

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE**  
**RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**  
**Y DE RECURSOS NATURALES**



**“CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ESPECIE  
VEGETAL VETIVER *CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES* EN  
SUELOS CONTROLADOS CONTAMINADOS CON  
MERCURIO”**

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL  
Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES

CONCHA HUAMANI JOSE CARLOS

MONZÓN TRUEVAS BRYAN

SOLIS TOLEDO RICHARD JOSEPH

ASESOR:

CARMEN BARRETO PIO

Callao, 2019

PERÚ



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**

**COMISION DE GRADOS Y TITULOS**  
**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL**  
**TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**  
**N° 014-2019-JEDT-FIARN**

Siendo las 13:20 horas del día jueves 21 de noviembre del 2019, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II N° 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER *Chrysopogon zizanoides* EN SUELOS CONTROLADOS CONTAMINADOS CON MERCURIO" presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Bryan Monzón Truevas, José Carlos Concha Huamani y Richard Joseph Solis Toledo.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 088-2019-D-FIARN de fecha 13 de noviembre del 2019, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Lic.	Félix León Barboza	Presidente
Ing.	Gabriel Eduardo Escudero Cornejo	Secretario
Ing.	Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga	Vocal
MsC.	Carmen Elizabeth Barreto Pío	Asesora

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **MUY BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firma el Jurado Evaluador, siendo las 14:00 horas del día jueves 21 de noviembre del 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA que es una copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgue conveniente  
Callao, 11 de Noviembre del 2019

Callao, 11 de Noviembre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
Oficina de Secretaría General  
Mg. César Guillermo Jurgens  
Secretario General

Lic. Félix León Barboza  
Presidente

Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo  
Secretario

Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga  
Vocal

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de nuestras vidas. A nuestros padres por el apoyo incondicional y confianza que siempre nos brindaron y nos permitieron llegar a cumplir hoy un sueño más.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios por bendecirnos en esta etapa de nuestras vidas, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A nuestros padres por ser nuestro pilar fundamental y habernos apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A nuestros demás familiares por el esfuerzo brindado todo este tiempo para el cumplimiento de nuestros objetivos profesionales.

A nuestra asesora de tesis, Ing. Barreto Pío Carmen Elizabeth por su confianza, esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia y motivación se logró la culminación de este trabajo de investigación.

## INDICE

DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
INDICE.....	6
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	17
1.2. Formulación del problema .....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.4. Limitantes de la investigación .....	20
II. MARCO TEORICO.....	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Bases teóricas .....	24
2.2.1. Especie Vegetal <i>Chrysopogon zizanioides</i> "Vetiver Grass" .....	24
2.2.2. Mercurio en suelos .....	29
2.2.3. Calidad de Suelos.....	31
2.2.4. La Fitorremediación .....	32
i. Categorías de la Fitorremediación.....	32
ii. Capacidad de absorción: .....	38
2.2.5. Enmienda orgánica.....	40
2.3. Conceptual.....	42
2.3.1. Bioacumulación, translocación y absorción de metales en plantas.....	42
2.4. Definición de términos básicos .....	42
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	44

3.1.	Hipótesis .....	44
3.1.1.	Hipótesis general .....	44
3.1.2.	Hipótesis específicas .....	44
3.2.	Definición conceptual de variables .....	45
3.2.1.	Operacionalización de variables .....	47
IV.	DISEÑO METODOLOGICO.....	48
4.1.	Tipo y diseño de la investigación .....	48
4.2.	Método de investigación .....	49
4.2.1.	Etapa 1: Preparación del suelo a diferentes concentraciones de Hg .....	49
4.2.2.	Etapa 2: Preparación de esquejes de la especie vegetal vetiver <i>Chrysopogon zizanioides</i> .....	53
4.2.3.	Etapa 3: Caracterización de suelo y biofertilizante .....	55
4.2.4.	Etapa 4: Aplicación del tratamiento .....	55
4.2.5.	Etapa 5: Recolección y análisis de muestras en laboratorio.....	58
4.2.6.	Etapa 6: Disposición final de los suelos contaminados, después del tratamiento.....	60
4.3.	Población y muestra .....	60
4.3.1.	Población .....	60
4.3.2.	Muestra.....	60
4.4.	Lugar de estudio y periodo de desarrollo.....	61
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información..	62
4.6.	Análisis y procesamiento de datos .....	63
V.	RESULTADOS.....	64
5.1.	Resultados descriptivos.....	64
5.1.1.	Balance de masa suelo, planta, suelo-planta .....	64
5.1.2.	Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del suelo .....	67
i.	Variación del pH .....	67
a)	Variación del pH en suelos sin adición de Biofertilizante .....	67

b)	Variación de pH en suelos con adición de Biofertilizante.....	68
ii.	Variación de la conductividad eléctrica (CE).....	69
a)	Variación de la conductividad eléctrica (CE) en suelos sin adición de Biofertilizante .....	69
b)	Variación de la conductividad eléctrica (CE) en suelos con adición de Biofertilizante .....	70
5.2.	Resultados inferenciales.....	71
5.2.1.	Análisis de generación de biomasa .....	71
5.2.2.	Análisis de datos para la extracción de mercurio en raíces .....	75
5.2.3.	Análisis de datos para la extracción de mercurio en brotes.....	78
5.2.4.	Análisis de datos para el factor de translocación de la especie vegetal <i>Chrysopogon zizanioides</i> cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo .....	79
5.2.5.	Análisis de datos para el porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%) .....	80
5.3.	Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.....	81
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	82
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados....	82
6.2.	Contrastación de los resultados con estudios similares.....	83
6.3.	Responsabilidad ética.....	84
VII.	CONCLUSIONES .....	85
VIII.	RECOMENDACIONES .....	86
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	87
	ANEXOS.....	92

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LA ESPECIE VEGETAL "VETIVER GRASS" .....	25
Tabla 2.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL MERCURIO Y SUS COMPUESTOS .....	29
Tabla 2.3 MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN.....	33
Tabla 2.4 EFECTO DE NIVELES TÍPICOS PARA METALES PESADOS EN PLANTAS.....	37
Tabla 3.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....	47
Tabla 4.1 ESQUEMA DEL DISEÑO .....	48
Tabla 4.2 CANTIDADES DE SUELO REQUERIDAS PARA EL ESTUDIO... ..	49
Tabla 4.3 CANTIDADES NECESARIAS PARA LA CONTAMINACIÓN ..	51
Tabla 4.4 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN INICIAL DE MERCURIO EN SUELOS.....	52
Tabla 4.5 DATOS DE PREPARACIÓN DE ESQUEJES.....	53
Tabla 4.6 PROPORCIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SOLUCIÓN DE AGUA .....	54
TABLA 4.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	62
Tabla 5.1 BALANCE DE MASA DE MERCURIO EN SUELO.....	64
Tabla 5.2 BALANCE DE MASA DE MERCURIO EN LA ESPECIE VEGETAL VETIVER CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES .....	65
Tabla 5.3 BALANCE DE MASA DE MERCURIO EN SUELO-PLANTA... ..	66
Tabla 5.4 RESULTADOS DE PH EN SUELO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO SIN ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	67
Tabla 5.5 RESULTADOS DE PH EN SUELO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO CON ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	68
TABLA 5.6 RESULTADOS DE CE EN SUELO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO SIN ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	69

Tabla 5.7 RESULTADOS DE CE EN SUELO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO CON ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	70
Tabla 5.8 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA GENERACIÓN DE BIOMASA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	71
Tabla 5.9 PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR BIOFERTILIZANTE EN SUELO.....	72
Tabla 5.10 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SUELO.....	73
Tabla 5.11 ANÁLISIS DE VARIANZA: PRUEBAS DE EFECTO INTER-SUJETOS .....	73
Tabla 5.12 PRUEBA DE POST-HOC: COMPARACIONES MÚLTIPLES PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS..	74
Tabla 5.13 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN RAÍZ DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES.....	75
Tabla 5.14 PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR BIOFERTILIZANTE EN SUELO.....	76
Tabla 5.15 PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE HG EN SUELO.....	76
Tabla 5.16 ANÁLISIS DE VARIANZA: PRUEBAS DE EFECTO INTER-SUJETOS .....	77
Tabla 5.17 PRUEBA DE POST-HOC: COMPARACIONES MÚLTIPLES PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS..	77
Tabla 5.18 PRUEBA DE MANN – WHITNEY DE LA EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN BROTES DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES, CULTIVADOS A UNA CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO .....	78
Tabla 5.19 ESTADÍSTICOS DE PRUEBA DE LA EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN BROTES DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES, CULTIVADOS A UNA CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO .....	78
Tabla 5.20 PRUEBA DE MANN - WHITNEY PARA EL FACTOR DE TRANSLOCACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER	

CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES CULTIVADOS A UNA  
CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO ..... 79

Tabla 5.21 ESTADÍSTICOS DE PRUEBA PARA EL FACTOR DE  
TRANSLOCACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER  
CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES CULTIVADOS A UNA  
CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO ..... 80

Tabla 5.22 PRUEBA DE MANN - WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE  
EXTRACCIÓN DE HG POR LA PLANTA RESPECTO A LA REMOCIÓN  
TOTAL DE HG EN SUELO (%), CULTIVADOS A UNA  
CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO ..... 80

Tabla 5.23 ESTADÍSTICOS DE PRUEBA PARA EL PORCENTAJE DE  
EXTRACCIÓN DE HG POR LA PLANTA RESPECTO A LA REMOCIÓN  
TOTAL DE HG EN SUELO (%), CULTIVADOS A UNA  
CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO ..... 81

## **LISTA DE GRAFICOS**

Gráfico 5.1 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE PH A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO SIN ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	67
Gráfico 5.2 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE PH A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO CON ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	68
Gráfico 5.3 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE CE A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO SIN ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	69
Gráfico 5.4 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE CE A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO CON ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	70
Gráfico 5.5 GENERACIÓN DE BIOMASA .....	72
Gráfico 5.6 EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN RAÍCES .....	75

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 MECANISMO ESQUEMÁTICO DE LA FITOESTABILIZACIÓN .....	34
Figura 2.2 MECANISMO ESQUEMÁTICO DE LA FITOEXTRACCIÓN ..	37
Figura 4.1 USO DE IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD PARA LA CONTAMINACIÓN DE MERCURIO EN SUELO.....	50
Figura 4.2 CONTAMINACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS.....	51
Figura 4.3 ADAPTACIÓN DE LA VETIVER EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO EN SOLUCIÓN A Y B .....	54
Figura 4.4 TAMIZADO DE SUELO .....	56
Figura 4.5 PLANTACIÓN DE ESQUEJES EN SUELOS .....	56
Figura 4.6 MONITOREO IN-SITU.....	57
Figura 4.7 MONITOREO EX-SITU.....	58
Figura 4.8 MUESTRAS DE SUELOS .....	58
Figura 4.9 MUESTRAS DE RAÍCES.....	59

Figura 4.10 MUESTRAS DE BROTES .....	60
Figura 4.11 COLOCACIÓN DE MACETEROS EN INVERNADERO .....	61
Figura 4.12 INVERNADERO .....	61

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1: Certificado de análisis del Cloruro de Mercurio (II) .....	92
Anexo 2: Informe Técnico de determinación de mercurio inicial en suelos.....	93
Anexo 3: Informe de Análisis de caracterización de suelo.....	96
Anexo 4: Informe de Análisis especial de materia orgánica del biofertilizante Supermagro .....	98
Anexo 5: Informe Técnico de determinación de mercurio final en suelos	99
Anexo 6: Informe Técnico de determinación de mercurio en raíces .....	102
Anexo 7: Informe Técnico de determinación de mercurio en brotes .....	105
Anexo 8: Registro fotográfico de la Etapa 1.....	114
Anexo 9: Registro fotográfico de la Etapa 2.....	115
Anexo 10: Registro fotográfico de la Etapa 3.....	116
Anexo 11: Registro fotográfico de la Etapa 4.....	117
Anexo 12: Registro fotográfico de la Etapa 4.....	118

## RESUMEN

En este estudio se buscó determinar la capacidad de absorción de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos controlados contaminados con mercurio. El estudio fue realizado en un invernadero a nivel laboratorio en las instalaciones del Instituto de investigación de Especialización de Agroindustrias de la Universidad Nacional del Callao. Se simularon suelos contaminados con mercurio a niveles de concentración: 0ppm, 50ppm, 200ppm y 800ppm, donde intervino también el factor adición de biofertilizante Supermagro, teniendo como variables de respuestas a la generación de biomasa, extracción de mercurio en raíz, extracción de mercurio en brotes, factor de translocación y porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%). Para ello se estableció un periodo de experimentación de 45 días. Los resultados muestran que la adición de biofertilizante no tuvo efecto en la generación de biomasa (de 1,29 a 7,59 g con adición de biofertilizante en comparación con 3,09 a 11,81 g sin adición de biofertilizante), en la extracción de mercurio en raíz (5,515 mg de Hg extraído con adición de biofertilizante en comparación 6,630 mg de Hg extraídos sin adición de biofertilizante) , en la extracción de mercurio en brotes (0,125 mg de Hg extraídos sin adición de biofertilizante y 0.19 mg extraídos con adición de biofertilizante, sin embargo no se pueden encontrar diferencias significativas) ni en el porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%) (0,595% sin adición de biofertilizante y 0,535 con adición de biofertilizante, no encontrándose diferencias significativas). Se observó también que la mayor cantidad de mercurio absorbido por la planta se concentra en la raíz y que el aporte de la planta en la remoción de mercurio es mínimo. Se concluye que la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* tiene potencial de absorber mercurio en la raíces (fitoestabilización) más no transportarlos en partes extraíbles o aéreas de la planta (fitoextracción).

## ABSTRACT

This study sought to determine the absorption capacity of the vetiver plant species *Chrysopogon zizanioides* in controlled soils contaminated with mercury. The study was carried out in a laboratory-level greenhouse at the facilities of the Agribusiness Specialization Research Institute of the National University of Callao. Soils contaminated with mercury were simulated at concentration levels: 0ppm, 50ppm, 200ppm and 800ppm, where the addition factor of Supermagro biofertilizer also intervened. Having as variables of responses to biomass generation, root mercury extraction, mercury extraction in buds, translocation factor and percentage of Hg extraction by the plant with respect to the total removal of Hg in soil (%). For this, an experimental period of 45 days was established. The results show that the addition of biofertilizer had no effect on the generation of biomass (from 1.29 to 7.59 g with the addition of biofertilizer compared to 3.09 to 11.81 g without the addition of biofertilizer), in the extraction of root mercury (5,515 mg of Hg extracted with the addition of biofertilizer in comparison 6,630 mg of Hg extracted without the addition of biofertilizer), in the extraction of mercury in sprouts (0.125 mg of Hg extracted without the addition of biofertilizer and 0.19 mg extracted with addition of biofertilizer, however, no significant differences can be found) nor in the percentage of Hg extraction by the plant with respect to the total removal of Hg in soil (%) (0.595% without the addition of biofertilizer and 0.535 with the addition of biofertilizer, no finding significant differences) It was also observed that the greatest amount of mercury absorbed by the plant is concentrated in the root and that the contribution of the plant in the removal of mercury is minimal. It is concluded that the vetiver plant species *Chrysopogon zizanioides* has the potential to absorb mercury in the roots (phytostabilization) but not transport them in removable or aerial parts of the plant (phytoextraction).

## INTRODUCCIÓN

La capacidad de absorción de la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* en suelos controlados contaminados con mercurio pretende establecer un mecanismo de remediación de estos suelos contaminados. Para ello se ha determinado el efecto de las diferentes dosis de concentración de mercurio en suelo y la adición de un biofertilizante Supermagro en la generación de biomasa, la extracción de mercurio en la raíz, la extracción de mercurio en brotes, factor de translocación y el porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%). Las implicaciones ambientales y eco tóxicas de los suelos contaminados con mercurio así como la situación actual de las técnicas de remediación de sitios contaminados con plantas se describen en el capítulo uno de esta investigación; para luego en el capítulo dos identificar estudios similares y teorías que expliquen los mecanismos que gobiernan la capacidad de absorción de mercurio en suelos por la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides*. En el capítulo tres se plantean las hipótesis a contrastar que están íntimamente ligadas con nuestros objetivos específicos; para poder responder las hipótesis planteadas en el capítulo cuatro se diseña la metodología apropiada que pueda generar los datos necesarios que cuantifiquen nuestros objetivos. En el capítulo cinco luego de implementar el diseño, se presentan de forma estructurada los datos que cuantifican nuestros objetivos, estos datos son de naturaleza descriptiva e inferencial; luego de ser presentados, estos datos se analizan y contrastan a través de hipótesis y estudios similares en el capítulo seis. En el capítulo siete se presentan conclusiones ligadas a la contratación de hipótesis para luego en el capítulo 8 recomendar líneas de investigación que enriquezcan el conocimiento adquirido en este estudio.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

El mercurio es un elemento tóxico que se convierte en un problema cuando está presente en altas concentraciones en los suelos. La toxicidad del mercurio en los suelos varía según las especies químicas, la concentración, las rutas de exposición y la vulnerabilidad de los organismos (Lima et al., 2019). El mercurio es un metal pesado no biodegradable y tiende a persistir en el medio ambiente (Ghosh & Singh, 2005) y acumularse en la cadena alimentaria (Tran et al., 2018).

Una vez en los suelos este contaminante debe ser tratado para evitar su biomagnificación en los seres vivos. Sin embargo, los tratamientos efectivos son bastante costosos y están asociados con la producción de productos secundarios indeseables, la destrucción incompleta del contaminante objetivo, los aportes de alta energía, la variación y alteración de la estructura del suelo y otros efectos peligrosos (Ghori et al., 2015).

