables ya que la remediación aumenta según el incremento de la concentración y los días de exposición.

16. REFERENCIAS

- ACUERDO MINISTERIAL 097-A. (04 de Noviembre de 2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego.*
- AGROCALIDAD. (2017). *Instructivo de muestreo para análisis nematológico.* Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/nematologia/instructivo-de-muestreo-para-el-analisis-nematologico-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- AGROCALIDAD. (2018). *Instructivo. Muestreo para análisis de suelo.* Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/lab/05-INTSFA10.-Rev3.-Vigente.pdf>
- Alarcón, M., & Martín, I. (2013). *Arsénico en Agua presencia y mitigación.* España-MEXICO: Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, S.C. (607-8272). Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>
- Alegre, J. (Diciembre de 2017). *MANUAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL PASTO VETIVER (Chrysopogon zizanioides).* Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández, M. (19 de Octubre de 2010). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas.* Obtenido de *Phytoremediation with artificial wetlands for the treatment of swine wastewater.*: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- ATSDR. (agosto de 2007). *Resumen de Salud Pública.* Departamento de Salud y Servicios Humanos, Estados Unidos. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.pdf
- Buchanan, B., Gruissem, W., & Jones, R. (2002). *Biochemistry and Molecular.* Obtenido de http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011_17%20Fitorremediacion.pdf
- Cabrera, M., Pinos, D., & Pulla, F. (2013). Estudiantes Escuela de Ingeniería Civil. *Galileo*, 7. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30009/1/173-635-1-PB.pdf>
- Carabantes & Fernicola. (12 de 2003). Arsénico en el agua de bebida. Un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 39, 365-372. doi:10.1590/S1516-93322003000400003
- Carabantes, A., & Fernicola, N. (12 de 2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *SciELO*, 365-372. doi:10.1590/S1516-93322003000400003
- Carvajal, A., & Lazo, E. (2017). *USO DE ISLAS FLOTANTES PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES.* Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101605/D-CD102666.pdf>
- Catalogue of the Vascular Plants of Madagascar. (29 de Mayo de 2017). Obtenido de <http://www.tropicos.org/Project/Madagascar>

- Cumbal, H., Bundschuh, J., Armienta, M., Birkle, P., Bhattacharya, P., Matschullat, J., & Mukherjee, A. (2008). *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*. CRC Press.
- Danh, L., Truong, P., Mammucari, R., Pu, Y., & Foster, N. (2012). Phytoremediation of Soils Contaminated by Heavy Metals, Metalloids, and Radioactive Materials Using Vetiver Grass, *Chrysopogon zizanioides*. *Phytotechnologies*, 255-280. doi:<https://doi.org/10.1201/b12954-16>
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, R., & Acevedo, O. (10 de Enero de 2011). *FITORREMIEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- EL TELÉGRAFO. (11 de Agosto de 2017). El estero Palanqueado 'renace' entre 40 islas flotantes en el sector Cisne II. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/41/4/el-estero-palanqueado-renace-entre-40-islas-flotantes-en-el-sector-cisne-ii>
- EL UNIVERSO. (3 de Diciembre de 2017). Achira, pasto, caña y lirios, para descontaminar el agua. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/vida/2017/12/03/nota/6508129/achira-pasto-cana-lirios-descontaminar-agua>
- Farias, S., Bundschuh, J., Armienta, M., & Salas, B. d. (2008). *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*. Bueno Aires- Argentina: CRC Press. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dX_XNF3b6FAC&oi=fnd&pg=PA397&dq=farias+bianco+2008+arsenic&ots=-gRUllq_za&sig=A4n6FD8E4-3qBvxZVDtjjdsc7h8#v=onepage&q=farias%20bianco%202008%20arsenic&f=false
- Fonseca, K., & Clairand, M. (2018). Caracterización preliminar de la calidad del agua del Reservorio del Centro Experimental Académico Salache. *UTCiencia*, 5(1). Obtenido de <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/133/121>
- Fonseca, K., & Espitia, E. (2017). Islas Flotantes Artificiales: una alternativa ecotecnológica para la restauración y remediación de aguas contaminadas.
- Galindo, G., Fernández, J., Parada, M., & Torrente, D. (2005). *Arsénico en aguas*. Argentina. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo_et_al-Arsenico-2005.pdf
- Garbett, P. (2005). An Investigation into the Application of Floating Reed Bed and Barley Straw Techniques for the Remediation of Eutrophic Waters. *Water and Environment Journal*, 19(3), 174-180. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.tb01584.x>
- García, A. (2012). *Sistematización de experiencias del: "Grupo pro agua sin arsénico" en la problemática de contaminación de agua por arsénico en la parroquia de Tumbaco*. Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3365/1/QT03080.pdf.pdf>
- Guerrero, A. (8 de Agosto de 2016). *QUIU*. Obtenido de QUIU: <http://quiurevista.com/queson-las-biopelículas/>

- Haque, S., & Johannesson, H. (2006). Arsenic concentrations and speciation along a groundwater flow path: The Carrizo Sand aquifer, Texas, USA. *Chemical Geology*, 57-71. doi:10.1016/j.chemgeo.2005.11.019
- International Agency for Research. (2002). *Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene: 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, 12 - 19 February 2002*. Lyon, France: IARC. Obtenido de <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono82.pdf>
- Lu, H.-L., Ku, C.-R., & Chang, Y.-H. (Enero de 2015). Water quality improvement with artificial floating islands. *Ecological Engineering*, 74, 371-375. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.013>
- Martelo, J., & Jaime, L. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte . *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221–243. Obtenido de <file:///G:/TITULACI%C3%93N%20I/946-Article%20Text-2915-1-10-20120615.pdf>
- Martínez, L., & López, C. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. 21. Bogotá, Colombia. doi:<https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.69209>
- Mickovski, S., van Beek, L., & Salin, F. (Diciembre de 2005). Uprooting of Vetiver Uprooting Resistance of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*). *Plant and soil*, 278, 33–41. doi:<https://doi.org/10.1007/s11104-005-2379-0>
- Mondal, P., & Majumder, C. (9 de 2006). Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: Recent developments. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 464-479. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.02.023
- Muñoz, A., Santoyo, G., Cedilo, C., Villegas, M., Munive, J., Ruiz, & J. (Diciembre de 2014). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal sobre el crecimiento del vetiver (*chrysopogon zizanioides*) bajo condiciones de invernadero. *GEOMINAS*, 42(65). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/270761083_Effect_of_rhizobacterias_promoting_vegetal_growth_on_vetiver_Chrysopogon_zizanoides_growth_under_greenhouse_conditions
- Ning, D., Huang, Y., Pan, R., Wang, F., & Wang, H. (1 de Julio de 2014). Effect of eco-remediation using planted floating bed system on nutrients and heavy metals in urban river water and sediment: A field study in China. *Science of The Total Environment*, 485-486, 596-603. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.103>
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. Obtenido de https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- PDYOT TOACASO. (2014-2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Diagnóstico de la Parroquia Toacaso*. Obtenido de Componente Biofísico y Socio-Cultural: <http://toacaso.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2017/06/DIAGNOSTICO-FINAL-GADPR-TOACASO-2015-2016-A.pdf>