Las plantas tienen una capacidad inherente de absorber metales pesados, esta capacidad asistida químicamente con enmiendas orgánicas está ganando rápidamente la atención como una biotecnología para acelerar la eliminación de mercurio de sustratos contaminados, pero la forma en que las diferentes enmiendas químicas afectan el proceso sigue siendo una cuestión de investigación importante (Anning & Akoto, 2018).

Debido a sus características morfológicas, fisiológicas y ecológicas únicas, como su sistema radicular masivo y profundo, su tolerancia a una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas adversas, incluyendo niveles elevados de metales pesados, el interés de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* ha aumentado en los últimos años. Sin embargo, el uso del pasto vetiver para la fitorremediación de suelos con mercurio no es ampliamente conocido, esto por la falta de investigaciones

detalladas así como capacidad para absorber contaminantes y la aplicación práctica en el campo (Chen, Shen, & Li, 2004).

Por todo lo anterior se propone a la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* como planta con alta capacidad de absorción de mercurio en suelos controlados contaminados con mercurio.

## **1.2. Formulación del problema**

### **Problema general:**

¿Cuál es la capacidad de absorción de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos controlados contaminados con mercurio?

### **Problemas específicos:**

- ¿Cuánto es la generación de biomasa de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante Supermagro?
- ¿Cuánto es la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante Supermagro?
- ¿Cuánto es la extracción de mercurio en brotes en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos con biofertilizante Supermagro y sin biofertilizante Supermagro?
- ¿Cuánto es el factor de translocación de mercurio en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos con biofertilizante Supermagro y sin biofertilizante Supermagro?
- ¿Cuánto es el porcentaje de extracción de mercurio por la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* respecto a la remoción total de

mercurio en suelo (%) en suelos con biofertilizante Supermagro y sin biofertilizante Supermagro?

### **1.3. Objetivos**

#### **Objetivo general:**

Determinar la capacidad de absorción de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos controlados contaminados con mercurio.

#### **Objetivos específicos:**

- Determinar la generación de biomasa de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante Supermagro.
- Determinar la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante Supermagro.
- Determinar la extracción de mercurio en brotes en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos con biofertilizante Supermagro y sin biofertilizante Supermagro.
- Determinar el factor de translocación de mercurio en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en suelos con biofertilizante Supermagro y sin biofertilizante Supermagro.
- Determinar el porcentaje de extracción de mercurio por la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* respecto a la remoción total de mercurio en suelo (%) en suelos con biofertilizante Supermagro y sin biofertilizante Supermagro.

## **1.4. Limitantes de la investigación**

### **Teórico**

Los mecanismos que regulan el transporte del mercurio del suelo a la planta, así como los mecanismos de tolerancia de la planta al mercurio (estrés oxidativo) no son detallados en este estudio, pues su interpretación conlleva realizar análisis que no están incluidos en el presupuesto. Es de conocimiento que la concentración total de mercurio no explica la toxicidad del suelo en la planta, pero puede indirectamente establecer lineamientos para futuras investigaciones a través de niveles de tolerancia y acumulación de mercurio de la especie vegetal *vetiver Chrysopogon zizanioides*.

### **Espacial**

La contaminación de suelo implica simular situaciones o problemáticas que suceden en diferentes partes del mundo, por actividades antrópicas generalmente. Aunque cada problema es particular por sus características y condiciones específicas, los resultados e inferencias de este estudio pueden ser de mucha ayuda para validar o dar soporte teórico a estudios similares. Sin embargo este estudio carece de fundamentos para ser replicados a otros suelos que no tengan las características desarrolladas en esta investigación.

### **Temporal**

Los procesos físicos y químicos y biológicos que gobiernan el comportamiento del mercurio en el suelo y planta son dinámicos en el tiempo, la especiación de mercurio, la quelación en el suelo así como su biodisponibilidad de este metal para la planta, es variable en el tiempo. Debido a los recursos asignados a esta investigación no fue posible evaluar el comportamiento de este metal en el suelo y planta, ni los factores que los gobiernan en el tiempo, pero si se obtuvo datos iniciales y

finales para dar un diagnóstico general del proceso de absorción de mercurio en suelos por especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

#### Internacionales

(Anning & Akoto, 2018) en su artículo de investigación “fitorremediación asistida de suelo contaminado con metales pesados de un sitio minado con *Typha latifoliam* y *Chrysopogon zizanioides*” tuvo como objetivo cuantificar el factor de bioacumulación (BAF), el factor de translocación (TF), la eficiencia de eliminación (RE) y la absorción de Hg, As, Pb, Cu y Zn por totora (*Typha latifolia*) o vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en un experimento en macetas para determinar los efectos de las enmiendas en el éxito de la fitorremediación. Para ello se determinaron las concentraciones basales de los metales pesados dentro del sitio minado en estudio. El experimento incluyó tres tratamientos de suelo (cada uno con 16 muestras enmendadas con 0.05 ácido mol-L etileno diaminetetraacético (EDTA), 3g de sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3]$  y control sin enmendar) trasplantado con el mismo número de vetiver y totora. Los resultados mostraron que la adición de enmienda al suelo mejoró considerablemente la BAF, TF, RE y la absorción, pero el efecto varió con las especies de plantas y metales pesados en cuestión. En general, la enmienda del suelo ayudó a la acumulación y la translocación de metales pesados en las especies de plantas estudiadas.

(Lomonte et al., 2014) en su artículo de investigación titulado “Estudio de la distribución espacial de mercurio en raíces de pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) por espectrometría de micro-pixeles” tuvo como objetivo localizar Hg en los tejidos de la raíz del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) mediante espectrometría de emisión de rayos X inducida por micro-protones (PIXE) para obtener una mejor comprensión de la absorción de Hg y su translocación a las partes aéreas de la planta. Para ello se cultivó *C. zizanioides* se de forma hidropónico

durante 3 semanas en condiciones controladas y luego se expusieron a Hg durante 10 días con o sin la adición de los quelantes  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  o KI. Estos tratamientos se utilizaron para estudiar los efectos de estos quelantes en la localización de Hg en los tejidos de la raíz para permitir una mejor comprensión de la absorción de Hg durante su fitoextracción asistida. Los resultados mostraron que Hg se localizó principalmente en la epidermis y exodermis de la raíz, así también se encontraron diferencias en las concentraciones de mercurio en tejido al usar quelantes.

(Lomonte et al., 2011) en su artículo titulado “Fitoextracción de mercurio asistida por quelatos en biosólidos” tuvo como objetivo evaluar la fitoextracción asistida por quelatos (tiosulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ , cisteína (Cys), ácido nitrilotriacético (NTA) y yoduro de potasio (KI)) de Hg en tres especies de plantas, una herbácea y dos gramíneas: *Atriplex codonocarpa*, *Austrodanthonia caespitosa* y *Vetiveria zizanioides* en reservas de biosólidos contaminados con mercurio (8.4 mg/kg Hg) de la Planta de Tratamiento Occidental de Melbourne Water (MW-WTP). Demostrando que el KI es el mejor candidato para la fitoestabilización de Hg en biosólidos ya que facilitó la concentración de este metal principalmente en las raíces, así también se demostró que el  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  es el agente quelante más efectivo entre los analizados para la fitoextracción de Hg, ya que permitió la mayor translocación de Hg en los tejidos por encima del suelo de las especies de plantas seleccionadas

## **Nacionales**

Según el portal web Renati (registro nacional de trabajos de investigación), no se ha generado en nuestro país estudios que relacionen la capacidad de remediación de la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* en suelos u otra matriz (agua o aire) contaminados con mercurio.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Especie Vegetal *Chrysopogon zizanioides* "Vetiver Grass"**

La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* cuya clasificación taxonómica (véase la tabla 2.1, página "25"), es una planta herbácea de cola (1-2 m) de crecimiento rápido y perenne que forma un seto (barrera) denso cuando se planta en filas estrechas. La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* es nativa del sur y sudeste de Asia, donde ha sido cultivada durante siglos por su aceite aromático (de las raíces), cobertura para techo y forraje para el ganado. La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* tiene características morfológicas y fisiológicas que son ideales para la conservación del suelo y del agua.

La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* tiene tallos rígidos erectos y un sistema de raíces extensas de rápido crecimiento (hasta 3 m de profundidad en 12 meses). Nuevos brotes y raíces crecerán fácilmente desde su base cuando son enterrados en sedimentos. La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* es tolerante a temperaturas extremas (-10 ° 48 ° C en Australia), humedad del suelo, acidez del suelo y alcalinidad (pH de 3.3 a 10.5). La planta también se adapta a condiciones adversas del suelo tales como toxicidad de Al y Mn y alta salinidad y sodicidad del suelo (Dalton et al., 1996).

**Tabla 2.1**  
**CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LA ESPECIE VEGETAL "VETIVER GRASS"**

<b>ESPECIE VEGETAL "VETIVER GRASS"</b>	
<b>Nombre científico</b>	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty
<b>Nombre vulgar</b>	Vetiver Grass
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae (Gramineae)
<b>Género</b>	Chrysopogon
<b>Especie</b>	<i>Chrysopogon zizanioides</i>

Fuente: (Callirgos Rodríguez, 2014)

La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides*, se asemeja a la hierba luisa de tupidos penachos, con inflorescencia y semillas estériles, estas cualidades no permiten que se reproduzca sexualmente, debido a esto de hace necesario una reproducción sexual mediante el corte y siembra de un rizoma radicular o haces enraizados.

Esta planta crece en grandes macollas a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa. En Australia, sus tallos erguidos en forma recta alcanzan una altura que oscila entre 0,50 m a 1,50 m. Las hojas son relativamente rígidas, largas y angostas y tienen hasta 0,75 m de largo y no más de 8 mm de ancho. Las raíces han alcanzado hasta 3.00 m de longitud. La panícula, en donde se desarrolla la inflorescencia, tiene entre 0,15 m a 0.40 m de largo (Orihuela, 2007).

La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* ha demostrado que se desarrolla fácilmente en suelos margosos (suelos con arcilla, limo, arena además de altos contenidos de material vegetal en descomposición),

arenosos y profundos; pero también crece en suelos con altos niveles de contaminación, además, aguanta inundaciones por largos periodos (3 meses o más) después de estar bien establecida. También crece bien en suelos poco profundo. Esta especie puede soportar sequías extremas, debido a su alto contenido de sales en la savia de sus hojas, así como inundaciones por largos periodos. Con un manejo adecuado, la planta aguanta las sequías extremas, pero normalmente requiere una época de lluvias que dure por lo menos de 3 meses, sin embargo, la condición ideal es cuando las lluvias caen regularmente durante el año y crece mejor bajo condiciones húmedas, pero también se comporta bien bajo condiciones de poca humedad.

Crece en un rango amplio de suelos y con diferentes niveles de fertilidad y puede resistir temperaturas desde -15° a más de 44° C y desde alturas que oscilan desde el nivel del mar hasta los 2.500 m.s.n.m., aunque en algunos sitios del Perú se han plantado hasta los 3.500 m.s.n.m., pero todavía se encuentran en fase de evaluación. Para obtener buen desarrollo, es preferible que se encuentre directamente en contacto con la luz del sol, pero soporta hasta un 30% de sombra. Las raíces del vetiver, son una de sus mayores virtudes, generalmente crecen verticalmente y no compite con los cultivos adyacentes. En buenas condiciones de suelos, las raíces de la planta en doce meses pueden crecer hasta una profundidad de 4.00 m, y bajo la superficie del suelo se forma una barrera de suelo reforzado, resistente a la erosión (Paul Truong, 1999).

#### **A. Características especiales de La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides*.**

##### **Características morfológicas.**

El pasto Vetiver no presenta estolones ni rizomas, su sistema de raíces finas y compactas crecen rápido, puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año. Este profundo sistema de raíces hace que

la planta de vetiver sea extremadamente tolerante a las sequías y difícil de arrancar por fuertes corrientes. Presentan tallos firmes y erguidos, que pueden soportar flujos de agua relativamente profundos. Son resistente a plagas, enfermedades y al fuego. El vetiver forma una barrera densa cuando es plantado a corta distancia actuando como un filtro muy efectivo de los sedimentos y como un dispersor del agua de escorrentía, cuando se entierra por los sedimentos atrapados, crecen nuevas raíces desde los nudos. El vetiver continuará creciendo hacia arriba con los sedimentos depositados formando eventualmente terrazas, si el sedimento atrapado no es removido.

#### **Características fisiológicas.**

Esta especie vegetal es tolerable a cambios climáticos extremos como sequía prolongada, inundaciones, sumersión y temperaturas extremas de -15°C a +55°C, posee la habilidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectado por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones adversas al mejorar las condiciones del tiempo o se añadan correctivos al suelo, tolera un amplio rango de pH desde 3.3 a 12.5 sin enmiendas del suelo, también soporta altos niveles de tolerancia a herbicidas y plaguicidas, es eficiente para absorber nutrientes como N y P y metales pesados en aguas contaminadas, tolera medios de crecimiento altos en acidez, alcalinidad, salinidad, o ricos en sodio y Mg y también posee alta tolerancia al Al, Mn y metales pesados tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en los suelos (Paul Truong, 1999).

#### **Características ecológicas.**

Como se mencionó anteriormente la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* soporta condiciones extremas de suelo y clima, pero como pasto tropical es intolerante a la sombra. La sombra disminuye su crecimiento y hasta puede matar a la planta en periodos prolongados. Por lo tanto el vetiver se desarrolla mejor en espacios abiertos y libres de

malezas, siendo necesario el control de malezas en la etapa de establecimiento. Su uso en terrenos erosionables e inestables reduce la erosión, estabiliza el terreno, luego debido a la conservación de humedad y nutrientes, mejora el microambiente y otras especies espontáneas o cultivadas, pueden establecerse. Debido a esto se considera al vetiver una planta nodriza en tierras degradadas.

### **Tolerancia de la planta de vetiver al frío.**

La especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* puede sobrevivir y desarrollarse en condiciones de frío extremo, en condiciones de escarcha o helada su parte aérea muere o entra en latencia y se torna color púrpura pero sus puntos de crecimientos subterráneos sobreviven. En Australia, el vetiver no se afectó por una severa helada a  $-14^{\circ}\text{C}$  y sobrevivió por un corto período a  $-22^{\circ}\text{C}$  en el norte de China. En Georgia (EEUU), el vetiver sobrevivió a una temperatura del suelo de  $-10^{\circ}\text{C}$  pero no resistió a  $-15^{\circ}\text{C}$ . Recientes estudios demuestran que el crecimiento óptimo de raíces se presenta a temperaturas del suelo de  $25^{\circ}\text{C}$ , pero las raíces continúan creciendo hasta  $13^{\circ}\text{C}$  (P Truong & Hengchaovanich, 1997)

### **B. Métodos para propagar la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides*.**

Hay cuatro maneras de propagar la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* y ellas son: Primero se puede dar mediante la separación de brotes maduros de la macolla de la especie o plantas madre, obteniendo hijos (denominados comúnmente esquejes) a raíz desnuda para ser plantados de forma inmediata en el campo o en contenedores, la segunda manera de obtención es utilizando varias partes de las plantas madre de vetiver, el tercer método se da por la multiplicación de yemas o micro propagación in vitro para propagación a gran escala y el ultimo método es por medio de cultivo de tejido, usando una pequeña parte de la planta para propagación a gran escala (Orihuela, 2007)

### 2.2.2. Mercurio en suelos

Las propiedades fisicoquímicas del mercurio se muestran a continuación (véase la tabla 2.2).

**Tabla II.2**  
**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL MERCURIO Y SUS**  
**COMPUESTOS**

Propiedades	Hg <sup>0</sup>	HgCl <sub>2</sub>	Hg <sup>+2</sup>	HgS	CH <sub>3</sub> HgOH
Punto de fusión (°C)	-38.8	277	500 descomposición	584 Sublimación	137
Solubilidad del agua (g/L <sup>-1</sup> )	49.6x10 <sup>-6</sup> (20°C)	66 (20°C)	0.053 (25°C)	2x10 <sup>-24</sup> (25°C)	-
Punto de ebullición (°C)	356.7	303	-	-	-
Tensión de vapor (Pa)	0.18	0.009	9.2x10 <sup>-12</sup>	nd	0.9

Fuente: Adaptado de (J Wang et al., 2012)

El mercurio en el suelo generalmente se origina a través de tres vías principales: por procesos naturales, por actividades antropogénicas y por deposición de mercurio re-emitado pero previamente depositado (J Wang et al., 2012).

El mercurio originado por procesos naturales puede ser producto del desgaste de las rocas, de eventos volcánicos y de actividad geotérmica (Ferrara et al., 2000). Estableciendo concentraciones naturales o de fondo de mercurio en el suelo entre 0,03 y 0,1 mg/kg-1, con un valor promedio de 0,06 mg/kg-1. Las actividades antropogénicas en cambio incluyen la combustión del carbón, la incineración de residuos, el refinado y fabricación de metales, la producción de cloro alcalino y actividades que

descargan una gran cantidad de mercurio como fuentes de contaminación en el medio ambiente. La estimación reciente de las emisiones globales de mercurio oscila entre 5.000 y 8.000 toneladas métricas al año. El mercurio depositado por procesos de deposición en seco y en húmedo puede quedar atrapado por la materia orgánica y así enriquecerse en las capas superficiales del suelo. Se informa que la cantidad y la calidad de la materia orgánica y los mecanismos que regulan el reparto de la materia orgánica entre las fases acuosa y sólida del suelo desempeñan un papel importante en la distribución del mercurio total en el suelo y el transporte de mercurio a través de los perfiles del suelo.