- Ravenscroft, P., Brammer, H., & Richards, K. (2009). *Arsenic pollution: a global synthesis*. Chichester, U.K. ; Malden, MA: Wiley-Blackwell. Obtenido de file:///C:/Users/Joseline/Zotero/storage/YHB3PAJV/Ravenscroft%20et%20al.%20-%202009%20-%20Arsenic%20pollution%20a%20global%20synthesis.pdf
- Reddy, K., & DeLaune, R. (2008). *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*. Obtenido de file:///C:/Users/Joseline/Zotero/storage/2U2VAQ36/Reddy%20y%20DeLaune%20-%202008%20-%20Biogeochemistry%20of%20wetlands%20science%20and%20applicati.pdf
- Roongtanakiat, N., Tangruangkiat, S., & Meesat, R. (2007). *ScienceAsia*, 33(4), 397. doi:<https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33.397>
- Sancha, M., Reichard, E., & Hauchman, F. (2000). *Interdisciplinary Perspectives on Drinking Water Risk Assessment and Management*. California: IAHS. Obtenido de https://books.google.es/books?id=0hBvdpFDj_AC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_buy#v=onepage&q&f=false
- Santana, V., & Santos, J. (Junio de 2016). *EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (Chrysopogon zizanioides) ex – situ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS, CASO DE ESTUDIO RÍO MUERTO, CANTÓN MANTA*. Obtenido de http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/281/1/TMA82.pdf?fbclid=IwAR1AYgTu9bggsfhI8w9B57jnUi2iMH2fYA-qyq4TBehybbi8l27GAauK_eI
- Shu, W., & Xia, H. (2003). Integrated Vetiver Technique for Remediation of Heavy Metal Contamination: Potential and Practice. 13.
- Singh, S. (2017). Investigation of arsenic accumulation and biochemical response of in vitro developed Vetiveria zizanioides plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 7.
- Siyar, R., Doulati Ardejani, F., Farahbakhsh, M., Norouzi, P., Yavarzadeh, M., & Maghsoudy, S. (2020). Potential of Vetiver grass for the phytoremediation of a real multi-contaminated soil, assisted by electrokinetic. *Chemosphere*, 246(125802). doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125802>
- Soto, J. (Junio de 2016). *Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70818/01_Estudio%20de%20aplicabilidad%20de%20humedales%20artificiales%20para%20la%20mejora%20de%20la%20calidad%20de%20las%20aguas%20en%20los%20meandros%20abandonados%20del%20r%C3%ADo%20Segura.pdf?sequence=1
- Stefani, G., Tocchetto, D., Salvato, M., & Borin, M. (2011). Performance of a floating treatment wetland for in-stream water amelioration in NE Italy. . *Hydrobiologia*, 674(1), 157-167. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-011-0730-4>
- Stewart, F., Mulholland, T., Cunninham, A., Kania, B., & Osterlund, M. (2008). Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes-results of laboratory-scale tests. 16(1), 25.

- Tovar, C., & Zapata, C. (2019). *INFORME TÉCNICO: CALIDAD QUÍMICA DE LAS FUENTES HÍDRICAS DE SUROCCIDENTE DEL COMPLEJO VOLCÁNICO LOS ILINIZAS*. Latacunga.
- Truong & Thai. (2015). *El sistema vetiver para mejorar la calidad de agua*. Obtenido de Prevención y tratamiento de aguas y tierras contaminadas.: <https://www.vetiver.org/Water%20quality%20Spanish%20web%202.pdf>
- Truong, P., Foong, K., Guthrie, M., & Hung, Y. (2010). Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils and Water Using Vetiver Grass. *Environmental Bioengineering*, *11*, 233-275. doi:10.1007/978-1-60327-031-1
- USEPA. (2010). *Arsenic in drinking water*. Obtenido de <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/arsenic/index.cfm>
- Vargas, C., Pérez, J., Masaguer, A., & Moliner, A. (Agosto de 2013). Comportamiento de la vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados. *SEAgIng SECA*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259444112_Comportamiento_de_la_vetiveria_a_Chrysopogon_zizanioides_L_Roberty_como_extractora_de_metales_pesados_en_suelos_contaminados
- WHO. (2005). *Towards a More Effective Operational Response Arsenic*. Asia. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/338/1/T-SENESCYT-0108.pdf?fbclid=IwAR0aclhKOUWZywtTkmtC64E05FU4CidlUGNNeUym49hCD55dmI3-8AHQ3dE>
- Yeh, N., Yeh, P., & Chang, Y.-H. (2015). Artificial floating islands for environmental improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *47*, 616-622. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.090>
- Zhu, L., Li, Z., & Ketola, T. (11 de Octubre de 2011). Biomass accumulations and nutrient uptake of plants cultivated on artificial floating beds in China's rural area. *Ecological Engineering*, *37*, 1460-1466. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.010>

ANEXOS

KALINA MARCELA FONSECA LARGO

MSc. Ecología & aprovechamiento de recursos naturales

1. INFORMACIÓN PERSONAL

Lugar y fecha de nacimiento: Quito, 21 de octubre de 1989.

Estado civil: soltera

Cédula de ciudadanía: 17235344-7

Teléfono: 0996267102 - (02)2021755

Correo electrónico: kalina.fonseca@utc.edu.ec



2. INSTRUCCIÓN FORMAL

NIVEL	REGISTRO SENESCYT	INSTITUCIÓN EDUCATIVA	TÍTULO OBTENIDO	PAÍS DONDE REALIZÓ LOS ESTUDIOS
Cuarto	643288236	Universidad Estatal Rusa de Hidrometeorología	Máster en Ecología y Aprovechamiento de los Recursos Naturales (Diploma rojo: título recibido con honores)	Rusia (becada gobierno de Ecuador)
Tercer	Homologación	Universidad Estatal Rusa de Hidrometeorología	Licenciada en Ecología y utilización de recursos naturales	Rusia
Tercer	1005-14-1263267	Universidad Central del Ecuador	Licenciada en Turismo Ecológico	Ecuador

3. EXPERIENCIA EN ENSEÑANZA

EXPERIENCIA DOCENTE	INSTITUCIÓN	FACULTAD	FECHA DE INGRESO	FECHA DE SALIDA
Docente – investigador	Universidad Técnica de Cotopaxi	Ingeniería en Medio Ambiente	10/04/2017	En funciones

Investigadora – Docente 2 Años	Universidad Estatal Rusa de Hidrometeorología	Ecología y Gestión Ambiental	01/10/2014	05/07/2016
EXPERIENCIA DOCENTE	INSTITUCIÓN	FACULTAD	FECHA DE INGRESO	FECHA DE SALIDA
Docente 9 Meses	Unidad Educativa R.F. Suiza	Ciencias Ambientales	01/09/2012	31/06/2013
Docente 8 Meses	Unidad Educativa Particular Iberoamericano	Ciencias Ambientales	01/11/2011	31/07/2012

4. PUBLICACIONES

PUBLICACIONES OBRAS DE RELEVANCIA	IDIOMA ORIGINAL	ISSN
Comparación de métodos de interpolación para la estimación de temperatura del reservorio CEASA	Español	2288-0764
Caracterización preliminar de la calidad del agua del Reservorio del Centro Experimental Académico Salache	Español	1390-6909
Evaluación de la contaminación de las aguas superficiales como resultado de la explotación petrolera en la cuenca del río Pacayacu, Ecuador	Ruso	2306-5788.
Islas Flotantes Artificiales: Una alternativa ecotecnológica para el tratamiento de aguas contaminadas	Español	Proceso de edición (REVISTA ESPOL)
Investigación de mercado para la exportación de Chips de plátano Verde (Chifles) a Rusia	Español	Publicación SINAGAP
Estimación de datos faltantes de precipitación en la Subcuenca del Río Patate	Español	2588-0764

5. EXPERIENCIA EN TRABAJOS DE CONSULTORÍA

PROYECTO	ENTIDAD
Evaluación de la calidad de agua para riego de la comunidad Tiliche, Cotopaxi	Gobierno Autónomo Descentralizado de Cotopaxi

Pronóstico de variación de la calidad de agua del río Pacayacu	Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS), Ministerio del Ambiente del Ecuador
--	---


6. RECONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS:

- Ganadora en la 1 Feria de emprendimiento e innovación UTC 2019, organizado por la Facultad de Ciencias Administrativas de la UTC, obteniendo el segundo lugar, para en la categoría prototipo de Islas Flotantes Artificiales, 2019
- Becada para asistir y exponer el proyecto en el *Primer Curso Internacional en Ecosistemas con Enfoque Participativo en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas*, realizado por el Ministerio del Ambiente de Panamá y JICA- Japón, 2018
- Ganadora del concurso Mujeres por el cambio climático (WOMEN4CLIMATE), organizado internacionalmente por WOMEN4CLIMATE, C40 y nacional por Secretaría de Ambiente de Quito y ConQuito, 2018
- Ganadora del segundo lugar en la feria de proyectos de investigación: Software aplicados a las ciencias ambientales, FERIA UTECINA, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, 2018
- Ganadora del primer puesto del "2do Concurso Nacional de Investigación Agroeconómica" (Categoría pregrado), realizado por el MAGAP, Ecuador, 2017.