El mercurio depositado puede ser transformado por las bacterias del suelo a una forma más tóxica de mercurio, como el metil mercurio (MeHg). Tomado de (J. Wang et al., 2012)

#### **A. Especiación del Mercurio en suelos**

La comprensión de la especiación de Hg y las interacciones complejas relacionadas es importante para predecir el destino y transporte de metales en los sistemas de suelo (Jing et al., 2007)

En la actualidad es bien sabido que la determinación de una concentración de mercurio total es insuficiente para comprender el ciclo biogeoquímico del metal y para establecer un método de remediación apropiado (J. Wang et al., 2012). Esto se debe principalmente a la falta de información sobre la reactividad (transformación / conversión), la biodisponibilidad y la toxicidad del mercurio en el suelo (Issaro et al., 2009). Se sabe además que las cantidades de metal absorbidas por una planta dependen de las concentraciones y la especiación del metal en la solución del suelo, que entran en las células por medio de los mismos procesos de absorción de micronutrientes esenciales como iones metálicos de (Patra et al., 2004).

La información sobre la especiación del mercurio en el suelo es crucial para establecer cualquier método de remediación. En general, una alta proporción de mercurio biodisponible en el suelo exigiría el uso de técnicas de lavado del suelo, fitoextracción y electro-remediación a través de las cuales se eliminaría el mercurio. Para el suelo con una concentración de mercurio biodisponible baja, primero se debe aumentar la disponibilidad de metal para facilitar el uso de estos métodos. Para el suelo con alto contenido de mercurio elemental, métodos tales como estabilización / solidificación (S / S), vitrificación e inmovilización son opciones de remediación adecuadas. Para el suelo con alto contenido de Hg no disponible, la tecnología de desorción térmica puede ser adecuada cuando el mercurio pueda volatilizarse a altas temperaturas (J. Wang et al., 2012)

### **B. Toxicidad del mercurio en las plantas.**

La toxicidad del mercurio para las plantas se puede resumir como sigue:

(1) afectan al sistema antioxidante (Israr & Sahi, 2006)

(2) afecto en el sistema de fotosíntesis, el mercurio afecta tanto a la luz y las reacciones oscuras de la fotosíntesis. La sustitución del átomo central de la clorofila, magnesio, por el mercurio in vivo impide la cosecha luz fotosintética en las moléculas de clorofila afectadas, lo que resulta en una ruptura de la fotosíntesis (Patra et al., 2004)

(3) la inhibición del crecimiento de las plantas y un efecto sobre la absorción de nutrientes y la homeostasis (Patra & Sharma, 2000) tomado de (J. Wang et al., 2012)

### **2.2.3. Calidad de Suelos**

Hay muchas definiciones de la calidad del suelo, siendo una de las más utilizadas la de relacionada con las funciones esperadas para ese uso específico del suelo. Además, evaluar la calidad del suelo puede ser un

desafío debido a su heterogeneidad espacial natural espacial natural (Cachada et al., 2018)

#### **2.2.4. La Fitorremediación**

El término fitorremediación ("phyto" que significa planta y el sufijo latino "remedium" que significa limpiar o restaurar) se refiere a una diversa colección de tecnologías basadas en plantas que usan plantas de origen natural o genéticamente modificadas para limpiar ambientes contaminados (Cunningham et al., 1997) en ese sentido las plantas pueden eliminar, transferir, estabilizar y / o degradar contaminantes en el suelo, los sedimentos y el agua (Hughes et al., 1997)

##### **i. Categorías de la Fitorremediación**

Dependiendo de los contaminantes, las condiciones del sitio, el nivel de limpieza requerido y los tipos de plantas, la tecnología de fitorremediación puede usarse para fines de contención (fitoinmovilización y fitoestabilización) o remoción (fitoextracción y fitovolatilización) (Thangavel & Subbhuraam, 2004). Las cuatro tecnologías vegetales de fitorremediación, cada una de las cuales tiene un mecanismo de acción diferente para remediar el suelo, los sedimentos o el agua contaminados por metales: (1) fitoestabilización, donde las plantas se estabilizan, en lugar de eliminar contaminantes por retención de metal de raíces de plantas; (2) fitofiltración, involucrando plantas para limpiar diversos ambientes acuáticos; (3) fitovolatilización, utilizando plantas para extraer ciertos metales del suelo y luego liberarlos a la atmósfera por volatilización; Y (4) fitoextracción, en la cual las plantas absorben los metales del suelo y los trasladan a los brotes cosechables donde se acumulan (Padmavathiamma & Li, 2007). Los diferentes mecanismos de fitorremediación se resumen en lo siguiente (véase la tabla 2.3, página "33").

**Tabla II.3**  
**MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN**

<b>Procesos</b>	<b>Mecanismos</b>	<b>Contaminantes</b>
<b>Fitofiltración</b>	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos, inorgánicos
<b>Fitoestabilización</b>	Complejación	Inorgánicos
<b>Fitoextracción</b>	Hiperacumulación	Inorgánicos
<b>Fitovolatilización</b>	Volatilización por hojas	Orgánicos, inorgánicos

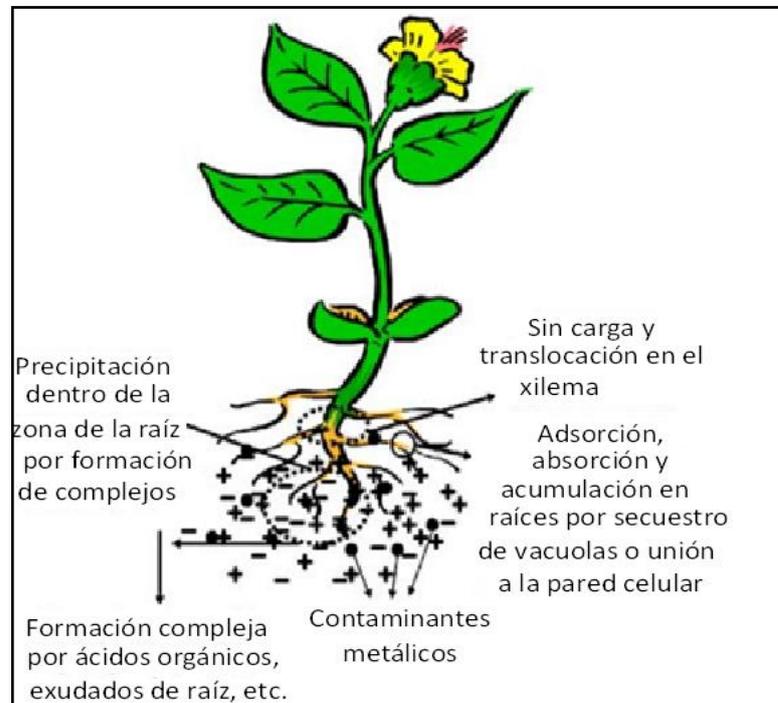
Fuente: adaptado de (Ghosh & Singh, 2005)

La fitoestabilización y la fitoextracción son dos técnicas que se combinan como fitorremediación in situ para metales (Prasad et al., 2016) a continuación se describen estas dos técnicas.

#### **A. La Fitoestabilización**

La fitoestabilización utiliza ciertas especies de plantas para inmovilizar los contaminantes en el suelo, a través de la absorción y acumulación por las raíces, la adsorción en las raíces o la precipitación en la zona de las raíces y la estabilización física de los suelos. El mecanismo esquemático de la fitoestabilización (véase la figura 2.1, página “34”). (Padmavathiamma & Li, 2007)

**Figura 2II.1**  
**MECANISMO ESQUEMÁTICO DE LA FITOESTABILIZACIÓN**



Fuente: Adaptado de (Padmavathiamma & Li, 2007)

Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita la migración al agua subterránea o al aire; uno de sus propósitos es disminuir la cantidad de agua que se filtra en la matriz del suelo, lo que puede resultar en la formación de lixiviados peligrosos y prevenir la erosión del suelo y la distribución del metal tóxico a otras áreas (Padmavathiamma & Li, 2007)

Esta técnica podría permitir el establecimiento de vegetación en lugares con grave contaminación por metales pesados y fomentar el desarrollo de vegetación subsiguiente (Tordoff et al., 2000)

Las especies tolerantes a los metales pueden ser utilizadas para restaurar la vegetación de estos sitios, lo que disminuye la migración potencial de contaminantes a través del viento, el transporte de suelos superficiales expuestos, la lixiviación del suelo y la contaminación de las aguas

subterráneas. A diferencia de otras técnicas fitorremediadoras, la fitoestabilización no pretende eliminar contaminantes metálicos de un sitio, sino estabilizarlos por acumulación en raíces o precipitación dentro de las zonas de raíces, reduciendo el riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Se aplica en situaciones en las que existen impactos potenciales para la salud humana, y la exposición a las sustancias preocupantes puede reducirse a niveles aceptables mediante la contención. La interrupción de las actividades en el sitio puede ser menor que con tecnologías más intrusivas de remediación de suelos (Padmavathiamma & Li, 2007)

Las plantas candidatas para la fitoestabilización deben tener un sistema de raíces extenso y la biomasa aérea no debe estar disponible para el consumo de los animales (J. Wang et al., 2012)

Se ha reportado que dos especies de plantas, *Hyparrhenia hirta* y *Zygophyllum fabago*, que naturalmente han colonizado algunas partes de los relaves mineros en el sudeste de España, toleran altas concentraciones de metales en sus rizósferos. Estas especies de plantas no absorben altas concentraciones de metales, proporcionando una buena herramienta para lograr la estabilización superficial de relaves con bajo riesgo de afectar la cadena alimentaria (Conesa et al., 2007)

Las principales ventajas de este método son su bajo costo, ambientalmente naturaleza benigna y aplicabilidad al suelo contaminado in situ y suelos contaminados. Sin embargo, este método se limita a la profundidad de la zona de la raíz de la planta y el sitio de la remediación debe ser constantemente monitoreado y manejado para preservar el crecimiento activo de la planta (Dermont et al., 2008)

### **Fitoestabilización del Mercurio**

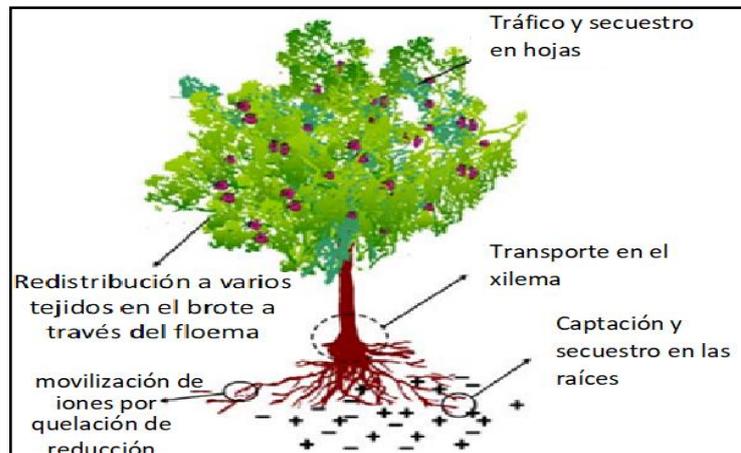
La fitoestabilización inmoviliza el Hg en el suelo a través de la absorción y acumulación de Hg en las raíces de las plantas o a través de la precipitación de Hg en la zona de las raíces; La técnica previene la migración de Hg por erosión y deflación del suelo (Peer et al., 2005)

Por ejemplo, se ha demostrado que las especies de sauce pueden acumular Hg biodisponible en el sistema radicular, reduciendo así la concentración de Hg biodisponible en la rizósfera mientras que el Hg total en el suelo permanece relativamente sin cambios (Y. Wang et al., 2005). Cualquier uso de plantas para estabilizar el mercurio debe tomar en consideración la toxicidad del mercurio a las raíces de las plantas, la tasa de supervivencia de la planta que se utiliza y la adaptabilidad de la planta al ambiente específico del sitio. La fitoestabilización puede combinarse eficazmente con técnicas de inmovilización para desintoxicar el mercurio en el suelo (J. Wang et al., 2012)

### **B. La Fitoextracción**

La fitoextracción, también llamada fitoacumulación, se refiere a la absorción y translocación de contaminantes metálicos en el suelo por las raíces de las plantas en los componentes superiores de las plantas (véase la figura 2.2, página “37”) (Padmavathiamma & Li, 2007). Se presentan los niveles típicos de los efectos de la concentración de metales pesados en las plantas (véase la tabla 2.4, página “37”).

**Figura II.2**  
**MECANISMO ESQUEMÁTICO DE LA FITOEXTRACCIÓN**



Fuente: Adaptado de (Padmavathiamma & Li, 2007)

**Tabla II.4**  
**EFFECTO DE NIVELES TÍPICOS PARA METALES PESADOS EN PLANTAS**

Estado	Concentración de metales (mg/Kg)			
	Cd	Cr	Pb	Zn
<b>Deficiente</b>	-	<1-5	-	<1-10
<b>Normal</b>	0.05-2	3-30	0.5-10	10-150
<b>Fitotóxico</b>	5-700	20-100	30-300	>100

Fuente: Adaptado de (Pugh et al., 2002)

Los términos fitorremediación y fitoextracción a veces se usan incorrectamente como sinónimos, pero la fitorremediación es un concepto, mientras que la fitoextracción es una tecnología de limpieza específica (Vara Prasad & de Oliveira Freitas, 2003). Ciertas plantas, llamadas hiperacumuladores, absorben cantidades inusualmente grandes de metales en comparación con otras plantas (Padmavathiamma & Li, 2007), las plantas que hiperacumulan metales tienen un enorme potencial para su aplicación en la recuperación de los metales en el medio ambiente, se han reportado alrededor de 400 plantas que hiperacumulan metales. Las

familias de plantas que dominan son *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunouniaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae*, y *Euphobiaceae*. *Brassicaceae* tuvo el mayor número de taxones a saber, 11 géneros y 87 especies. Diferentes géneros de *Brassicaceae* son conocidos para acumular metales. hiperacumulación del Ni se informa en 7 géneros y 72 especies y del Zn en 3 géneros y 20 especies. Las especies *Thlaspi* son conocidas por hiperacumular más de un metal, por ejemplo *T. caerulescence* = Cd, Ni, Pb, y Zn; *T. goesingense* = Ni y Zn; *T. ochroleucum* = Ni y Zn y *T. rotundifolium* = Ni, Pb y Zn (Vara Prasad & de Oliveira Freitas, 2003).

Environment Canada ha publicado una base de datos "Phytorem", que contiene un inventario mundial de más de 750 plantas terrestres y acuáticas, especies y variedades silvestres y cultivadas, de valor potencial para la fitorremediación (Padmavathiamma & Li, 2007). Después del crecimiento suficiente de las plantas y la acumulación de metal, las partes por encima del suelo de la planta se cosechan y se eliminan, dando como resultado la eliminación permanente de los metales desde el sitio (Vara Prasad & de Oliveira Freitas, 2003).

### **Fitoextracción del Mercurio**

La fitoextracción es el proceso de absorción / adsorción de Hg y translocación por las raíces de las plantas en las partes sobre el suelo (por ejemplo, brotes) que pueden entonces ser cosechadas y quemadas. Pueden utilizarse productos químicos como el tiosulfato de amonio  $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$  y el yoduro de potasio (KI) para ayudar a la fitoextracción promoviendo la biodisponibilidad de Hg antes de la acumulación de plantas (J. Wang et al., 2012).

#### **ii. Capacidad de absorción:**

Para cuantificar las capacidades de una planta para la absorción o fitorremediación, hay algunos factores cuantitativos a considerar, como

los factores de bioconcentración y translocación. La bioconcentración es la proporción de contenido de metal entre las partes de la planta (raíz o brotes) y el suelo (Esringü et al., 2014) Si el valor de bioconcentración es  $< 1$  para una especie de planta, la planta será tolerante a los contaminantes y se podrá usar para la revegetación y la fitoestabilización (Yang et al., 2014), por otra parte, si el valor es  $> 1$  para una planta, esto indica la capacidad de bioacumulación de esa planta. Mientras que, la translocación se calcula como la proporción de contenido de metal entre la raíz y el brote (Esringü et al., 2014). Si el valor de translocación es  $> 1$  para una planta, existe una translocación de contaminantes de las raíces de la planta a los brotes, y por lo tanto, demuestra que la planta es un buen *fitoextractor*. Por otro lado, si el valor es  $< 1$ , no hay una translocación de contaminantes de las raíces de las plantas a los brotes, y por lo tanto, se puede usar para la fitoestabilización. La extracción total de metal del suelo en un momento dado puede calcularse mediante la multiplicación de la concentración de metal en las partes de la planta sobre el suelo con la biomasa total de la planta (Pandey & Bajpai, 2019).

A continuación se establecen las fórmulas para cuantificar los mecanismos de bioconcentración (bioacumulación), translocación y acumulación a través de factor de bioacumulación (FB), factor de translocación (FT) y la cantidad de absorción (AM) del metal en tejidos así como establecer la eficiencia de remoción (ER).