7. EXPERIENCIA INVESTIGATIVA: PONENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES

- Evento: I Jornadas de Difusión Ambiental. Lugar: Ecuador. Fecha: 17 de julio de 2019
- Evento: congreso Ecosistemas Acuáticos Tropicales en el Antropoceno – AQUATROP. Tema: Comparación de métodos de interpolación para la calidad de agua de la microcuenca del río Cutuchi. Lugar: Universidad San Francisco de Quito (USFQ) y de la Universidad de Las Américas (UDLA). Fecha: 26 de Julio de 2018
- Evento: I Congreso Internacional de Investigación Científica de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Tema: Evaluación Espacio – Temporal de la Calidad del Agua de la Microcuenca del Río Cutuchi. Fecha: 22-24 de Noviembre de 2017
- Evento: Primera Convención Científica Internacional de la Universidad Técnica de Manabí, 2017. Tema: Comparación de métodos de interpolación para la estimación comparación de métodos de interpolación para la estimación de temperatura del reservorio CEASA. Fecha: 18-20 de Octubre de 2017
- Evento: Primeras jornadas Ciencias Naturales y Matemática Escuela Politécnica Superior del Litoral. Tema: Islas Flotantes Artificiales: Una alternativa ecotecnológica para el tratamiento de aguas contaminadas. Fecha: 25/09/2017

HOJA DE VIDA**DATOS PERSONALES**

NOMBRES:	EVELYN LISETH	
APELLIDOS:	MORENO CHICAIZA	
FECHA DE NACIMIENTO:	11 DE MAYO DE 1997	
LUGAR DE NACIMIENTO:	PUJILÍ	
N° DE CÉDULA:	050368651-1	
ESTADO CIVIL:	SOLTERA	
NACIONALIDAD:	ECUATORIANA	
DOMICILIO:	BARRIO CRISTO REY, PARROQUIA ONCE DE NOVIEMBRE, LATACUNGA, COTOPAXI.	
CELULAR:	0995676995	
CONVENCIONAL:	032-682-054	
E-MAIL INSTITUCIONAL:	evelyn.moreno6511@utc.edu.ec	
E-MAIL PERSONAL:	liss.1997mch@gmail.com	

ESTUDIOS REALIZADOS

SUPERIOR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE (Egresada)
SECUNDARIA:	COLEGIO NACIONAL “PROVINCIA DE COTOPAXI” BACHILLERATO GENERAL UNIFICADO CIENCIAS GENERALES
PRIMARIA:	ESCUELA “ARCHIPIÉLAGO DE COLÓN”
IDIOMA:	INGLÉS (INTERMEDIO B1)

CARGOS OBTENIDOS

- REPRESENTANTE SUPLENTE DE ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES AL CONSEJO DIRECTIVO. Latacunga, 14 de febrero del 2018

PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES


- DIRECCIÓN DE RIEGO Y DRENAJE. GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI. (640 horas)

CERTIFICADOS

- Asistente a la: “II JORNADA DE DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AMBIENTAL”. Latacunga, 07 de febrero del 2020 (40 horas)
- Asistente a la: “I JORNADA DE DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AMBIENTAL”. Latacunga, 17 de julio del 2019 (40 horas)
- Asistente al: “I CONGRESO BINACIONAL ECUADOR-PERÚ “AGROPECUARIA, MEDIO AMBIENTE Y TURISMO 2019”. Latacunga, 23 de enero del 2019 (40 horas)
- Asistente a la: CAPACITACIÓN A LOS SUJETOS DE CONTROL EN PLANEES DE MANEJO AMBIENTAL, PLANES DE ACCIÓN, PLANES DE EMERGENCIA, INFORMES AMBIENTALES DE CUMPLIMIENTO Y AUDITORÍAS EN EL CANTÓN LATACUNGA, ENFOCADO EN LA EDUCACIÓN SOBRES LOS PROBELMAS DE CAMBIO CLIMÁTICO”. Latacunga, 21 de noviembre del 2018 (8 horas)
- Asistente al: “SEMINARIO NACIONAL AMBIENTAL”. Latacunga, 20 de abril del 2018 (16 horas)
- Certificado de: “ASESORAMIENTO TÉCNICO AMBIENTAL GRATUITO”. Latacunga, 24 de mayo del 2017
- Asistente a la: “CAPACITACION DE GESTIÓN AMBIENTAL”. DIRECCIÓN PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE COTOPAXI. Latacunga, 27 de marzo del 2017

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

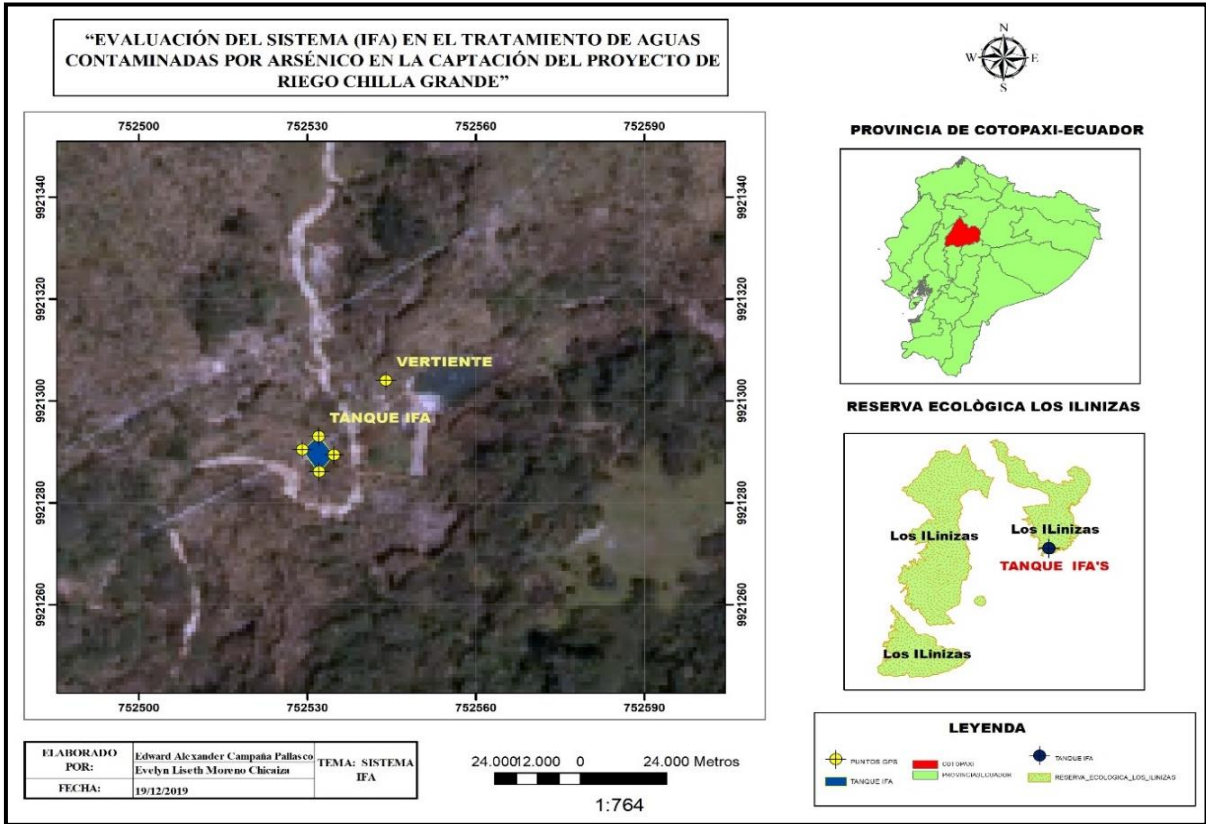
NOMBRES:	EDWARD ALEXANDER	
APELLIDOS:	CAMPAÑA PALLASCO	
FECHA DE NACIMIENTO:	19 DE DICIEMBRE DE 1996	
LUGAR DE NACIMIENTO:	LATACUNGA	
N° DE CÉDULA:	050377665-0	
ESTADO CIVIL:	SOLTERO	
NACIONALIDAD:	ECUATORIANO	
DOMICILIO:	BARRIO CENTRO, PARROQUIA TOACASO, Av. ORIENTE Y ATAHUALPA, LATACUNGA-COTOPAXI.	
CELULAR:	0987941580	
E-MAIL INSTITUCIONAL:	edward.campana6650@utc.edu.ec	
E-MAIL PERSONAL:	edwardalexo@hotmail.com	

ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA:	ESCUELA FISCAL “SIMÓN RODRÍGUEZ”
SECUNDARIA:	UNIDAD EDUCATIVA “VICENTE LEÓN” BACHILLERATO GENERAL EN CIENCIAS
SUPERIOR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE (Egresado)
IDIOMA:	INGLÉS (INTERMEDIO B1)

Anexo 1: Zona de estudio

Ilustración 1: Mapa de Ubicación



Anexo 2: Adaptación del vetiver en el suelo

Ilustración 2: Vetiver



Ilustración 3: Limpieza del suelo



Ilustración 4: Trasplante del vetiver



Ilustración 5: Cambios en la adaptación



Anexo 3: Construcción de la matriz flotante

Ilustración 6: Matrices flotantes



Ilustración 7: Aplicación del sustrato y del vetiver



Ilustración 8: Sistema de islas flotantes con la especie vetiver



Anexo 4: Adaptación del vetiver en el agua

Ilustración 9: Adición de nutrientes a las raíces



Ilustración 10: Instalación en el reservorio



Ilustración 11: Adaptación en el agua



Anexo 5: Elaboración del sustrato (fibra de coco)

Ilustración 12: Deshilado de la fibra de coco



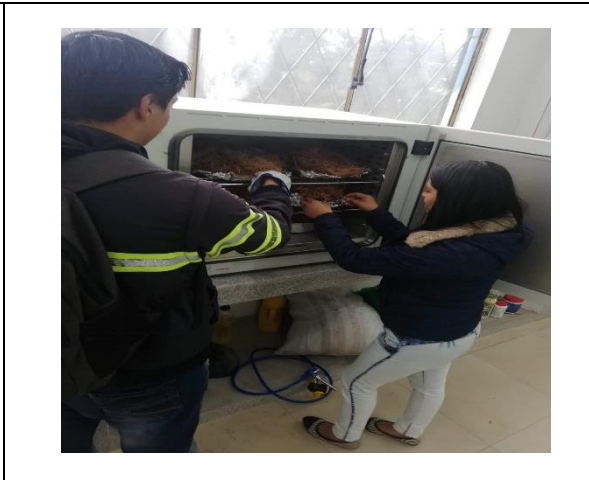
Ilustración 13: Adición de sal



Ilustración 14: Lavado de la fibra de coco



Ilustración 15: Secado de la fibra de coco



Anexo 6: Construcción del tanque reservorio

Ilustración 16: Lugar de construcción del tanque reservorio



Ilustración 17: Construcción del muro de costales de tierra



Ilustración 18: Instalación de la geomembrana



Ilustración 19: Sistema IFA con la especie vetiver



Anexo 7: Toma de muestras de agua y sedimentos

Ilustración 20: Fuente de agua (vertiente)



Ilustración 21: Toma de muestras de agua



Ilustración 22: Adición del perservante (HCl)



Ilustración 23: Toma de muestra de sedimentos

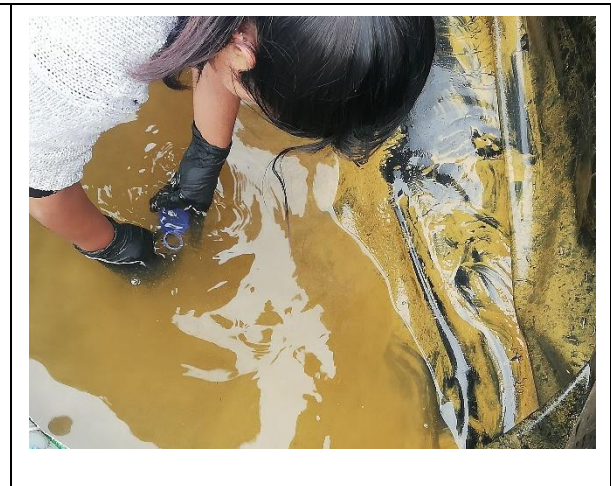


Ilustración 24: Muestras de sedimentos (100ml)



Ilustración 25: Muestra de agua (100ml)



Anexo 8: Toma de muestras de lodos

Ilustración 26: Colecta de las submuestras



Ilustración 27: Homogenización de las submuestras



Ilustración 28: Toma de muestras de lodos



Anexo 9: Toma de muestras de raíces del vetiver

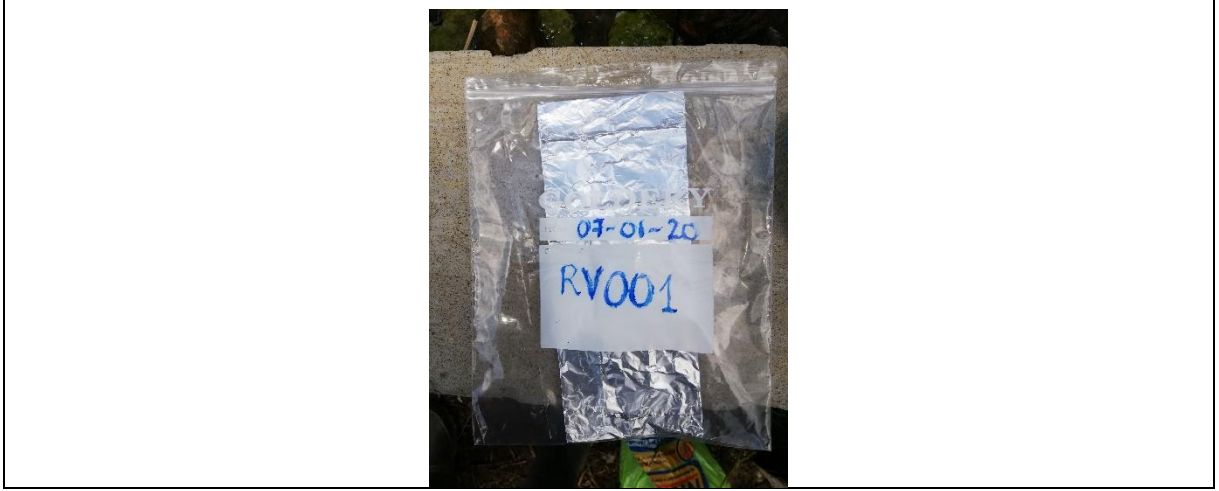
Ilustración 29: Corte de las raíces del vetiver



Ilustración 30: Toma de muestras en el papel aluminio



Ilustración 31: Muestras de las raíces (5g)