El factor de bioconcentración o bioacumulación se calcula de la siguiente forma.

$$FB = \frac{\text{Concentración de metales pesados en la planta}}{\text{Concentración de metales pesados en el suelo}}$$

Translocación es el transporte del metal o contaminante hacia sus brotes, este proceso lo podemos expresar a través del factor de translocación.

$$FT = \frac{\text{Concentración de metales pesados en brotes}}{\text{Concentración de metales pesados en la raíz de la planta}}$$

Si se necesita saber la cantidad de metal absorbido por la planta se puede usar la siguiente relación:

$$AM = \text{Concentración de metal en brotes o raíz} \\ \times \text{peso seco del brote o raíz}$$

Y si se requiere la eficiencia de eliminación la siguiente relación se usa la siguiente relación:

$$ER = \frac{([C_i] - [C_f])}{C_i} \times 100$$

Dónde:

Ci: Concentración inicial de metal pesado en el suelo

Cf: Concentración final de metal pesado en el suelo

### 2.2.5. Enmienda orgánica

**Definición:** Una "enmienda orgánica" es cualquier material orgánico, incluido el compost, los abonos, los residuos de cultivos o los acondicionadores sintéticos del suelo que se incorporan al suelo o se aplican sobre la superficie para mejorar el crecimiento de las plantas. El término "enmiendas orgánicas" incluye diversas técnicas que van desde el uso de los desechos orgánicos y los Biofertilizante (Hueso-González et al., 2018)

**Características:** La característica común de las enmiendas orgánicas es su contenido de materia orgánica a una cierta concentración. Sin embargo, dependiendo del origen de la enmienda, la proporción y composición de la materia orgánica puede variar y, por lo tanto, los efectos de su descomposición en el suelo (Hueso-González et al., 2018).

**Clasificación:** A continuación se resumen los tipos de enmiendas orgánicas que tienen un uso práctico en la restauración ecológica de suelos. Según (Hueso-González et al., 2018)

- "mulch", definido como una capa orgánica o inorgánica aplicada a la capa superior del suelo;
- "técnicas de biofertilización", definidas como la adición extra al suelo de microorganismos o enzimas;
- "lodos de aguas residuales", subproductos orgánicos de la actividad humana que se pueden agregar al suelo;
- "estiércol de origen animal", las variedades más utilizadas son gallináceas, lombrices de tierra, porcinas, bovinas u ovinas;
- "compost", cualquier producto orgánico obtenido como resultado de un proceso de compostaje

***Criterios de selección de enmiendas orgánicas:*** La estabilidad y la madurez del material orgánico son factores importantes a considerar. La "estabilidad" se relaciona con la tasa de descomposición de la materia orgánica y la "madurez" se refiere a la descomposición de sustancias orgánicas potencialmente fitotóxicas. Por lo tanto, cuando se diseña un plan de restauración, el paso más crítico es decidir si intervenir o no, y en el caso de llevar a cabo alguna acción, qué estabilidad y madurez de la enmienda es más apropiada (Hueso-González et al., 2018).

## **2.3. Conceptual**

### **2.3.1. Bioacumulación, translocación y absorción de metales en plantas.**

La absorción de metales pesados por las plantas depende en gran medida del genotipo de la planta, es por ello que ha este factor se le considera como el más importante. Sin embargo el medio ambiente (suelo) desempeña un papel aún más importante en la absorción de metales pesados por las plantas que la deposición genética (genotipo). Los principales factores del suelo que afectan la absorción de metales pesados por las plantas son el contenido de metales pesados del suelo, la capacidad de sorción del suelo, las condiciones redox, la materia orgánica y el pH. Un aspecto importante a tratar es la biodisponibilidad del metal en el suelo como factor principalmente predominante sobre otros factores, incluyendo diferencias de genotipo significativas, en la captación y acumulación de metales en las plantas. Varios estudios han demostrado que la absorción de metales pesados por las plantas se asocia positivamente con la concentración biodisponible de metales pesados en el suelo (Xiao et al., 2017).

Entonces mientras más disponible este un metal, es más favorable para la planta poder acumularlo, para describir este proceso se usa un factor de bioacumulación en las plantas, que se caracteriza por relacionar la concentración de metal acumulada en la planta con respecto a la concentración del metal en el medio ambiente. Y la translocación de metales en plantas que describe el transporte del contaminante hacia las partes potencialmente extraíbles de esta.

## **2.4. Definición de términos básicos**

**Fitoextracción:** capacidad de las plantas de extraer los contaminantes hacia la parte superior (brotes) para su eliminación

**Fitoestabilización:** capacidad de las plantas de concentrar los contaminantes inorgánicos en la rizosfera evitando su lixiviación a aguas subterráneas o transporte en el suelo.

**Translocación:** capacidad de las plantas para transportar los contaminantes hacia las partes aéreas (brotes)

**Bioconcentración:** capacidad de la planta para absorber contaminantes del suelo y concentrarlos en la planta.

**Tolerancia:** capacidad de la planta para desarrollarse normalmente cuando está sometido a estrés biótico o abiótico.

Biodisponibilidad del mercurio: fracción del mercurio total que se encuentra en la solución del suelo y es absorbida por la planta.

**Enmienda orgánica:** sustancia líquida o sólida que se ha formado a través de procesos biológicos y que tiene potencial para devolverle sus características físicas y químicas adecuadas a suelos degradados.

**Biofertilizante Supermagro:** biofertilizante preparado a partir de excremento de vaca, melaza, leche y sales minerales, en un proceso anoxico (fermentación).

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

**H<sub>0</sub>:** No existe una alta capacidad de absorción de la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* en suelos controlados contaminados con mercurio.

**H<sub>A</sub>:** Existe una alta capacidad de absorción de la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* en suelos controlados contaminados con mercurio.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

**H<sub>01</sub>:** La generación de biomasa de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* no es distinto en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante.

**H<sub>A1</sub>:** La generación de biomasa de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* es distinto en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante.

**H<sub>02</sub>:** La extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* no es distinta en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante.

**H<sub>A2</sub>:** La extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* es distinta en los diferentes tratamientos generados por la combinación del nivel de mercurio en suelos y la adición de biofertilizante.

**H<sub>03</sub>:** La extracción de mercurio en brotes en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* no es diferente en suelos con biofertilizante y sin biofertilizante.

**H<sub>A3</sub>:** La extracción de mercurio en brotes en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* es diferente en suelos con biofertilizante y sin biofertilizante.

**H<sub>04</sub>:** El factor de translocación de mercurio en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* no es diferente en suelos con biofertilizante y sin biofertilizante.

**H<sub>A4</sub>:** El factor de translocación de mercurio en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* es diferente en suelos con biofertilizante y sin biofertilizante.

**H<sub>05</sub>:** El porcentaje de extracción de mercurio por la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* respecto a la remoción total de mercurio en suelo (%) no es diferente en suelos con biofertilizante y sin biofertilizante.

**H<sub>A5</sub>:** El porcentaje de extracción de mercurio por la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* respecto a la remoción total de mercurio en suelo (%) es diferente en suelos con biofertilizante y sin biofertilizante.

### **3.2. Definición conceptual de variables**

**Suelo controlado contaminado con mercurio:** Se define como un suelo con concentraciones elevadas de mercurio con potencial tóxico para la biota; este suelo ha sido deliberadamente contaminado para evaluar su efecto en el desarrollo de la planta.

**Adición de biofertilizante Supermagro en suelos:** Enmienda orgánica preparada en base a excremento de vaca, melaza, suero y sales minerales en un proceso anóxico de fermentación.

**Capacidad de absorción:** Capacidad de la planta para absorber y movilizar contaminantes inorgánicos y orgánicos dentro de su estructura; esta capacidad es definida en base a su tolerancia y desarrollo, así como la acumulación de estos contaminantes en sus tejidos. También se reconoce a la biodisponibilidad del contaminante como factor limitante en el potencial de la capacidad de absorción de la planta.

### 3.2.1. Operacionalización de variables

A continuación se presentan las variables (véase la tabla 3.1)

**Tabla III.1  
OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES/ CATEGORIA	METODO	TECNICA
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>					
<b>Suelo controlado contaminado con mercurio</b>	<b>Mercurio en suelos</b>	Nivel de concentración de mercurio en suelos	mg/kg	Estequiométrico	EPA-7471B*
	<b>Biofertilizante en suelos</b>	Adición de biofertilizante en suelos	mL	Balance de masa	Volumétrica
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>					
<b>Capacidad de absorción</b>	<b>Tolerancia</b>	Generación de biomasa	g	Balance de masa	Pesaje con balanza analítica
	<b>Acumulación</b>	Extracción de mercurio en raíz	mg	Balance de masa	EPA-7471B*
		Extracción de mercurio en brotes	mg	Balance de masa	EPA-7471B*
		Factor de translocación	mg	Balance de masa	EPA-7471B*
		Porcentaje de extracción de mercurio por la planta respecto a la remoción total de mercurio en suelo	%	Balance de masa	EPA-7471B*
	<b>Factores de biodisponibilidad de mercurio en suelos</b>	pH	adimensional	EPA 9045 D	Potenciómetro
		Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	ISO 11265:1994/Cor 1:1996	Conductímetro

\* Espectrofotometría de absorción atómica EPA-7471B. Mercurio en residuos sólidos o semisólidos

a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07 (31 de Diciembre 2002).

b. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002).

## IV. DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1. Tipo y diseño de la investigación

#### Tipo de investigación:

El tipo de investigación es experimental, dentro de esta clasificación la ubicamos en experimentos “puros”, (Hernandez Sampieri et al., 2010).

#### Diseño de investigación:

El diseño de investigación es un diseño factorial, este diseño cuenta con dos factores que son: Nivel de concentración de mercurio en suelos (Blanco, 50ppm, 200ppm y 800 ppm) y adición de biofertilizante Supermagro (Con adición de biofertilizante Supermagro y sin adición de biofertilizante Supermagro). Se tiene como variables de respuestas a la generación de biomasa, extracción de mercurio en raíz, extracción de mercurio en brotes, factor de translocación y porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%).

Para la generación de datos se realizará dos réplicas o corridas experimentales por cada combinación de niveles por factor (véase la tabla 4.1).

Tabla IV.1  
ESQUEMA DEL DISEÑO

Concentración de mercurio en suelos	Adición de biofertilizante Supermagro en el suelo			
	Con biofertilizante Supermagro		Sin biofertilizante Supermagro	
Blanco	●	●	●	●
800 ppm	●	●	●	●
200 ppm	●	●	●	●
50 ppm	●	●	●	●
●	Unidad experimental suelo - planta			

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Método de investigación

### 4.2.1. Etapa 1: Preparación del suelo a diferentes concentraciones de Hg

- **Construcción del invernadero:**

Se construyó un invernadero con las siguientes dimensiones 2.15x1.15x1m (ancho, largo, alto)

- **Preparación del suelo:**

Se usó suelo proveniente de los jardines de la Universidad Nacional del Callao y suelo agrícola en una relación de 3 a 7 respectivamente. Luego se homogenizó el suelo; se separaron 4 cantidades de suelo (véase la tabla 4.2)

**Tabla IV.2**  
**CANTIDADES DE SUELO REQUERIDAS PARA EL ESTUDIO**

Cantidad	Uso/descripción
15 kg	Para contaminación a una concentración de C1 (800mg/kg de Hg)
15 kg	Para contaminación a una concentración de C2 (200mg/kg de Hg)
15 kg	Para contaminación a una concentración de C3 (50mg/kg de Hg)
4 kg	Para caracterización fisicoquímica en laboratorios

Fuente: Elaboración propia

- **Contaminación del suelo:**

Para la contaminación del suelo con mercurio se usó el reactivo en grado analítico Cloruro de Mercurio (II) para Análisis EMSURE® Reag. Ph Eur, ACS K48628319 (ver Anexo 1 y 8), haciendo uso de los implementos adecuados de seguridad se procedió con la contaminación del suelo (véase las figuras 4.1, página “50” y 4.2, página “51”). Para determinar la cantidad de mercurio (II) en este compuesto se usó la siguiente relación de porcentaje:

$$\%Hg^{+2} \text{ en } HgCl_2 = \frac{\overline{PM}Hg}{\overline{PM}HgCl_2} \times 100\%$$

En donde

$\overline{PM}$  = *Peso molecular*

Reemplazando datos tenemos:

$$\%Hg^{+2} \text{ en } HgCl_2 = \frac{200.59}{200.59 + 2(35.45)} \times 100\%$$

$$\%Hg^{+2} \text{ en } HgCl_2 = 73.88\%$$

**Figura IV.1**  
**USO DE IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD PARA LA CONTAMINACIÓN**  
**DE MERCURIO EN SUELO**



**Figura IV.2**  
**CONTAMINACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS**



Esto quiere decir que 100g de  $\text{HgCl}_2$  contiene 73.88g de  $\text{Hg}^{+2}$ ; una vez obtenido estos datos el siguiente paso fue contaminar el suelo a las siguientes concentraciones de mercurio requeridas (véase la tabla 4.3).

Para hallar la cantidad de mercurio (II) requerido para contaminar el suelo necesitamos la cantidad de suelo a contaminar y la concentración a la que se quiere contaminar. Una vez determinado la cantidad de mercurio (II) determinamos la cantidad de la sal de mercurio  $\text{HgCl}_2$  necesaria para ser diluida en solución (véase la tabla 4.3).

**Tabla IV.3**  
**CANTIDADES NECESARIAS PARA LA CONTAMINACIÓN**

Símbolo	Concentración de Hg (mg/kg)	Cantidad de suelo a contaminar (kg)	Cantidad requerida de Hg (g)	Cantidad requerida de $\text{HgCl}_2$ (g)
C1	800	15	12	16.24
C2	200	15	3	4.06
C3	50	15	0.75	1.02

Fuente: Elaboración propia

Luego de encontrar las cantidades requerida en gramos de las sal de mercurio (II)  $\text{HgCl}_2$  para contaminar el suelo a las concentraciones

requeridas se diluyó esta sal en vasos de precipitado con agua destilada; teniendo en cuenta que la solubilidad de esta sal es de 7.4g/100ml de agua.

Una vez diluida la sal en agua se vertió cada solución en cada 15kg de suelo hasta formar una masa homogénea.

- **Muestreo y análisis inicial de mercurio en suelos:**

Para el muestreo del suelo se recolectó 500g por cada macetero para determinar la concentración de mercurio (véase la tabla 4.4), las muestras se homogenizaron y cuartearon para extraer entre 0.5 – 0.6 g de cada una, se añadió 5ml de agua y 5ml de agua regia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1) para la digestión ácida. Se calentó la mezcla durante 2 minutos para luego enfriar y añadir 50ml de agua y 15mL de permanganato de potasio al 5%. La digestión se continuó bajo calentamiento a 95°C durante 30 minutos, finalmente se filtró y se enrasó en fiola a 100ml, luego de preparadas las muestras se analizó el contenido de mercurio en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, shimadzu, AA-7000.

**Tabla IV.4**  
**RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN INICIAL DE MERCURIO EN SUELOS**

MUESTRA	CONCENTRACION DE MERCURIO (mg/kg suelo)	METODO DE REFERENCIA
<b>M1</b>	661,97	EPA – 7471B
<b>M2</b>	61,94	
<b>M3</b>	40,08	

Fuente: Informe técnico N°0434-19-LABICER (véase el anexo 2)

#### **4.2.2. Etapa 2: Preparación de esquejes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides***

La especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, será recopilada de la red Vetiver Perú (“Disponibilidad de Plantas de Vetiver en Perú,” 2019) manejada por el experto en sistemas Vetiver el señor Alois Kennerknecht, la recolección se hizo en forma de esquejes de aproximadamente 20 cm de longitud en tallo y de 3 cm de longitud en raíces (véase la tabla 4.5).

A través de un método de hidroponía, (véase la figura 4.3, página “54”) (véase el anexo 9), se buscó el desarrollo de raíces nuevas durante un periodo de 10 días desde el 11/03/19 hasta el 21/03/19; luego de esto los esquejes fueron trasplantados en los suelos contaminados con mercurio.

**Tabla IV.5  
DATOS DE PREPARACIÓN DE ESQUEJES**

<b>Cantidad de esquejes</b>	30
<b>Tamaño de tallo</b>	20 cm
<b>Tamaño de raíz</b>	3 cm
<b>Periodo de cultivo hidropónico</b>	10 días

Fuente: Elaboración propia

**Figura IV.3**  
**ADAPTACIÓN DE LA VETIVER EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO EN SOLUCIÓN A Y B**



La preparación de la solución hidropónica fue con las soluciones A (macronutrientes) y B (micronutrientes) provenientes de la Universidad Agraria la Molina, las soluciones se presentan en las siguientes proporciones en 10, litros de agua (véase la tabla 4.6)

**Tabla IV.6**  
**PROPORCIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SOLUCIÓN DE AGUA**

<b>Preparación de la solución hidropónica</b>		
<b>Solución</b>	<b>Cantidad de sol/litro de agua</b>	<b>10 litros de agua</b>
<b>A</b>	5ml	50ml
<b>B</b>	2ml	20ml

Fuente: Elaboración propia

Cada dos días se cambió la solución nutritiva durante un periodo del (11/03/19, hasta el 21/03/19). Un indicador de que el esqueje estaba listo para trasplantarse fue la generación de nuevas raíces blancas, las cuales

se observaron en 24 esquejes; fue importante la aireación constante en el cultivo hidropónico para la dilución de oxígeno en la solución.

#### **4.2.3. Etapa 3: Caracterización de suelo y biofertilizante**

En esta etapa se caracterizó el suelo y el biofertilizante Supermagro en base a sus componentes físicos y químicos, para ello se llevó muestras al laboratorio de suelos LASPAF de la UNALM. A continuación se muestran los resultados de caracterización de suelos (véase los Anexos 3 y 10) y del biofertilizante Supermagro (véase los anexos 4 y 10) usados en nuestro experimento.