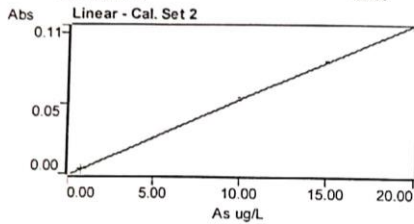
Anexo 10: Resultados de las concentraciones de As en el agua. Laboratorio (EPMAPS)

SpectraAA Report. 2:24 PM 1/2/2020 Page 1 of 2
 Analyst SANDRA CHICAIZA
 Date Started 9:30 AM 9/10/2019
 Worksheet As20190910
 Comment AA2A
 Methods As
 Computer name PC

Method: As (Vapor)

Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.00	>100	-0.0005
STANDARD 1	2.00	2.8	0.0094
STANDARD 2	5.00	2.4	0.0252
STANDARD 3	10.00	0.7	0.0535
STANDARD 4	15.00	1.4	0.0790
STANDARD 5	20.00	3.6	0.1053

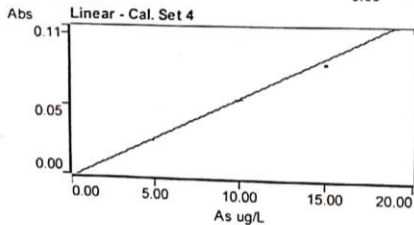
EPMAPS
 AGUA DE QUITO
 CONTROL DE LA
 CALIDAD DEL AGUA
 02 ENE. 2020



Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = 0.98 ug/L
 r = 0.9999
 Calculated Conc = 0.05 1.92 4.89 10.20 15.00 19.93
 Residuals = -0.05 0.08 0.11 -0.20 0.00 0.07

Abs = 0.00532 x C - 0.00082

BLANCO	0.81	>100	0.0035
ST 3.00	3.48	1.3	0.0177
MUESTRA 001-2	E. 19782.29	0.6	0.0518
MUESTRA 001-3	E. 20168.53	0.7	0.0529
CAL ZERO	0.00	16.5	-0.0028
Reslope	5.00	1.9	0.0267



Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = 1.08 ug/L
 r = 0.9998

< 0.002 mg/L
 Flujos ok

SpectraAA Report. 2:24 PM 1/2/2020 Page 2 of 2

Calculated Conc = -0.18 1.55 4.74 9.71 14.19 18.81
 Residuals = 0.18 0.04 0.26 0.29 0.81 1.19

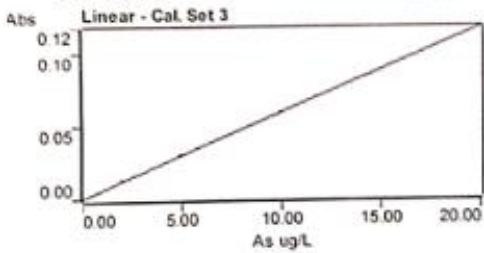
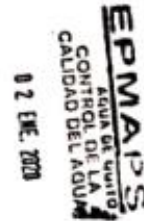
Abs = 0.00539 x C - 0.00174

Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
MUESTRA 001-4	E. 19989.22	1.2	0.0551
MUESTRA 001-1	E. 21836.47	5.2	0.0504

Analyst SANDRA CHICAIZA
 Date Started 8:53 AM 10/23/2019
 Worksheet As20191022
 Comment PROYECTO TESIS
 Methods As
 Computer name PC

Method: As (Vapor)

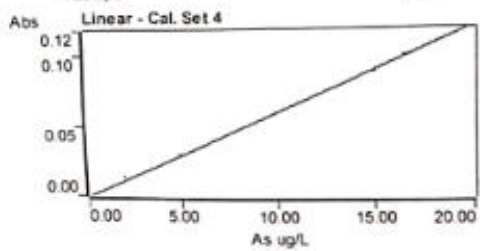
Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.00	>100	0.0002
STANDARD 1	2.00	5.3	0.0131
STANDARD 2	5.00	0.1	0.0298
STANDARD 3	10.00	0.2	0.0590
STANDARD 4	15.00	0.8	0.0878
STANDARD 5	20.00	1.3	0.1174



Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = 0.63 ug/L
 r = 1.0000
 Calculated Conc = -0.10 2.13 4.98 10.01 14.94 20.03
 Residuals = 0.10 -0.13 0.02 -0.01 0.06 -0.03

Abs = 0.00582 x C + 0.00372

Blanco	-0.39	18.5	-0.0015
sl 3.00	2.97	1.4	0.0180
A002-1	335.23	1.3	0.0983
A002-2	348.05	0.5	0.1021
A002-3	345.73	2.0	0.1014
A003-1	16419.95	0.4	0.0964
CAL ZERO	0.00	11.8	-0.0039
Reslope	5.00	0.8	0.0301



Curve Fit = Linear

20.002 mg/L
 Fluores OK

Characteristic Conc = 0.89 ug/L
 r = 0.9993
 Calculated Conc = -0.49 2.34 5.11 9.07 14.75 19.67
 Residuals = 0.49 -0.34 -0.11 0.03 0.25 0.33

Abs = 0.00594 x C - 0.00097

Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
A003-2	E. 16553.97	0.2	0.0986
A003-3	E. 16033.87	0.1	0.0955

SpectraAA Report

2:28 PM 11/25/2019

Page 1 of 2

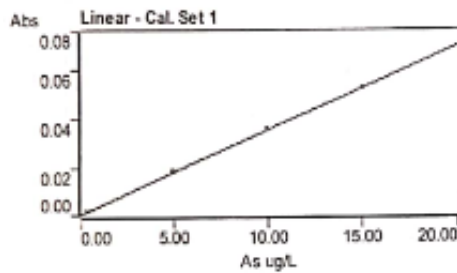
Analyst SANDRA CHICAIZA
 Date Started 9:25 AM 11/25/2019
 Worksheet AS20191125-1
 Comment PROYECTO TESIS-
 Methods As
 Computer name PC

Method: As (Vapor)

ERMAPS
 AGUA DE QUITO
 CONTROL DE LA
 CALIDAD DEL AGUA*

02 ENE. 2020

Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.00	57.8	0.0003
STANDARD 1	2.00	4.2	0.0068
STANDARD 2	5.00	5.2	0.0178
STANDARD 3	10.00	1.2	0.0358
STANDARD 4	15.00	1.2	0.0518
STANDARD 5	20.00	0.6	0.0682



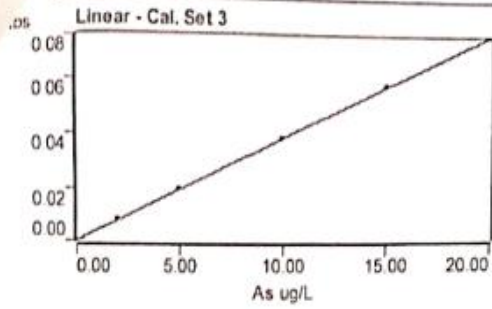
Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = 1.17 ug/L
 r = 0.9998
 Calculated Conc = -0.02 1.85 5.05 10.27 14.91 19.94
 Residuals = 0.02 0.15 -0.05 -0.27 0.09 0.08

Abs = 0.00345 x C + 0.00395

BLANCO	0.43	10.9	0.0018
st 3	3.39	5.0	0.0121
A004-1	371.30	0.7	0.0645
A004-2	384.81	0.8	0.0668
A004-3	384.10	0.5	0.0667
CAL ZERO	0.00	31.3	-0.0005
STANDARD 1	2.00	3.0	0.0083
STANDARD 2	5.00	2.4	0.0196
STANDARD 3	10.00	2.1	0.0383
STANDARD 4	15.00	1.1	0.0573
STANDARD 5	20.00	0.4	0.0756

Upp.S

20002 mg/L
 / Fugas ok.