#### **4.2.4. Etapa 4: Aplicación del tratamiento**

- **Cultivo de esquejes en suelos contaminados:**

Los aproximadamente 15 kg de suelo contaminado a una concentración C1 (800 mg/kg de Hg), 15 kg de suelo contaminado a una concentración C2 (200 mg/kg de Hg), 15 kg de suelo contaminado a una concentración C3 (50 mg/kg de Hg) y 15 kg de suelo sin contaminar Blanco (0 mg/kg de Hg) fueron tamizados en una malla de 3x3mm (véase la figura 4.4, página “56”) y repartidos en cuatro maceteros (por concentración de suelos), (véase la figura 4.5, página “56”), es decir 16 maceteros en total; con un peso aproximado de 2.5 Kg de suelo en cada macetero; luego fueron trasplantadas 3 esquejes por cada macetero, esto para mejorar la supervivencia de la planta, pues si moría un esqueje quedarían dos que podrían estar creciendo (véase el anexo 11)

**Figura IV.4**  
**TAMIZADO DE SUELO**



**Figura IV.5**  
**PLANTACIÓN DE ESQUEJES EN SUELOS**



Luego de establecidos los esquejes en cada macetero, dos maceteros fueron regados con 200ml de agua de grifo, y los otros dos maceteros fueron regados con 200 ml de una solución al 5% del biofertilizante Supermagro (Restrepo Rivera, 2001) en cada tratamiento (véase el anexo 4); es decir dos repeticiones por adición de biofertilizante. Esto se realizó con una periodicidad de 3 días o según la capacidad de riego requerida por la planta.

- **Monitoreo de parámetros fisicoquímicos:**

Durante las 6 semanas de tratamiento se evaluó el pH, la conductividad eléctrica y la T° en suelos con una frecuencia semanal (véase la figura 4.6) (véase la figura 4.7, página “58”)

Para la medición del pH y la conductividad en campo, se extrajo 15g de suelo y se adicionó 30ml de agua destilada, la solución fue homogenizada a través de un agitador magnético durante 15 minutos para luego haciendo uso de un papel filtro de celulosa pura Whatman N°40 ser filtrada hacia un matraz de Erlenmeyer. En la solución filtrada obtenida se mide el pH, conductividad eléctrica y la T°.

**Figura IV.6**  
**MONITOREO IN-SITU**



**Figura IV.7**  
**MONITOREO EX-SITU**



#### 4.2.5. Etapa 5: Recolección y análisis de muestras en laboratorio

- **Muestreo y análisis final de mercurio en suelos:**

Para el muestreo del suelo se recolectó 200 g por cada macetero (véase la figura 4.8) para determinar la concentración de mercurio, se pesó 1.2 g de muestra. Se añadió 5ml de agua destilada y 10ml de agua regia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1) para la digestión ácida. Se calentó la mezcla durante 10 minutos para luego enfriar y añadir 10ml de agua y 15 ml KMNO<sub>4</sub> al 5%. La digestión se continuó bajo calentamiento a 95°C durante 30 minutos, finalmente se filtró y se enrasó a 50ml. Luego de preparadas las muestras se analizó el contenido de mercurio en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, shimadzu, AA-7000 (véase el anexo 5)

**Figura IV.8**  
**MUESTRAS DE SUELOS**



- **Muestreo y análisis de mercurio en raíces:**

Culminado el periodo de tratamiento se recolectó muestras de raíces (véase la figura 4.9). Para el muestreo de las raíces se recolectó todas las raíces disponibles en la especie vegetal por cada macetero, se pesó 0.2 – 3 g de muestra. Se añadieron 7ml de  $H_2SO_4$  y 5ml de  $HNO_3$  y se digesto por 30 minutos. Posteriormente se añadió 10ml de agua destilada y se digesto por 1 hora, se enfrió y se añadió 10ml de  $HNO_3:HClO_4$  (1:1), se digesto por 30 minutos. Finalmente se enfrió, se filtró y se enrasó a 50ml con agua destilada. Luego de preparadas las muestras se analizó el contenido de mercurio en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, shimadzu, AA-7000 (véase el anexo 6)

**Figura IV.9**  
**MUESTRAS DE RAÍCES**



- **Muestreo y análisis de mercurio en brote:**

Culminado el periodo de tratamiento se recolectó muestras de brotes (véase la figura 4.10, página “60”). Para el muestreo de las brotes se recolectó todos los brotes disponibles en la especie vegetal por cada macetero, se pesó 0.2 – 3 g de muestra. Se añadieron 7ml de  $H_2SO_4$  y 5ml de  $HNO_3$  y se digesto por 30 minutos. Posteriormente se añadió 10ml de agua destilada y se digesto por 1 hora, se enfrió y se añadió 10ml de  $HNO_3:HClO_4$  (1:1), se digesto por 30 minutos. Luego de preparadas las

muestras se analizó el contenido de mercurio en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, shimadzu, AA-7000 (véase el anexo 7)

**Figura IV.10**  
**MUESTRAS DE BROTES**



#### **4.2.6. Etapa 6: Disposición final de los suelos contaminados, después del tratamiento**

Los suelos contaminados con mercurio inorgánico se conservaran en bolsas etiquetadas como material peligroso, estos suelos serán sustratos para futuras investigaciones en remediación de suelos contaminados con mercurio usando tecnologías innovadoras, ahora bien no se clasificaran como residuos pues aún tienen un valor potencial para la investigación, pro si se toman las medidas de seguridad apropiadas para clasificar, contener y rotular este material peligroso.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

Suelos contaminados con mercurio.

#### **4.3.2. Muestra**

Suelos contaminados con mercurio de la Universidad Nacional del Callao.

#### 4.4. Lugar de estudio y periodo de desarrollo

##### Lugar de estudio:

El estudio fue realizado en un invernadero a nivel laboratorio en las instalaciones del Instituto de investigación de Especialización de Agroindustrias de la Universidad Nacional del Callao (véase las figuras 4.11 y 4.12)

**Figura IV.11  
COLOCACIÓN DE MACETEROS EN INVERNADERO**



**Figura IV.12  
INVERNADERO**



#### Periodo de desarrollo:

El experimento tuvo un periodo de desarrollo de 45 días, antes de empezar el experimento se adaptó los esquejes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* durante 7 días.

#### 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

A continuación se muestran las técnicas e instrumentos de recolección de datos para los indicadores de las variables de estudio (véase la tabla 4.7)

**TABLA IV.7  
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA  
INFORMACIÓN**

INDICADORES	METODO	TECNICA/INS TRUMENTO
Nivel de concentración de mercurio en suelos	Estequiométrico	EPA-7471B*
Adición de biofertilizante en suelos	Balance de masa	Volumétrica
Generación de biomasa	Balance de masa	Pesaje con balanza analítica
Extracción de mercurio en raíz	Balance de masa	EPA-7471B*
Extracción de mercurio en brotes	Balance de masa	EPA-7471B*
Extracción total de mercurio en planta	Balance de masa	EPA-7471B*
Porcentaje de extracción de mercurio por la planta respecto a la remoción total de mercurio en suelo	Balance de masa	EPA-7471B*
pH	EPA 9045 D	Potenciómetro
Conductividad eléctrica (CE)	ISO 11265:1994/Cor 1:1996	Conductímetro
Materia orgánica (MO)	a	-
Bases intercambiables (Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> )	b	-
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	b	-

\* Espectrofotometría de absorción atómica EPA-7471B. Mercurio en residuos sólidos o semisólidos  
a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07 (31 de Diciembre 2002).  
b. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002).

Fuente: Elaboración propia

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para la asociación de las variables independientes (Nivel de concentración de mercurio en suelos y adición de biofertilizante Supermagro) y la variable dependiente (Capacidad de absorción de mercurio) se usó el Software estadístico SPSS estadísticos 25. Se definió como variable de respuesta en este Software todos los indicadores que definen la variable dependiente capacidad de absorción de mercurio (generación de biomasa, extracción de mercurio en raíz, extracción de mercurio en brotes, factor de translocación y porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%)).

Para la generación de biomasa y para la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) factorial, para ello se sometió los datos a las pruebas de normalidad de Shapiro Wilk y homogeneidad de Levene. Luego se buscó determinar el efecto de las variables dependientes a través de la prueba inter-sujetos con un nivel de confianza del 95%, así mismo se determinó qué tratamientos tienen diferencias significativas haciendo uso de la prueba Post-Hoc.

Para la extracción de mercurio en brotes, para el factor de translocación de mercurio y para el porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%) en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* a 800ppm se usó la prueba no paramétrica de Mann – Whitney para determinar la existencia del efecto de la adición de biofertilizante en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* a 800ppm se usó la prueba no paramétrica de Mann – Whitney para determinar la existencia del efecto de la adición de biofertilizante.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Balance de masa suelo, planta, suelo-planta

Se presenta el balance de masa de las diferentes concentraciones de mercurio en suelo (véase la tabla 5.1)

**Tabla 5.1**  
**BALANCE DE MASA DE MERCURIO EN SUELO**

BALANCE DE MASA SUELO						
Concentraciones	Parámetros					
	Peso o cantidad de suelo (g)	Concentración inicial de Hg en suelos(ug/g)	Concentración final de hg en suelos (ug/g)	Cantidad de Hg inicial en suelos (g)	Cantidad final de Hg en suelos (g)	Remoción de Hg total (g)
<b>C1-A</b>	2500	661.97	172.2	1.65	0.43	1.22
<b>C1-B</b>	2500	661.97	231.44	1.65	0.58	1.08
<b>C1-C</b>	2500	661.97	208.9	1.65	0.52	1.13
<b>C1-D</b>	2500	661.97	257.36	1.65	0.64	1.01
<b>C2-A</b>	2500	61.94	53.59	0.15	0.13	0.02
<b>C2-B</b>	2500	61.94	64.95	0.15	0.16	-0.01*
<b>C2-C</b>	2500	61.94	53.67	0.15	0.13	0.02
<b>C2-D</b>	2500	61.94	109.58	0.15	0.27	-0.12*
<b>C3-A</b>	2500	40.8	90.41	0.10	0.23	-0.12*
<b>C3-B</b>	2500	40.8	55.97	0.10	0.14	-0.04*
<b>C3-C</b>	2500	40.8	112.82	0.10	0.28	-0.18*
<b>C3-D</b>	2500	40.8	109.91	0.10	0.27	-0.17*
<b>Blanco-A</b>	2500	-	-	-	-	-
<b>Blanco-B</b>	2500	-	-	-	-	-
<b>Blanco-C</b>	2500	-	-	-	-	-
<b>Blanco-D</b>	2500	-	-	-	-	-

\*Estos datos son inconsistentes, el signo negativo implica que hubo un aumento en la concentración inicial de mercurio en suelos en las muestras C2 (200ppm) Y C3 (50 ppm), y no una remoción; lo cual no es posible, ya que el mercurio no puede aumentar su concentración si no disminuirla por los tratamientos. Este error puede deberse a la mala distribución de mercurio en el suelo (distribución no homogénea de Hg en el suelo) o el proceso de análisis en laboratorio (ver Anexo 5).

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el balance de masa de las diferentes concentraciones de mercurio en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* (véase la tabla 5.2)

**Tabla 5.2**  
**BALANCE DE MASA DE MERCURIO EN LA ESPECIE VEGETAL VETIVER *CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES***

BALANCE DE MASA PLANTA											
Parámetros	Generación de biomasa (g)	Peso húmedo total (g)	Peso seco total (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco brote (g)	Concentración de Hg en raíz (ug/g)	Concentración de Hg en brotes (ug/g)	Extracción en raíz (mg)	Extracción en brotes (mg)	Extracción Total (mg)	Factor de translocación
C1-A	6.94	14.85	10.67	8.14	2.52	707.41	43.89	5.76	0.11	5.87	0.06
C1-B	8.74	20.69	16.01	12.22	3.79	613.65	36.25	7.50	0.14	7.64	0.06
C1-C	3.64	13.03	8.66	6.61	2.05	798.51	97.48	5.28	0.20	5.48	0.12
C1-D	4.35	17.14	11.47	8.76	2.72	656.40	68.04	5.75	0.18	5.93	0.10
C2-A	4.43	18.88	12.08	9.22	2.86	200.60	<LD*	1.85	-	-	-
C2-B	3.9	15.04	11.58	8.84	2.74	232.22	<LD*	2.05	-	-	-
C2-C	3.18	14.44	8.47	6.47	2.00	307.18	<LD*	1.99	-	-	-
C2-D	4.35	17.25	13.11	10.01	3.10	401.04	<LD*	4.01	-	-	-
C3-A	1.99	14.88	9.67	7.38	2.29	48.37	<LD*	0.36	-	-	-
C3-B	4.19	20.22	13.45	10.27	3.18	33.21	<LD*	0.34	-	-	-
C3-C	1.13	8.68	6.25	4.77	1.48	121.19	<LD*	0.58	-	-	-
C3-D	1.44	13.44	8.87	6.77	2.10	266.99	<LD*	1.81	-	-	-
Blanco-A	15.39	29.90	23.62	18.03	5.59	-	-	0.00	0.00	0.00	
Blanco-B	8.22	24.01	16.29	12.43	3.85	-	-	0.00	0.00	0.00	
Blanco-C	10.15	22.05	14.33	10.94	3.39	-	-	0.00	0.00	0.00	
Blanco-D	5.03	14.69	9.84	7.51	2.33	-	-	0.00	0.00	0.00	

\*<LD: menor al límite de detección; esta inconsistencia se debió a problemas de logística en el análisis y el momento en el que fueron evaluados las muestras en laboratorio (ver Anexo 7)

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el balance de masa de las diferentes concentraciones de mercurio en suelo-planta (véase la tabla 5.3).

**Tabla 5.3**  
**BALANCE DE MASA DE MERCURIO EN SUELO-PLANTA**

BALANCE DE MASA SUELO-PLANTA			
Parámetros	Extracción Total de Hg por la planta (g)	Remoción total de Hg en el suelo (g)	Porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%)
C1-A	0.006	1.22	0.48
C1-B	0.008	1.08	0.71
C1-C	0.005	1.13	0.48
C1-D	0.006	1.01	0.59
C2-A	-	0.02	-
C2-B	-	-0.01*	-
C2-C	-	0.02	-
C2-D	-	-0.12*	-
C3-A	-	-0.12*	-
C3-B	-	-0.04*	-
C3-C	-	-0.18*	-
C3-D	-	-0.17*	-
Blanco-A	-	-	-
Blanco-B	-	-	-
Blanco-C	-	-	-
Blanco-D	-	-	-

\*Estos datos son inconsistentes, el signo negativo implica que hubo un aumento en la concentración inicial de mercurio en suelos en las muestras C2 (200ppm) Y C3 (50 ppm), y no una remoción; lo cual no es posible, ya que el mercurio no puede aumentar su concentración si no disminuirla por los tratamientos. Este error puede deberse a la mala distribución de mercurio en el suelo (distribución no homogénea de Hg en el suelo) o el análisis en laboratorio (ver Anexos 6 y 7).

Fuente: Elaboración propia

## 5.1.2. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del suelo

### i. Variación del pH

#### a) Variación del pH en suelos sin adición de Biofertilizante

Se muestra las medias de los valores de pH a diferentes concentraciones de mercurio en suelo sin adición de biofertilizante (véase la tabla 5.4)

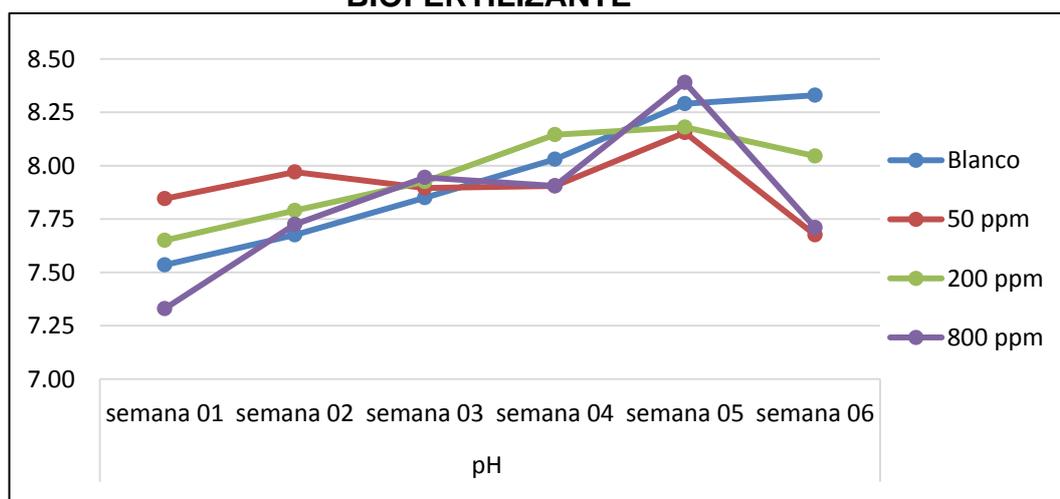
**Tabla 5.4**  
**RESULTADOS DE PH EN SUELO A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES DE MERCURIO SIN ADICIÓN DE**  
**BIOFERTILIZANTE**

Dosis	pH					
	Sem <sup>1</sup> 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 05	Sem 06
Blanco	7.535	7.675	7.85	8.03	8.29	8.33
50 ppm	7.845	7.97	7.895	7.905	8.155	7.675
200 ppm	7.65	7.79	7.925	8.145	8.18	8.045
800 ppm	7.33	7.725	7.945	7.905	8.39	7.71

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la variación del pH a diferentes concentraciones de mercurio en suelo sin adición de biofertilizante (véase el gráfico 5.1)

**Gráfico 5.1**  
**RESULTADOS DE VARIACIÓN DE PH A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO SIN ADICIÓN DE**  
**BIOFERTILIZANTE**