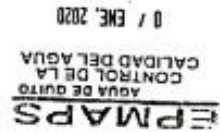
Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = 1.08 ug/L
 r = 0.9999
 Calculated Conc = -0.21 2.11 5.11 10.03 15.06 19.90
 Residuals = 0.21 -0.11 -0.11 -0.03 -0.06 0.10

Abs = 0.00378 x C + 0.00031

Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
BLANCO	0.15	63.6	0.0009
st 3	3.35	3.5	0.0130
A005-2	12286.45	1.2	0.0468
A005-3	12685.88	0.2	0.0483
A005-1	12847.90	1.3	0.0489
SEDIMENTO TANQUE-1	28596.88	0.7	0.0544
SEDIMENTO TANQUE-2	26830.63	3.5	0.0511
SEDIMENTO TANQUE-3	28804.96	0.4	0.0548

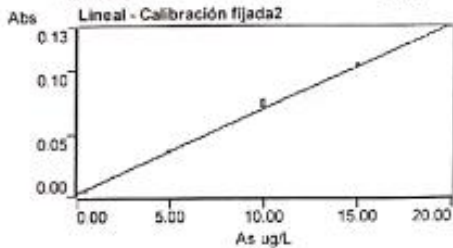
12286.45
 12685.88
 12847.90
 28596.88
 26830.63
 28804.96

Analista SANDRA CHICAIZA
 Fecha de inicio 12:42 PM 1/8/2020
 Hoja de trabajo As20200108
 Comentario PROYECTO TESIS
 Métodos As
 Nombre ordenador PC



Método: As (Vapor)

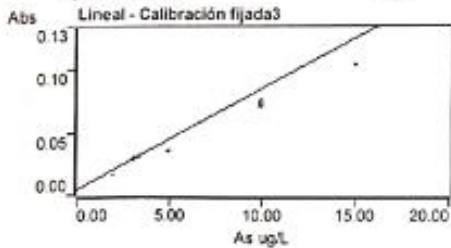
Muestra ID	Concentración ug/L	%RSD	Abs media
CERO CAL	0.00	27.4	0.0007
PATRÓN 1	2.00	1.7	0.0157
PATRÓN 2	5.00	0.9	0.0347
PATRÓN 3	10.00	5.1	0.0722
PATRÓN 4	15.00	1.2	0.1025
PATRÓN 5	20.00	0.8	0.1343



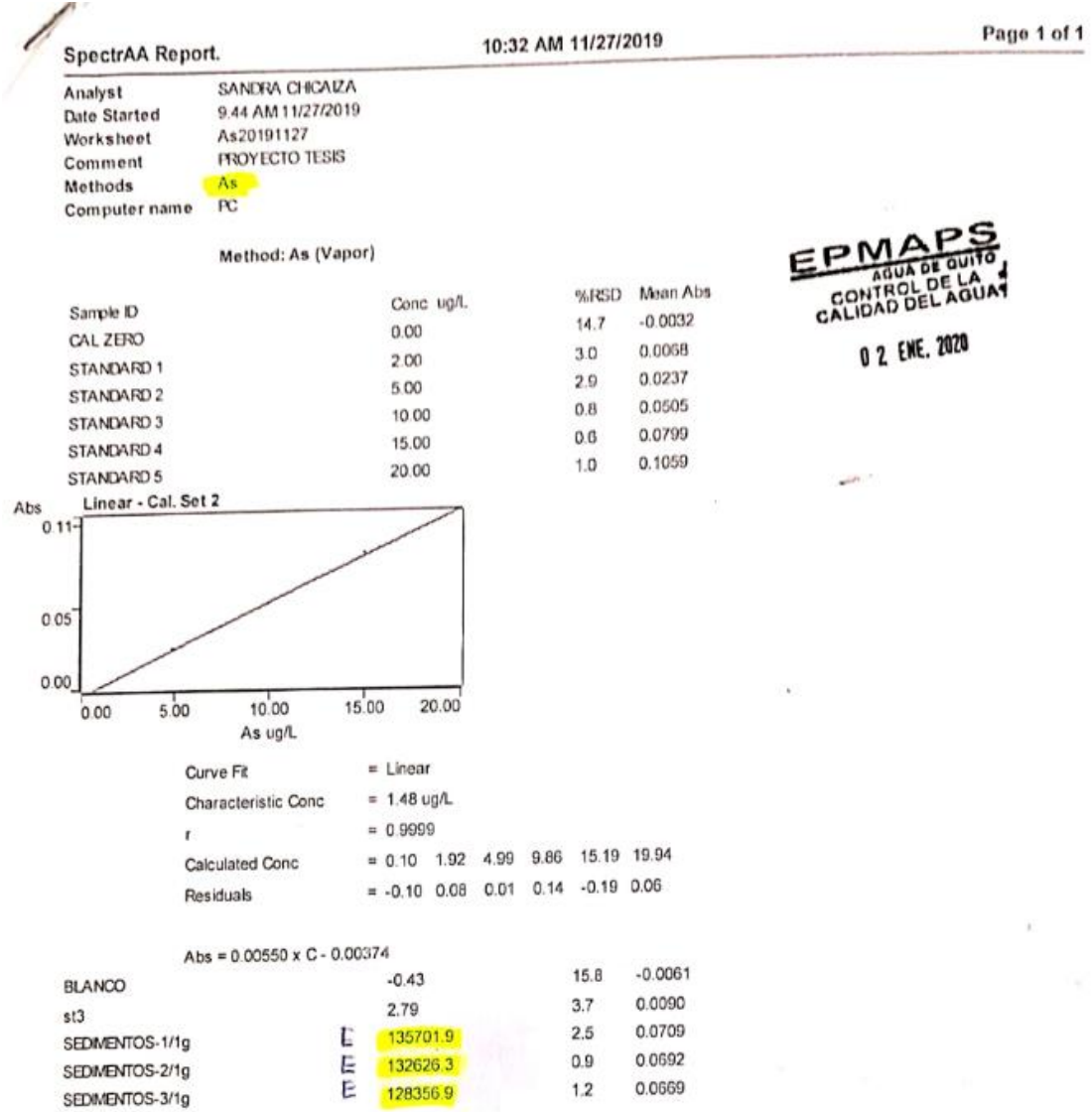
Ajuste de curva = Lineal
 Conc. característica = 0.35 ug/L
 r = 0.9994
 Concentración calculada = -0.20 2.04 4.87 10.49 15.03 19.76
 Residuales = 0.20 -0.04 0.13 -0.49 -0.03 0.24

Abs = 0.00669 x C + 0.00205

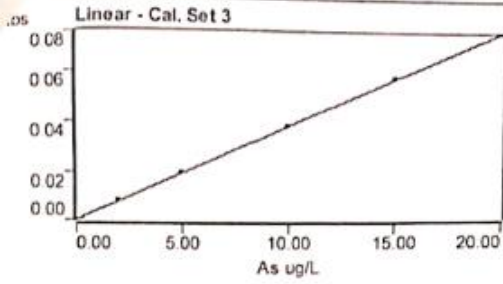
BLANCO	0.28	15.2	0.0039
sl 3.0	3.14	0.8	0.0231
A006-1	681.21	0.9	0.0932
A006-2	724.49	0.9	0.0990
A006-3	700.16	0.8	0.0957
SEDIMENTOS-1	4581.58	1.3	0.0634
SEDIMENTO-2	4644.57	0.9	0.0642
SEDIMENTO-3	4770.80	1.8	0.0659
CERO CAL	0.00	2.7	0.0057
Ajuste Pendiente	5.00	1.8	0.0422



Anexo 11: Resultados de las concentraciones de Fe en el agua. Laboratorio (EPMAPS)



< 0.00 mg/L
 FILTROS OK



Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = 1.08 ug/L
 r = 0.9999
 Calculated Conc = -0.21 2.11 5.11 10.03 15.06 19.90
 Residuals = 0.21 -0.11 -0.11 -0.03 -0.06 0.10

Abs = 0.00378 x C + 0.00031

Sample ID	Conc ug/L	%RSD	Mean Abs
BLANCO	0.15	63.6	0.0009
st 3	3.35	3.5	0.0130
A005-2	12286.45	1.2	0.0468
A005-3	12685.88	0.2	0.0483
A005-1	12847.90	1.3	0.0489
SEDIMENTO TANQUE-1	28596.88	0.7	0.0544
SEDIMENTO TANQUE-2	26830.63	3.5	0.0511
SEDIMENTO TANQUE-3	28804.96	0.4	0.0548

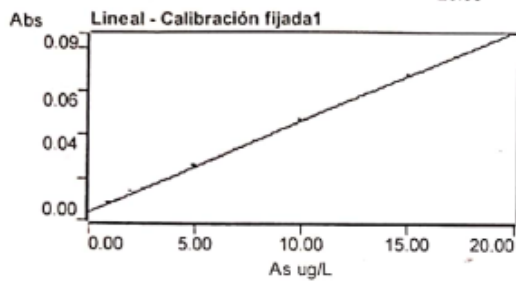
12286.45
 12685.88
 12847.90
 28596.88
 26830.63
 28804.96

Analista SANDRA CHICAIZA
 Fecha de inicio 1:53 PM 1/11/2020
 Hoja de trabajo As2020011
 Comentario TESIS PROYECTO
 Métodos As
 Nombre ordenador PC

07 ENE 2020
 CONTROL DE LA
 AGUA DE QUITO
EPMAPS

Método: As (Vapor)

Muestra ID	Concentración ug/L	%RSD	Abs media
CERO CAL	0.00	5.4	0.0019
PATRÓN 1	2.00	2.4	0.0135
PATRÓN 2	5.00	2.3	0.0255
PATRÓN 3	10.00	1.1	0.0462
PATRÓN 4	15.00	0.7	0.0666
PATRÓN 5	20.00	1.6	0.0865

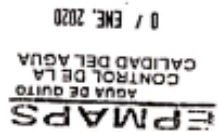


Ajuste de curva = Lineal
 Conc.característica = 0.12 ug/L
 r = 0.9993
 Concentración calculada = -0.49 2.30 5.18 10.15 15.04 19.82
 Residuales = 0.49 -0.30 -0.18 -0.15 -0.04 0.18

Abs = 0.00417 x C + 0.00391

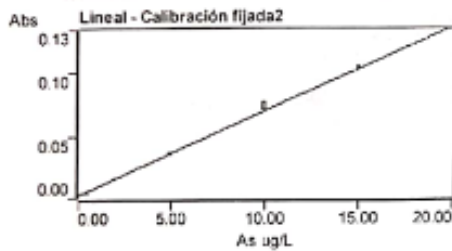
BLANCO	0.79	5.4	0.0080
st 3.0	3.69	1.1	0.0193
SEDIMENTO-1g-1	143953.5	1.8	0.0639
SEDIMENTO-1g-2	137601.1	1.0	0.0612
SEDIMENTO-1g-3	116325.6	0.8	0.0524
st3.0	3.73	1.9	0.0261

Analista SANDRA CHICAIZA
 Fecha de Inicio 12:42 PM 1/8/2020
 Hoja de trabajo As20200108
 Comentario PROYECTO TESIS
 Métodos As
 Nombre ordenador PC



Método: As (Vapor)

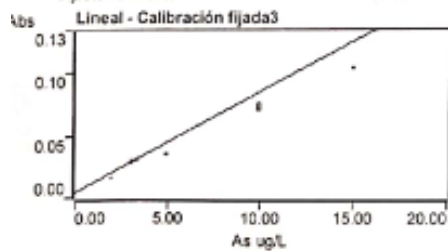
Muestra ID	Concentración ug/L	%RSD	Abs media
CERO CAL	0.00	27.4	0.0007
PATRÓN 1	2.00	1.7	0.0157
PATRÓN 2	5.00	0.9	0.0347
PATRÓN 3	10.00	5.1	0.0722
PATRÓN 4	15.00	1.2	0.1025
PATRÓN 5	20.00	0.8	0.1343



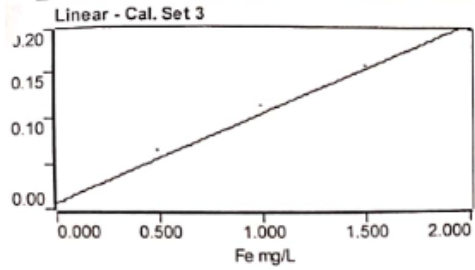
Ajuste de curva = Lineal
 Conc característica = 0.35 ug/L
 r = 0.9994
 Concentración calculada = -0.20 2.04 4.87 10.49 15.03 19.76
 Residuales = 0.20 -0.04 0.13 -0.49 -0.03 0.24

Abs = 0.00669 x C + 0.00205

BLANCO	0.28	15.2	0.0039
sl 3.0	3.14	0.8	0.0231
A006-1	681.21	0.9	0.0932
A006-2	724.49	0.9	0.0990
A006-3	700.16	0.8	0.0957
SEDIMENTOS-1	4581.88	1.3	0.0634
SEDIMENTO-2	4644.57	0.9	0.0642
SEDIMENTO-3	4770.80	1.0	0.0659
CERO CAL	0.00	2.7	0.0057
Ajuste Pendiente	5.00	1.8	0.0422



Anexo 12: Resultados de las concentraciones de Fe en el agua. Laboratorio (EPMAPS)



Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = -0.026 mg/L
 r = 0.9967
 Calculated Conc = -0.066 0.015 0.247 0.577 1.074 1.528 1.924
 Residuals = 0.066 0.035 0.003 -0.077 -0.074 -0.028 0.076

Abs = 0.09690 x C + 0.00394

Sample ID	Conc mg/L	%RSD	Mean Abs
BLANCO	-0.073	>100	-0.0002
st 0.3	0.303	1.8	0.0336
Suelo-1	E. 261.758	2.1	0.0577
Suelo-2	E. 265.543	0.5	0.0584
Suelo-3	E. 263.003	2.0	0.0579
st 0.30	0.300	1.8	0.0346

SpectrAA Report

7:35 AM 11/29/2019

Page 1 of 2

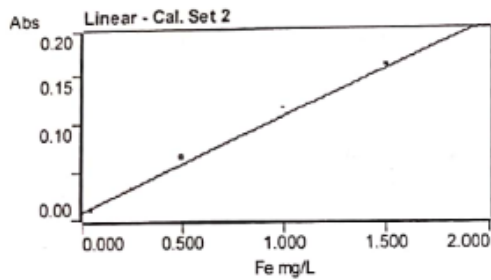
Analyst SANDRA CHICAIZA
 Date Started 2:19 PM 11/28/2019
 Worksheet 20191128
 Comment PROYECTO TESIS
 Methods Fe
 Computer name PC

EPMAPS
 AGUA DE QUITO
 CONTROL DE LA
 CALIDAD DEL AGUA

02 ENE. 2020

Method: Fe (Flame)

Sample ID	Conc mg/L	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.000	>100	0.0004
STANDARD 1	0.050	1.2	0.0095
STANDARD 2	0.250	2.9	0.0331
STANDARD 3	0.500	3.2	0.0637
STANDARD 4	1.000	0.5	0.1130
STANDARD 5	1.500	0.9	0.1574
STANDARD 6	2.000	0.6	0.1959



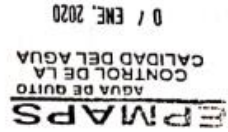
Curve Fit = Linear
 Characteristic Conc = -0.034 mg/L
 r = 0.9966
 Calculated Conc = -0.075 0.018 0.259 0.572 1.075 1.529 1.922
 Residuals = 0.075 0.032 -0.009 -0.072 -0.075 -0.029 0.078