Fuente: Elaboración propia

<sup>1</sup> Semana de tratamiento

**b) Variación de pH en suelos con adición de Biofertilizante**

Se muestra las medias de los valores de pH a diferentes concentraciones de mercurio con adición de biofertilizante (véase la tabla 5.5)

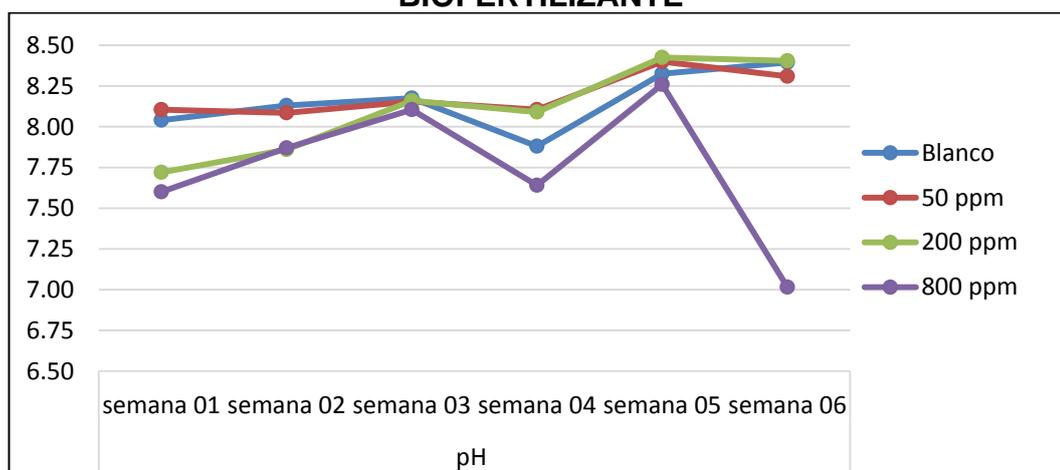
**Tabla 5.5**  
**RESULTADOS DE PH EN SUELO A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES DE MERCURIO CON ADICIÓN DE**  
**BIOFERTILIZANTE**

Dosis	pH					
	Sem <sup>2</sup> 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 05	Sem 06
Blanco	8.04	8.13	8.18	7.88	8.33	8.40
50 ppm	8.11	8.09	8.16	8.11	8.40	8.31
200 ppm	7.72	7.86	8.16	8.09	8.43	8.41
800 ppm	7.60	7.87	8.11	7.64	8.26	7.02

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la variación del pH a diferentes concentraciones de mercurio en suelo con adición de biofertilizante (véase el gráfico 5.2)

**Gráfico 5.2**  
**RESULTADOS DE VARIACIÓN DE PH A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO CON ADICIÓN DE**  
**BIOFERTILIZANTE**



Fuente: Elaboración propia

<sup>2</sup> Semana de tratamiento

ii. **Variación de la conductividad eléctrica (CE)**  
 a) **Variación de la conductividad eléctrica (CE) en suelos sin adición de Biofertilizante**

Se muestra las medias de los valores de CE a diferentes concentraciones de mercurio en suelo sin adición de biofertilizante (véase la tabla 5.6)

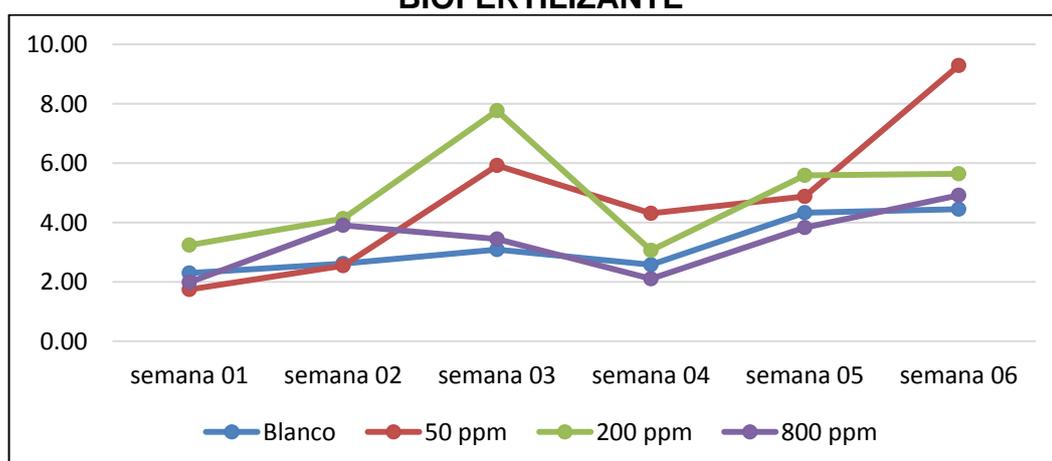
**TABLA 5.6**  
**RESULTADOS DE CE EN SUELO A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES DE MERCURIO SIN ADICIÓN DE**  
**BIOFERTILIZANTE**

Dosis	CE					
	Sem <sup>3</sup> 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 05	Sem 06
<b>Blanco</b>	2.30	2.62	3.09	2.58	4.33	4.45
<b>50 ppm</b>	1.74	2.55	5.92	4.31	4.88	9.29
<b>200 ppm</b>	3.24	4.13	7.77	3.06	5.59	5.64
<b>800 ppm</b>	1.99	3.91	3.44	2.11	3.83	4.92

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la variación del CE a diferentes concentraciones de mercurio en suelo sin adición de biofertilizante (véase el gráfico 5.3)

**Gráfico 5.3**  
**RESULTADOS DE VARIACIÓN DE CE A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO SIN ADICIÓN DE**  
**BIOFERTILIZANTE**



Fuente: Elaboración propia

<sup>3</sup> Semana de tratamiento

**b) Variación de la conductividad eléctrica (CE) en suelos con adición de Biofertilizante**

Se muestra las medias de los valores de CE a diferentes concentraciones de mercurio en suelo con adición de biofertilizante (véase la tabla 5.7)

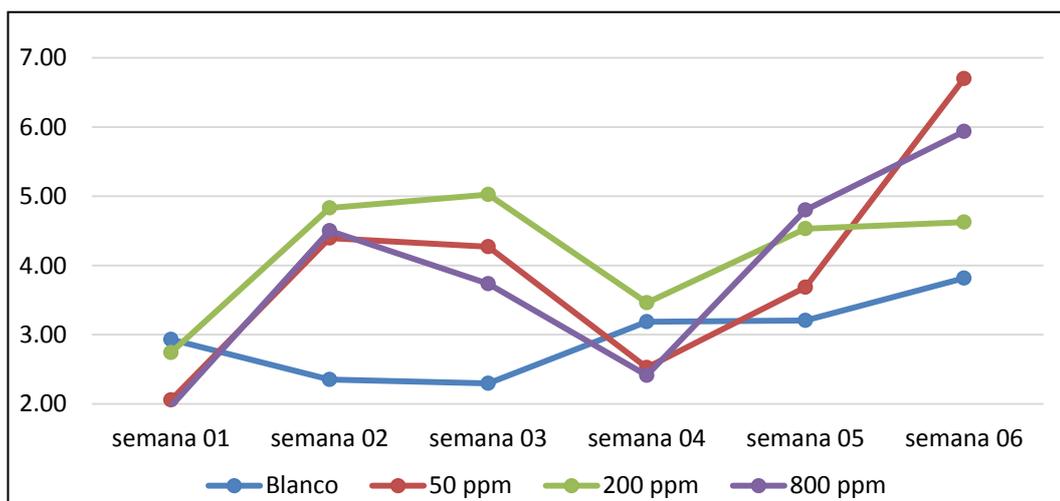
**Tabla 5.7  
RESULTADOS DE CE EN SUELO A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES DE MERCURIO CON ADICIÓN DE  
BIOFERTILIZANTE**

Dosis	CE					
	Sem <sup>4</sup> 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 05	Sem 06
<b>Blanco</b>	2.93	2.35	2.30	3.19	3.21	3.82
<b>50 ppm</b>	2.06	4.40	4.27	2.53	3.69	6.70
<b>200 ppm</b>	2.74	4.83	5.03	3.46	4.53	4.63
<b>800 ppm</b>	1.97	4.50	3.74	2.41	4.80	5.94

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la variación del CE a diferentes concentraciones de mercurio en suelo con adición de biofertilizante (véase el gráfico 5.4)

**Gráfico 5.4  
RESULTADOS DE VARIACIÓN DE CE A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO CON ADICIÓN DE  
BIOFERTILIZANTE**



Fuente: Elaboración propia

<sup>4</sup> Semana de tratamiento

## 5.2. Resultados inferenciales

### 5.2.1. Análisis de generación de biomasa

El análisis de biomasa se estableció a través de la diferencia entre el peso final de cada planta (esqueje desarrollado) y el peso inicial de cada esqueje. Se muestra los resultados de los estadísticos descriptivos<sup>5</sup> de la generación de biomasa por concentración de mercurio en suelo y adición de biofertilizante (véase la tabla 5.8)

**Tabla 5.8**  
**ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA GENERACIÓN DE BIOMASA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y ADICIÓN DE BIOFERTILIZANTE**

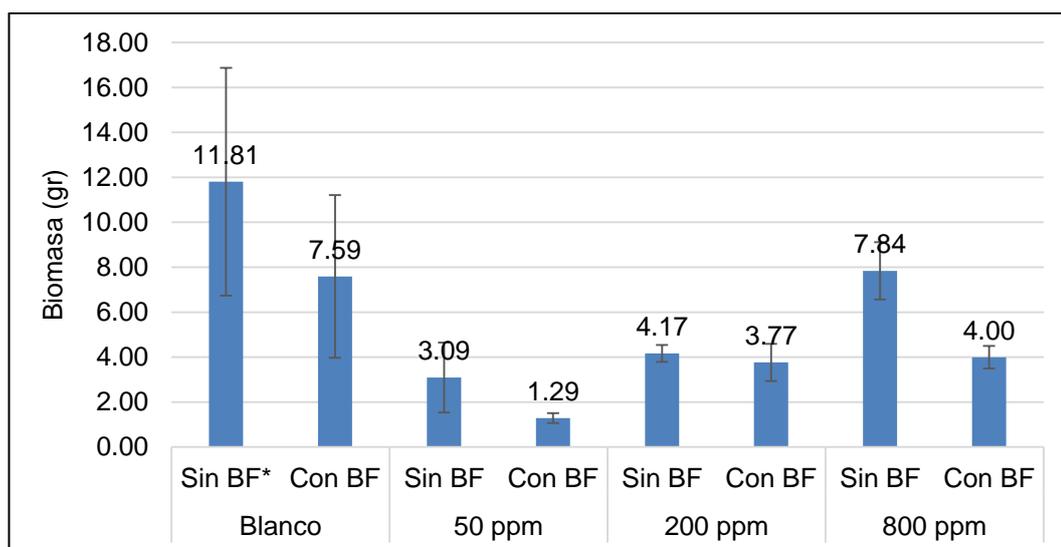
Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: Generación de biomasa de la planta				
Concentración de mercurio en suelos	Adición de Biofertilizante en el suelo	Media	Desv. Desviación	N°
Blanco	Sin Biofertilizante	11,8050	5,06996	2
	Con Biofertilizante	7,5900	3,62039	2
50 ppm	Sin Biofertilizante	3,0900	1,55563	2
	Con Biofertilizante	1,2850	0,21920	2
200 ppm	Sin Biofertilizante	4,1650	0,37477	2
	Con Biofertilizante	3,7650	0,82731	2
800 ppm	Sin Biofertilizante	7,8400	1,27279	2
	Con Biofertilizante	3,9950	0,50205	2

Fuente: Software estadístico SPSS

<sup>5</sup> Se consideran como estadísticos descriptivos a la media y la desviación estándar.

Se presentan los estadísticos descriptivos de la generación de biomasa a diferentes concentraciones de mercurio en suelos y adición de biofertilizante (véase el gráfico 5.5)

**Gráfico 5.5  
GENERACIÓN DE BIOMASA**



\*BF: Biofertilizante

Fuente: Elaboración propia

Se muestra el resultado de la prueba de Normalidad aplicada para el factor adición de biofertilizante en suelo a través del Test de Shapiro Wilk (véase la tabla 5.9)

**Tabla 5.9  
PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR BIOFERTILIZANTE  
EN SUELO**

Pruebas de normalidad							
	Adición de biofertilizante en el suelo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Generación de biomasa de la planta	Sin BF	0,208	8	0,200*	0,890	8	0,235
	Con BF	0,252	8	0,142	0,858	8	0,114

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra el resultado de la prueba de Normalidad aplicada para el factor concentración de mercurio en suelo a través del Test de Shapiro Wilk (véase la tabla 5.10)

**Tabla 5.10**  
**PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SUELO**

Pruebas de normalidad							
	Concentración de mercurio en suelos	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Generación de biomasa de la planta	Blanco	0,209	4	.	0,979	4	0,894
	50 ppm	0,307	4	.	0,841	4	0,198
	200 ppm	0,249	4	.	0,886	4	0,363
	800 ppm	0,247	4	.	0,930	4	0,595

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra el resultado del análisis de varianza (véase la tabla 5.11)

**Tabla 5.11**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA: PRUEBAS DE EFECTO INTER-SUJETOS**

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Generación de biomasa en planta					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	160,403 <sup>a</sup>	7	22,915	4,169	0,031
Intersección	473,824	1	473,824	86,196	0,000
Concentración Hg	124,435	3	41,478	7,546	0,010
Biofertilizante	26,343	1	26,343	4,792	0,060
Concentración Hg * Biofertilizante	9,626	3	3,209	0,584	0,642
Error	43,977	8	5,497		
Total	678,204	16			
Total corregido	204,380	15			

a. R al cuadrado = 0,785 (R al cuadrado ajustada = 0,597)

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra el resultado de la prueba de Post Hoc: Comparaciones múltiples para el factor concentración de mercurio en suelos (véase la tabla 5.12)

**Tabla 5.12**  
**PRUEBA DE POST-HOC: COMPARACIONES MÚLTIPLES PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS**

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Generación de biomasa de planta						
HSD TURKEY						
(I) Concentración de mercurio en suelos	(J) Concentración de mercurio en suelos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Blanco	50 ppm	7,5100*	1,65787	0,008	2,2009	12,8191
	200 ppm	5,7325*	1,65787	0,035	0,4234	11,0416
	800 ppm	3,7800	1,65787	0,182	-1,5291	9,0891
50 ppm	Blanco	-7,5100*	1,65787	0,008	-12,8191	-2,2009
	200 ppm	-1,7775	1,65787	0,715	-7,0866	3,5316
	800 ppm	-3,7300	1,65787	0,190	-9,0391	1,5791
200 ppm	Blanco	-5,7325*	1,65787	0,035	-11,0416	-0,4234
	50 ppm	1,7775	1,65787	0,715	-3,5316	7,0866
	800 ppm	-1,9525	1,65787	0,656	-7,2616	3,3566
800 ppm	Blanco	-3,7800	1,65787	0,182	-9,0891	1,5291
	50 ppm	3,7300	1,65787	0,190	-1,5791	9,0391
	200 ppm	1,9525	1,65787	0,656	-3,3566	7,2616

Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática (Error) = 5,497.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Software estadístico SPSS

### 5.2.2. Análisis de datos para la extracción de mercurio en raíces

Se muestra los resultados de los estadísticos descriptivos<sup>6</sup> de la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* (véase la tabla 5.13)

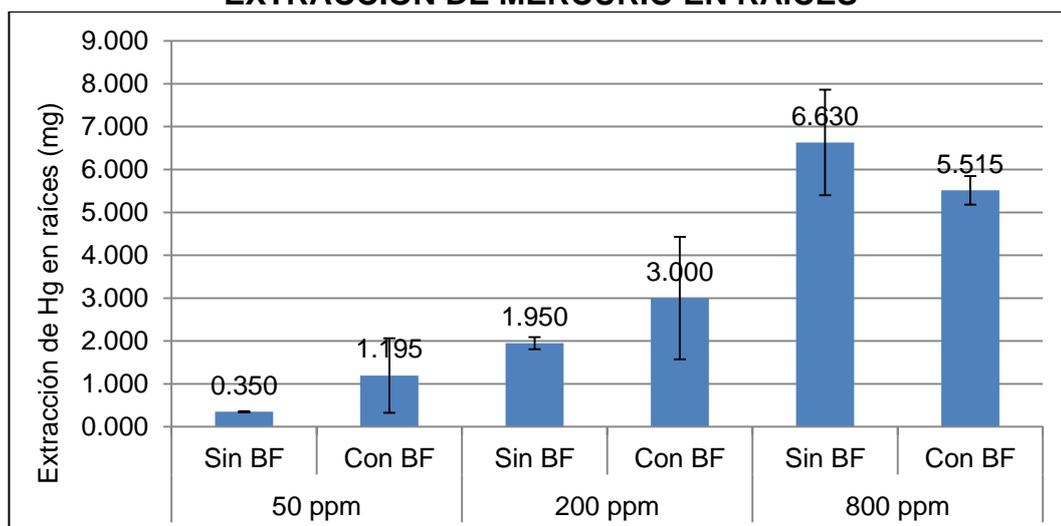
**Tabla 5.13**  
**ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN RAÍZ DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER *CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES***

Concentración de mercurio en suelos	Adición de biofertilizante	Media	Desv. Desviación	N
50 ppm	Sin BF <sup>7</sup>	0.35	0.01	2
	Con BF	1.20	0.87	2
200 ppm	Sin BF	1.95	0.14	2
	Con BF	3.00	1.43	2
800 ppm	Sin BF	6.63	1.23	2
	Con BF	5.52	0.33	2

Fuente: Software estadístico SPSS

Se presentan los estadísticos descriptivos de la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* (véase el gráfico 5.6)

**Gráfico 5.6**  
**EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN RAÍCES**



Fuente: Elaboración propia

<sup>6</sup> Se consideran como estadísticos descriptivos a la media y la desviación estándar.