Abs = 0.09790 x C + 0.00773

BLANCO	-0.076	64.0	0.0003
s0.30	0.292	0.5	0.0337
S/Tanque-1	70.029	1.3	0.0763
S/Tanque-2	70.703	0.1	0.0769
S/Tanque-3	70.524	0.2	0.0768
CAL ZERO	0.000	31.4	0.0006
STANDARD 1	0.050	3.6	0.0084
STANDARD 2	0.250	0.9	0.0309
STANDARD 3	0.500	1.2	0.0629
STANDARD 4	1.000	0.8	0.1110
STANDARD 5	1.500	0.6	0.1550
STANDARD 6	2.000	0.4	0.1934

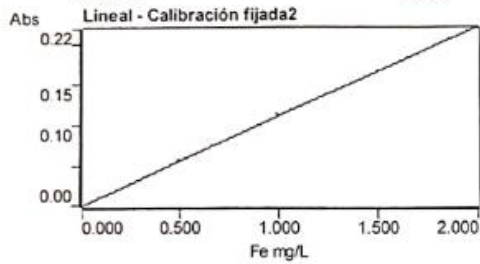
< 0.05 mg/L

Analista SANDRA CHICAIZA
 Fecha de inicio 11:11 AM 1/11/2020
 Hoja de trabajo Fe20200111-1
 Comentario PROYECTO TESIS
 Métodos Fe
 Nombre ordenador PC



Método: Fe (Llama)

Muestra ID	Concentración mg/L	%RSD	Abs media
CERO CAL	0.000	39.3	-0.0012
PATRÓN 1	0.050	2.9	0.0043
PATRÓN 2	0.250	1.6	0.0272
PATRÓN 3	0.500	0.3	0.0554
PATRÓN 4	1.000	0.2	0.1114
PATRÓN 5	1.500	0.7	0.1656
PATRÓN 6	2.000	0.2	0.2194



Ajuste de curva = Lineal
 Conc. característica = 0.044 mg/L
 r = 0.9999
 Concentración calculada = -0.006 0.044 0.251 0.506 1.013 1.503 1.990
 Residuales = 0.006 0.006 -0.001 -0.006 -0.013 -0.003 0.010

Abs = 0.11054 x C - 0.0005

BLANCO	-0.018	32.9	-0.0025
st 0.30	0.294	1.8	0.0319
S-Fe-1	18.396	0.1	0.1012
S-Fe-2	18.209	0.9	0.1001
S-Fe-3	18.287	0.3	0.0914
SEDIMENTOS-1g-1	341.251	0.6	0.0749
SEDIMENTOS-1g-2	339.365	0.8	0.0745
SEDIMENTOS-1g-3	334.332	0.6	0.0734

Anexo 13: Resultados del análisis de Multi-elementos (As-Fe) en las raíces del vetiver.



INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO
 ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP)
 Laboratorios de Investigación



Informe No. LI-AM-0
 Fecha de emisión: Enero, 16, 2020

1. Información Cliente

Cliente:	Evelyn Moreno
Correo electrónico:	Evelyn.moreno6511@utc.edu.ec

2. Cotización

Servicio solicitado	Número de muestras	Costo por muestra	Costo Total
Análisis Multi-elemento (33 elementos) Al, As, Ba, Be, Bi, B, Ca, Cd, Cs, Cr, Co, Cu, Ga, In, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Ni, P, K, Rb, Se, Si, Ag, Na, Sr, S, Te, Tl, V, Zn	1	65,00	65,00
Subtotal			65,00
IVA			7,80
Total			72,80

3. Datos de las Muestras*

Muestras entregadas**	Análisis Multi-elemento (33 elementos) Al, As, Ba, Be, Bi, B, Ca, Cd, Cs, Cr, Co, Cu, Ga, In, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Ni, P, K, Rb, Se, Si, Ag, Na, Sr, S, Te, Tl, V, Zn	Fecha de recepción de muestras
1	1	07.01.2020

*Adjunto Formulario Solicitud de Análisis (información de cada muestra entregada).

** Las muestras son recopiladas y entregadas directamente por el cliente para su análisis en los Laboratorios de Investigación – UDLA. La UDLA asume, de buena fe, que todas las muestras recibidas cuentan con el respaldo legal obtenido por el contratante en materia de permisos de obtención, manipulación y demás requerimientos establecidos en las normativas de la legislación ecuatoriana.



INFORME DE SERVICIOS DE ENSAYO
ANÁLISIS DE METALES POR PLASMA INDUCTIVO ACOPLADO (ICP)
Laboratorios de Investigación

4. Reporte de resultados

Método de análisis	Fecha de análisis	Fecha de obtención de resultados
Análisis Multi-elemento (33 elementos) Al, As, Ba, Be, Bi, B, Ca, Cd, Cs, Cr, Co, Cu, Ga, In, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Ni, P, K, Rb, Se, Si, Ag, Na, Sr, S, Te, Tl, V, Zn	14.01.2020	16.01.2020
Protocolo de digestión por microondas basado en metodología Plant Material (Digestor CEM, Modelo MARS 6). <ul style="list-style-type: none"> Protocolo de análisis: Corrida en ICP OES Thermo 7400, usando vista axial y radial de acuerdo a la longitud de onda de los metales. Se realiza una curva de calibración con el estándar multielemento para cuantificar las cantidades obtenidas. Se corre un control de calidad después de la corrida de las muestras para medir la reproducibilidad de los datos obtenidos. Estándar Multielemento: Periodic Table Mix 1 para ICP, TraceCERT®, Sigma-Aldrich, Código 10197588; Fecha Expiración: Ene/2022. 		

Observaciones:

5. Informe Final

Fecha de elaboración de informe técnico	Archivos adjuntos
16.01.2020	1. RESULTADOS ANÁLISIS TODOS LOS METALES

Notas:

- El presente informe de ensayo aplica únicamente para las muestras entregadas por el cliente a la fecha y hora descritas en este documento. Las muestras fueron analizadas según fueron recibidas en los Laboratorios de Investigación – UDLA.
- Los resultados obtenidos se tratarán como información confidencial. La UDLA ratifica la autoría intelectual del contratante sobre las muestras y los resultados de los servicios obtenidos.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización de los Laboratorios de Investigación – UDLA.

Firma de Responsable Técnico
 María Genoveva Granda
 Técnica
 Laboratorios de Investigación

Firma de Autorización
 Gabriel Iturralde
 Coordinador
 Laboratorios de Investigación



RESULTADOS ANÁLISIS DE METALES POR ICP

MUESTRA		Peso	DILUCIÓN	RESULTADOS METALES ppm (mg/Kg)																
				B	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	K	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	Zn	Ca	Fe	Al
Raíz		0,5577 g	50 ml	45,636	11,106	ND	3,744	1,710	3,548	8,040	4856,984	181,601	1,764	ND	11,337	0,336	12,814	1194,031	3377,085	509,964

Observaciones:

*ND= No detectado

RESULTADOS ANÁLISIS DE METALES POR ICP

 		RESULTADOS METALES ppm (mg/Kg)																
MUESTRA	Peso	DILUCIÓN	Na	Li	Ag	Ga	In	Mg	V	Te	Se	S	P	Si	As	Rb	Cs	Br
Raiz	0,5577 g	50 ml	957,870	2,056	ND	ND	1,411	658,692	0,832	11,515	ND	1071,458	630,969	120,729	494,496	9,649	ND	ND

Observaciones:

*ND= No detectado

Anexo 14: Disposición final del vetiver y del sustrato (fibra de coco)

Ilustración 32: Recolección



Ilustración 33: Secado



Ilustración 34: Incineración



Ilustración 35: Cenizas



Ilustración 36: Disposición final





Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**, Sr. **CAMPAÑA PALLASCO EDWARD ALEXANDER** y la Srta. **MORENO CHICAIZA EVELYN LISETH**, cuyo título versa **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON ARSÉNICO EN LA CAPTACIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO CHILLA GRANDE”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, febrero del 2020

Atentamente,


MSc. Marcelo Pacheco Pruna
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050261735-0



CENTRO
DE IDIOMAS