<sup>7</sup> BF: Biofertilizante

Se muestra el resultado de la prueba de Normalidad aplicada para el factor adición de biofertilizante en suelo a través del Test de Shapiro Wilk (véase la tabla 5.14)

**Tabla 5.14**  
**PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR BIOFERTILIZANTE EN SUELO**

Pruebas de normalidad							
	Adición de biofertilizante en el suelo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Extracción de Hg en raíz	Sin biofertilizante	0,289	6	0,128	0,853	6	0,168
	Con biofertilizante	0,225	6	0,200*	0,922	6	0,519

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra el resultado de la prueba de Normalidad aplicada para el factor concentración de mercurio en suelo a través del Test de Shapiro Wilk (véase la tabla 5.15)

**Tabla 5.15**  
**PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE HG EN SUELO**

Pruebas de normalidad							
	Concentración de mercurio en suelos	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Extracción de Hg en raíz	50 ppm	0,358	4	-	0,745	4	0,035
	200 ppm	0,411	4	-	0,706	4	0,014
	800 ppm	0,375	4	-	0,814	4	0,129

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra el resultado del análisis de varianza (véase la tabla 5.16)

**Tabla 5.16**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA: PRUEBAS DE EFECTO INTER-SUJETOS**

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Extracción de Hg en raíz					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	61,634 <sup>a</sup>	5	12,327	16,654	0,002
Intersección	115,817	1	115,817	156,470	0,000
Dosis	58,574	2	29,287	39,567	0,000
Biofertilizante	0,203	1	0,203	0,274	0,619
Dosis * Biofertilizante	2,857	2	1,428	1,930	0,225
Error	4,441	6	0,740	-	-
Total	181,891	12	-	-	-
Total corregido	66,075	11	-	-	-

a. R al cuadrado = 0,933 (R al cuadrado ajustada = 0,877)

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra el resultado de la prueba de Post Hoc: Comparaciones múltiples para el factor concentración de mercurio en suelos (véase la tabla 5.17)

**Tabla 5.17**  
**PRUEBA DE POST-HOC: COMPARACIONES MÚLTIPLES PARA EL FACTOR CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS**

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Extracción de Hg en raíz						
HSD Tukey						
(I) Concentración de mercurio en suelos	(J) Concentración de mercurio en suelos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
50 ppm	200 ppm	-1,7025	0,60835	0,070	-3,5691	0,1641
	800 ppm	-5,3000	0,60835	0,000	-7,1666	-3,4334
200 ppm	50 ppm	1,7025	0,60835	0,070	-0,1641	3,5691
	800 ppm	-3,5975	0,60835	0,003	-5,4641	-1,7309
800 ppm	50 ppm	5,3000	0,60835	0,000	3,4334	7,1666
	200 ppm	3,5975	0,60835	0,003	1,7309	5,4641

Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática (Error) = 0,740.  
\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Software estadístico SPSS

### 5.2.3. Análisis de datos para la extracción de mercurio en brotes

Se presenta la Prueba de Mann - Whitney para la extracción de mercurio en brotes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo. Los resultados de extracción de mercurio en brotes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* cultivados a concentraciones de 50ppm y 200ppm de mercurio en suelo, no se consideran ya que fueron inconsistentes, según el análisis de laboratorio (véase la tabla 5.18) (véase el Anexo 7)

**Tabla 5.18**  
**PRUEBA DE MANN – WHITNEY DE LA EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN BROTOS DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES, CULTIVADOS A UNA CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO**

Rangos				
	Adición de biofertilizante en el suelo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Extracción de Hg en brotes	Sin biofertilizante	2	1,50	3,00
	Con biofertilizante	2	3,50	7,00

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra los resultados de los estadísticos de prueba de la extracción de mercurio en brotes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo (véase la tabla 5.19)

**Tabla 5.19**  
**ESTADÍSTICOS DE PRUEBA DE LA EXTRACCIÓN DE MERCURIO EN BROTOS DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES, CULTIVADOS A UNA CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO**

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Extracción de Hg en brotes
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-1,549
Sig. asintótica(bilateral)	0,121

a. Variable de agrupación: adición de biofertilizante en el suelo

Fuente: Software estadístico SPSS

**5.2.4. Análisis de datos para el factor de translocación de la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo**

Se presenta la Prueba de Mann - Whitney para el factor de translocación de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo. Los resultados del factor de translocación de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* cultivados a concentraciones de 50ppm y 200ppm de mercurio en suelo, no se consideran ya que fueron inconsistentes, según el análisis de laboratorio (véase la tabla 5.20) (véase el anexo 7)

**Tabla 5.20  
PRUEBA DE MANN - WHITNEY PARA EL FACTOR DE  
TRANSLOCACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER  
*CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES* CULTIVADOS A UNA  
CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO**

Rangos				
	Adición de biofertilizante en el suelo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Factor de translocación	Sin biofertilizante	2	1,50	3,00
	Con biofertilizante	2	3,50	7,00

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra los resultados de los estadísticos de prueba para el factor de translocación de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo (véase la tabla 5.21)

**Tabla 5.21**  
**ESTADÍSTICOS DE PRUEBA PARA EL FACTOR DE**  
**TRANSLOCACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL VETIVER**  
**CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES CULTIVADOS A UNA**  
**CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO**

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Extracción de Hg en brotes
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-1,549
Sig. asintótica(bilateral)	0,121

a. Variable de agrupación: adición de biofertilizante en el suelo

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.5. Análisis de datos para el porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%)

Se presenta la Prueba de Mann - Whitney para el Porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%), cultivados a una concentración de 800ppm de mercurio en suelo (véase la tabla 5.22)

**Tabla 5.22**  
**PRUEBA DE MANN - WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE**  
**EXTRACCIÓN DE HG POR LA PLANTA RESPECTO A LA REMOCIÓN**  
**TOTAL DE HG EN SUELO (%), CULTIVADOS A UNA**  
**CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO**

Rangos				
	Adición de biofertilizante en el suelo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Factor de translocación	Sin biofertilizante	2	2,50	5,00
	Con biofertilizante	2	2,50	5,00

Fuente: Software estadístico SPSS

Se muestra los resultados de los estadísticos de prueba del porcentaje de extracción de Hg por la planta respecto a la remoción total de Hg en suelo (%) (Véase la tabla 5.23)

**Tabla 5.23**  
**ESTADÍSTICOS DE PRUEBA PARA EL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE HG POR LA PLANTA RESPECTO A LA REMOCIÓN TOTAL DE HG EN SUELO (%), CULTIVADOS A UNA CONCENTRACIÓN DE 800PPM DE MERCURIO EN SUELO**

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Extracción de Hg en brotes
U de Mann-Whitney	2,000
Z	0,000
Sig. asintótica(bilateral)	1,000
a. Variable de agrupación: adición de biofertilizante en el suelo	

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

No se obtuvieron otros tipos de resultados, solo se obtuvieron resultados descriptivos e inferenciales según nuestros objetivos planteados inicialmente.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

- Según el ANOVA factorial que se muestra (véase la tabla 5.11, página “73”), existe efecto del nivel de concentración de mercurio en suelos (F: 7,456;  $p < 0,05$ ), no existe efecto de la adición de biofertilizante en suelos (F: 4,792;  $p < 0,05$ ), así mismo no existe efecto de la interacción del nivel de concentración y adición de biofertilizante (F: 0,584;  $p < 0,05$ ) en la generación de biomasa de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*. Además se muestra que solo existe diferencia significativa entre las concentraciones Blanco - 50ppm (F: 7,510;  $p < 0,05$ ) y Blanco - 200ppm (F: 5,733;  $p < 0,05$ ) en la generación de biomasa de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* (véase la tabla 5.12, página “74”)
- Según el ANOVA factorial que se muestra (véase la tabla 5.16, página “77”) existe efecto del nivel de concentración de mercurio en suelos (F: 39,567;  $p < 0,05$ ), no existe efecto de la adición de biofertilizante en suelos (F: 0,274;  $p < 0,05$ ), así mismo no existe efecto de la interacción del nivel de concentración y adición de biofertilizante (F: 1,930;  $p < 0,05$ ) en la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*. Además se muestra que solo existe diferencia significativa entre las concentraciones 50ppm - 800ppm (F: 5,300;  $p < 0,05$ ) y 200ppm - 800ppm (F: 3,598;  $p < 0,05$ ) en la extracción de mercurio en raíces de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* (véase la tabla 5.17, página “77”)
- Con un error del 0,121 (12,1%) según la prueba de Mann - Whitney; la extracción de mercurio en brotes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, no es diferente en los suelos con adición de biofertilizante y sin adición de biofertilizante.

- Con un error del 0,102 (10,2%) según la prueba de Mann - Whitney; el factor de translocación de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, no es diferente en los suelos con adición de biofertilizante y sin adición de biofertilizante.
- Con un error de 1 (100%) según la prueba de Mann - Whitney; porcentaje de extracción de mercurio por la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* respecto a la remoción total de mercurio en suelo (%) no es diferente en los suelos con adición de biofertilizante y sin adición de biofertilizante.

## 6.2. Contratación de los resultados con estudios similares

- En nuestro estudio un indicador importante y de análisis es la extracción de mercurio en raíces, debido a que explica mejor nuestra variable capacidad de absorción de mercurio, este indicador es definido como el producto de la concentración de mercurio en raíces y el peso de la materia seca de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* en raíces. Sin embargo en los estudios considerados para comparar nuestra investigación se considera solo la concentración de mercurio en raíces mas no la extracción; en nuestro estudio se observa que la concentración de mercurio en raíces está en un rango de [33.21; 798.51] mientras que (Lomonte et al., 2014) ha reportado concentraciones entre [670; 1310] en raíces. Además se observa que según (Lomonte et al., 2011, 2014) encontró diferencias en la concentración de mercurio en raíces al agregar enmiendas (NTA, Cys,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ , KI), lo cual es distintos a nuestros resultados que muestran la no existencia de efecto del biofertilizante Supermagro en la concentración de mercurio en raíces.
- En nuestro estudio se observa que no hubo efecto del biofertilizante Supermagro en la concentración de mercurio en brotes de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, este resultado se contrasta con lo reportado por (Lomonte et al., 2011) que encontró diferencias

en la concentración de mercurio en brotes al agregar enmiendas ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KI).

- En nuestro estudio se observó que no hubo efecto de la enmienda orgánica (Biofertilizante Supermagro) en el factor de translocación de mercurio de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, este resultado también se evidencia en el estudio realizado por (Anning & Akoto, 2018) donde tampoco se encontró efectos de enmiendas orgánicas: Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> y EDTA, en el factor de translocación de mercurio en brotes de la especie vegetal en estudio. Además (Danh et al., 2009) han reportado un valor promedio del factor de translocación de mercurio de 0.11 (11%) en la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, este resultado se encuentra dentro del rango del factor de translocación de mercurio 0.06 a 0.12 (6% a 12%) de nuestro estudio.

### **6.3. Responsabilidad ética**

Dentro de los principios y compromisos con la responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes, el presente trabajo de investigación “Capacidad de Absorción de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* de suelos controlados contaminados con mercurio”, ha sido elaborado simulando el proceso de contaminación de mercurio en suelos en un invernadero, donde se tuvo un ambiente de trabajo de investigación cerrado, evitando riesgos de contaminación a otros espacio y a la salud.

Del mismo modo el desarrollo de la investigación se centra en teorías las cuales han sido debidamente referenciadas en este trabajo, evidenciando de esta forma la originalidad de nuestro tema de investigación

## VII. CONCLUSIONES

- Para la generación de biomasa, la adición de biofertilizante Supermagro, no aporta en el crecimiento; esto podría deberse por un bajo nivel de dosis (5%) administrado al agua de riego y a su vez por la baja periodicidad con la que fue regado el suelo. El efecto de la concentración de mercurio en suelos en la generación de biomasa fue proporcional a la concentración, es decir a mayor concentración mayor generación de biomasa; éste fenómeno puede ser explicado a través de los mecanismos de adaptación de la planta al estrés abiótico (metales pesados), dando como resultado una mayor tolerancia a una mayor concentración de mercurio.
- Los resultados de la concentración de mercurio en raíces muestran la capacidad de fitoestabilización de mercurio de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, esto significa que la mayor cantidad de mercurio en la especie vegetal es absorbido en la rizosfera.
- Los resultados de la concentración de mercurio en brotes muestran el bajo potencial de fitoextracción de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*.
- El factor de translocación de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, sostiene lo afirmado anteriormente, que esta especie vegetal tiene potencial de fitoestabilización de mercurio, mas no de fitoextracción de la misma; aun así se muestra como una planta que tiene capacidad de absorción de mercurio.
- La remoción de mercurio en suelos fue mucho mayor que la extracción de mercurio por la especie vegetal, esto demuestra que otros procesos, fisicoquímicos (lixiviación) y biológicos (degradación biológica) serían los responsables de esta remoción; es por ello que en este estudio no es posible afirmar que la especie vegetal tuvo un aporte significativo en la remoción de mercurio en suelo.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir una línea de investigación que identifique la fracción disponible de mercurio en el suelo para la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*, de esta manera podremos cuantificar el potencial de absorción o acumulación de esta especie vegetal.
- Se recomienda realizar pruebas con otras enmiendas orgánicas e inorgánicas que puedan asistir al proceso de remoción de mercurio en suelos por la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides*; así también se recomienda profundizar en el estudio de si una enmienda orgánica puede hacer quelación con el mercurio y a la vez mejorar la disponibilidad de este metal a la planta.
- Se recomienda evaluar la variabilidad en el tiempo de los indicadores usados en nuestro estudio, esto nos podrá dar un panorama del comportamiento del mercurio en la planta.
- Se recomienda evaluar un diseño experimental con las réplicas necesarias para evaluar el comportamiento de los datos y tener resultados inferenciales más confiables.
- Es importante esclarecer que el objetivo de nuestro estudio es evaluar la capacidad de absorción de la especie vegetal vetiver *Chrysopogon zizanioides* de mercurio en la matriz suelo, no se puede concluir que este tratamiento sirve para otras matrices (agua u aire) pues es recomendable hacer un estudio aparte que genere información para responder si este tratamiento es adecuado para otras matrices.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anning, A. K., & Akoto, R. (2018). Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 97–104.

Cachada, A., Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2018). Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. In *Soil Pollution* (pp. 1–28). Elsevier.

Callirgos Rodríguez, C. M. (2014). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Chrysopogon zizanioides mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Chen, Y., Shen, Z., & Li, X. (2004). The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Applied Geochemistry*, 19(10), 1553–1565.

Conesa, H. M., Faz, Á., & Arnaldos, R. (2007). Initial studies for the phytostabilization of a mine tailing from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain). *Chemosphere*, 66(1), 38–44.

Cunningham, S. D., Shann, J. R., Crowley, D. E., & Anderson, T. A. (1997). *Phytoremediation of contaminated water and soil*. ACS Publications.

Dalton, P. A., Smith, R. J., & Truong, P. N. V. (1996). Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: hedge hydraulics. *Agricultural Water Management*, 31(1–2), 91–104.

Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International Journal of Phytoremediation*, 11(8), 664–691.

Dermont, G., Bergeron, M., Mercier, G., & Richer-Lafleche, M. (2008). Metal-contaminated soils: remediation practices and treatment technologies. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 12(3), 188–209.

Disponibilidad de Plantas de Vetiver en Perú. (2019). Retrieved from La Red Vetiver Peruana website: <http://vetiver-peru.com/vetiver-en-peru/>

Esringü, A., Turan, M., Güneş, A., & Karaman, M. R. (2014). Roles of *Bacillus megaterium* in remediation of boron, lead, and cadmium from contaminated soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(13), 1741–1759.

Ferrara, R., Mazzolai, B., Lanzillotta, E., Nucaro, E., & Pirrone, N. (2000). Volcanoes as emission sources of atmospheric mercury in the Mediterranean basin. *Science of the Total Environment*, 259(1), 115–121.

Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M. F., Nasar-um-Minullah, Sharma, I., Kazi, A. G., & Ahmad, P. (2015). Phytoextraction. In *Plant Metal Interaction* (pp. 385–409).

Ghosh, M., & Singh, S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian J Energy Environ*, 6(4), 18.

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*.

Hueso-González, P., Muñoz-Rojas, M., & Martínez-Murillo, J. F. (2018). The role of organic amendments in drylands restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 1–6.

Hughes, J. B., Shanks, J. V, Vanderford, M., Lauritzen, J., & Bhadra, R. (1997). Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures. *Environmental Science and Technology*, 31(1).

- Israr, M., & Sahi, S. V. (2006). Antioxidative responses to mercury in the cell cultures of *Sesbania drummondii*. *Plant Physiology and Biochemistry*, *44*(10), 590–595.
- Issaro, N., Abi-Ghanem, C., & Bermond, A. (2009). Fractionation studies of mercury in soils and sediments: A review of the chemical reagents used for mercury extraction. *Analytica Chimica Acta*, *631*(1), 1–12.
- Jing, Y. D., He, Z. L., & Yang, X. E. (2007). Effects of pH, organic acids, and competitive cations on mercury desorption in soils. *Chemosphere*, *69*(10), 1662–1669.
- Lima, F. R. D., Martins, G. C., Silva, A. O., Vasques, I. C. F., Engelhardt, M. M., Cândido, G. S., ... Marques, J. J. (2019). Critical mercury concentration in tropical soils: Impact on plants and soil biological attributes. *Science of the Total Environment*, *666*, 472–479.
- Lomonte, C., Doronila, A., Gregory, D., Baker, A. J. M., & Kolev, S. D. (2011). Chelate-assisted phytoextraction of mercury in biosolids. *Science of the Total Environment*, *409*(13), 2685–2692.
- Lomonte, C., Wang, Y., Doronila, A., Gregory, D., Baker, A. J. M., Siegele, R., & Kolev, S. D. (2014). Study of the spatial distribution of mercury in roots of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) by micro-PIXE spectrometry. *International Journal of Phytoremediation*, *16*(11), 1170–1182.
- Orihuela, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides)* (p. 37). p. 37.
- Padmavathiamma, P. K., & Li, L. Y. (2007). Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, *184*(1),
- Pandey, V. C., & Bajpai, O. (2019). Phytoremediation: From Theory Toward Practice. In *Phytomanagement of Polluted Sites* (pp. 1–49).

Elsevier.

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., & Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52(3), 199–223.

Patra, M., & Sharma, A. (2000). Mercury toxicity in plants. *The Botanical Review*, 66(3), 379--422. <https://doi.org/10.1007/BF02868923>

Peer, W. A., Baxter, I. R., Richards, E. L., Freeman, J. L., & Murphy, A. S. (2005). Phytoremediation and hyperaccumulator plants. In *Molecular biology of metal homeostasis and detoxification* (pp. 299–340).

Prasad, M. N. V, Nakbanpote, W., Phadermrod, C., Rose, D., & Suthari, S. (2016). Mulberry and Vetiver for Phytostabilization of Mine Overburden: Cogeneration of Economic Products. In *Bioremediation and Bioeconomy* (pp. 295–328). Elsevier.

Pugh, R. E., Dick, D. G., & Fredeen, A. L. (2002). Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe, and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zinc mine, Faro, Yukon Territory. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 52(3), 273–279.

Restrepo Rivera, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil*. IICA, San José (Costa Rica).

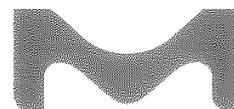
Thangavel, P., & Subbhuraam, C. V. (2004). Phytoextraction: role of hyperaccumulators in metal contaminated soils. *PROCEEDINGS-INDIAN NATIONAL SCIENCE ACADEMY PART B*, 70(1), 109–130.

Tordoff, G. M., Baker, A. J. M., & Willis, A. J. (2000). Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41(1), 219–228.

- Tran, T. A. T., Zhou, F., Yang, W., Wang, M., Dinh, Q. T., Wang, D., & Liang, D. (2018). Detoxification of mercury in soil by selenite and related mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 77–84.
- Truong, P, & Hengchaovanich, D. (1997). Application of the vetiver grass system in land stabilisation, erosion and sediment control in civil construction. *Vetiver-Newsletter.*, 18, 49–53.
- Truong, Paul. (1999). A tool Against Environmental Degradation and Desertification in Iberia. Vetiver Grass. *Vetiver Grass Technologie*. Turner.
- Vara Prasad, M. N., & de Oliveira Freitas, H. M. (2003). Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 285–321.
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C. W. N., Xing, Y., & Shang, L. (2012). Remediation of mercury contaminated sites – a review. *J. Hazard. Mater.*, 221–222, 1–18.
- Wang, Jianxu, Feng, X., Anderson, C. W. N., Xing, Y., & Shang, L. (2012). Remediation of mercury contaminated sites - A review. *Journal of Hazardous Materials*, 221–222(March 2015), 1–18.
- Wang, Y., Stauffer, C., Keller, C., & Greger, M. (2005). Changes in Hg fractionation in soil induced by willow. *Plant and Soil*, 275(1–2), 67–75.
- Xiao, L., Guan, D., Peart, M. R., Chen, Y., Li, Q., & Dai, J. (2017). The influence of bioavailable heavy metals and microbial parameters of soil on the metal accumulation in rice grain. *Chemosphere*, 185, 868–878.
- Yang, S., Liang, S., Yi, L., Xu, B., Cao, J., Guo, Y., & Zhou, Y. (2014). Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(3), 394–404.

## ANEXOS

### Anexo 1: Certificado de análisis del Cloruro de Mercurio (II)



## Certificate of Analysis

1.04419.0050 Mercury(II) chloride for analysis EMSURE® Reag. Ph Eur,ACS  
Batch K48628319

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (complexometric)	≥ 99.5	%	99.6	%
Assay (complexometric; calculated on dried substance)	99.5 - 100.5	%	99.7	%
Identity	passes test		passes test	
Appearance of solution	passes test		passes test	
Solution in Ether	passes test		passes test	
Acidity or alkalinity	passes test		passes test	
Mercury(I)-chloride	passes test		passes test	
Fe (Iron)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Residue after reduction	≤ 0.02	%	< 0.01	%
Loss on drying (24 h im Vakuum)	≤ 1.0	%	< 0.1	%

Corresponds to Reag. Ph Eur,ACS

Date of release (DD.MM.YYYY) 11.01.2017  
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 31.12.2021

Claudia Wiegand  
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

## Anexo 2: Informe Técnico de determinación de mercurio inicial en suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



### INFORME TÉCNICO N° 0434 - 19 - LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RICHARD JOSEPH SOLIS TOLEDO
  - 1.2 D.N.I : 47074047
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 19 / 03 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 26 / 03 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 03 MUESTRAS DE SUELOS

MUESTRA	CÓDIGO
M1	C1
M2	C2
M3	C3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
7. MÉTODO UTILIZADO : ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
8. NORMA DE REFERENCIA : EPA-7471B. MERCURIO EN RESIDUOS SÓLIDOS O SEMISÓLIDOS
9. EQUIPOS UTILIZADOS  
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA. SHIMADZU, AA-7000.  
BALANZA ANALÍTICA DIGITAL. SHIMADZU, AUW 120.  
EQUIPO DE AGUA ULTRA PURA. ELGA PURELAB, CLASSIC UV.  
PLANCHA DE CALENTAMIENTO. THERMO SCIENTIFIC, SP-131320.
10. DATOS DEL ESTÁNDAR DE MERCURIO  
NOMBRE DEL PRODUCTO : SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE MERCURIO  
NÚMERO DE LOTE : 1.70226.0500  
MARCA : MERCK MILLIPORE  
CONCENTRACIÓN : 1000 mg/L
11. REACTIVOS
  - Solución estándar de mercurio 1000 ppm, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido nítrico al 65%, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido clorhídrico al 37%, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Permanganato de potasio P.A., adquirido de MERCK PERUANA.
  - Agua ultra pura, purificada en equipo ELGA PURELAB CLASSIC UV.
12. SOLUCIONES ESTÁNDAR  
Las soluciones estándar se realizaron a partir de la solución estándar de mercurio (1000 mg/L) en medio ácido, HNO<sub>3</sub> 0.5 N. Para la curva de calibración se consideraron cuatro puntos de 1, 2, 5 y 10 ppm como se muestra en la Tabla N°1 del anexo.



**13. TRATAMIENTO DE MUESTRAS**

Las muestras se homogenizaron y cuartearon para extraer entre 0.5 – 0,6 g de cada una, se añadió 5 mL de agua y 5 mL de agua regia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1) para la digestión ácida. Se calentó la mezcla durante 2 minutos para luego enfriar y añadir 50 mL de agua y 15 mL de permanganato de potasio al 5%. La digestión se continuó bajo calentamiento a 95 °C durante 30 minutos, finalmente se filtró y se enrasó en fioia a 100 mL.

**14. RESULTADOS**

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (ug Hg/g suelo)	MÉTODO DE REFERENCIA
M1	661.97	EPA-7471B
M2	61.94	
M3	40.08	

**15. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

El informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

  
Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER - UNI

  
MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO

Tabla N°1. Datos de la Curva de calibración de mercurio

ESTÁNDAR	CONCENTRACIÓN (ppm)	ABSORBANCIA
E1	1	0.0014
E2	2	0.0034
E3	5	0.0081
E4	10	0.0168

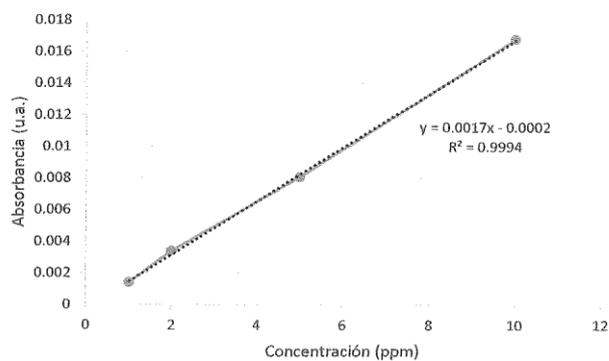


Figura N°1. Curva de calibración de mercurio

Tabla N°2. Datos y resultados de la concentración de mercurio en las muestras de suelos

MUESTRA	ABSORBANCIA (Abs)	CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN (ppm) c/corrección del Bk	VOLUMEN (mL)	MASA DE MUESTRA (g)	CONCENTRACIÓN (ug Hg/g suelo)
Blanco de muestra(Bk)	0.0016	-	-	-	-
M1	0.0062	3.76	100	0.568	661.97
M2	0.0004	0.35	100	0.565	61.94
M3	0.0002	0.23	100	0.587	40.08

Tabla N°3. Humedad relativa de las muestras

Muestra	Humedad (%)
M1	3.08
M2	2.62
M3	2.61



## Anexo 3: Informe de Análisis de caracterización de suelo



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES  
**ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN**



Solicitante : RICHARD SOLIS TOLEDO

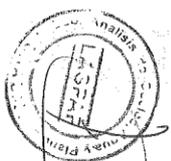
Departamento : LIMA  
 Distrito : BELLAVISTA  
 Referencia : H.R. 67616-043C-19

Bolt: 2773

Provincia : CALLAO  
 Predio :  
 Fecha : 29/03/19

Número de Muestra	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dSm	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables						Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>				
26091	Suelo agrícola	19/03/19	7.16	4.39	2.00	22.43	100.51	2032	66	20	14	Fr.A.	42.00	22.87	6.33	8.69	4.11	0.00	42.00	42.00	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*D. Saúl García Benítez*  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telef.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelos@lamolina.edu.pe

**MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS**

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
  2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
  3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
  4. Calcio total (CaCO<sub>3</sub>): método gaso-volumétrico utilizando un calcinero.
  5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono.
  6. Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
  7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO<sub>3</sub>-0.5M, pH 8.5
  8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>)N, pH 7.0
  9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>)N, pH 7.0
  10. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> cambiabbes: reemplazamiento con acetato de amonio
- (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>)N: pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
11. Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>: método de Yuan. Extracción con KCl, N
  12. Iones solubles:
    - a) Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
    - b) Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> solubles: volumetría y colorimetría. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> turbidimetría con cloruro de Bario.
    - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcúmina.
    - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.
- Equivalentencias:**
- 1 ppm = 1 mg/Kilogramo
  - 1 mililimo (mmh/ocm) = 1 decisiemens/metro
  - 1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+) / Kg
  - Saltes solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes
  - CE (1 : 1) mmh/ocm x 2 = CE(es) mmh/ocm

**TABLA DE INTERPRETACION**

Clasificación del Suelo	CE(es)	Materia			Relaciones Catiónicas		
		Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible	Clasificación	K/Mg	Ca/Mg
*muy ligeramete salino	<2	*bajo	<7.0	<100	*Normal	0.2 - 0.3	5 - 9
*ligeramete salino	2 - 4	*medio	7.0 - 14.0	100 - 240	*delc. Mg	>0.5	>0.2
*moderadamete salino	4 - 8	*alto	>14.0	>240	*delc. K	>0.2	>10
*fuertemete salino	>8				*delc. Mg		>10

**Reacción o pH**

Clasificación del Suelo	pH
*fuertemete ácido	<5.5
*moderadamete ácido	5.6 - 6.0
*ligeramete ácido	6.1 - 6.5
*neutro	6.6 - 7.0
*ligeramete alcalino	7.1 - 7.8
*moderadamete alcalino	7.9 - 8.4
*fuertemete alcalino	>8.5

**CLASES TEXTURALES**

A	=	arena	Ft./A	=	franco arcillo arenoso
A.Ft	=	arena franca	Ft./Ar	=	franco arcilloso
Ft./A	=	franco arenoso	Ft./ArL	=	franco arcilloso limoso
Ft.	=	franco	Ar./A	=	arcilloso arenoso
Ft.L	=	franco limoso	Ar.L	=	arcilloso limoso
L	=	limoso	Ar.	=	arcilloso

**Distribución de Cationes %**

Cationes	%
Ca <sup>2+</sup>	=
Mg <sup>2+</sup>	=
K <sup>+</sup>	=
Na <sup>+</sup>	=

## Anexo 4: Informe de Análisis especial de materia orgánica del biofertilizante Supermagro



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : RICHARD SOLIS TOLEDO  
 PROCEDENCIA : LIMA/ CALLAO/ BELLAVISTA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 68669  
 BOLETA : 3105  
 FECHA : 19/06/19

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
535		3.64	28.50	71.89	46.33	252.00	141.99	1352.50

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
535		1352.50	1082.50	1370.00

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
535		349.75	27.98	1163.75	666.00	906.69


  
*Sady García Bendazú*  
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

## Anexo 5: Informe Técnico de determinación de mercurio final en suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



### INFORME TÉCNICO N° 0945 - 19 - LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RICHARD JOSEPH SOLIS TOLEDO
  - 1.2 D.N.I. : 47074047
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 27 / 05 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 05 / 06 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 12 MUESTRAS DE SUELOS

N° DE MUESTRA	MUESTRA / CÓDIGO
1	C1A
2	C1B
3	C1C
4	C1D
5	C2A
6	C2B
7	C2C
8	C2D
9	C3A
10	C3B
11	C3C
12	C3D

5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
7. MÉTODO UTILIZADO : ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
8. NORMA DE REFERENCIA : EPA-7471B. MERCURY IN SOLID OR SEMISOLID WASTE
9. EQUIPOS UTILIZADOS  
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA. SHIMADZU, AA-7000.  
BALANZA ANALÍTICA DIGITAL. SHIMADZU, AUW 120.  
EQUIPO DE AGUA ULTRA PURA. ELGA PURELAB, CLASSIC UV.  
PLANCHA DE CALENTAMIENTO. THERMO SCIENTIFIC, SP-131320.
10. DATOS DEL ESTÁNDAR DE MERCURIO
 

NOMBRE DEL PRODUCTO	SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE MERCURIO
NÚMERO DE LOTE	1.70226.0500
MARCA	MERCK MILLIPORE
CONCENTRACIÓN	1000 mg/L



INFORME TÉCNICO N° 0945-19- LABICER

Página 1 de 3

11. REACTIVOS

- Solución estándar de mercurio 1000 ppm, adquirido de MERCK PERUANA.
- Ácido nítrico al 65%, adquirido de MERCK PERUANA.
- Ácido clorhídrico al 37%, adquirido de MERCK PERUANA.
- Permanganato de potasio P.A., adquirido de MERCK PERUANA.
- Agua ultra pura, purificada en equipo ELGA PURELAB CLASSIC UV.

12. SOLUCIONES ESTÁNDAR

Las soluciones estándar se realizaron a partir de la solución estándar de mercurio (1000 mg/L) en medio ácido, HNO<sub>3</sub> 0.5 N. Para la curva de calibración se consideraron seis puntos de 1, 2, 4, 8, 20 y 50 ppm como se muestra en la Tabla N°1 del anexo.

13. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se pesó 1,2 g de muestra, se añadió 5 mL de agua y 10 mL de agua regia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1) para la digestión ácida. Se calentó la mezcla durante 10 minutos para luego enfriar y añadir 10 mL de agua y 15 mL KMNO<sub>4</sub> al 5%. La digestión se continuó bajo calentamiento a 95 °C durante 30 minutos, finalmente se filtró y se enrasó a 50 mL.

14. RESULTADOS

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (ug Hg/g muestra)	MÉTODO DE REFERENCIA
C1A	172,20	AOAC 971.21
C1B	231,44	
C1C	208,90	
C1D	257,36	
C2A	53,59	
C2B	64,95	
C2C	53,67	
C2D	109,58	
C3A	90,41	
C3B	55,97	
C3C	112,82	
C3D	109,91	

15. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

El informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

  
Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI

  
  
MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO

Tabla N°1. Datos de la Curva de calibración de mercurio

Estándar	Concentración, ppm	Absorbancia
E1	1	0,0020
E2	2	0,0037
E3	4	0,0071
E4	8	0,0133
E5	20	0,0311
E6	50	0,0745

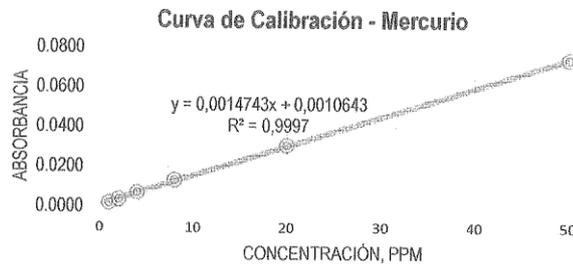


Figura N°1. Curva de calibración de mercurio

Tabla N°2. Datos y resultados de la concentración de mercurio en las muestras

Muestra	Absorbancia	Concentración, ppm	Masa de muestra, g	Volumen Final, mL	Concentración Final, (ug Hg/g muestra)
Blanco de muestra	0,0012	0,09	-	50	-
C1A	0,0073	4,14	1,2014	50	172,20
C1B	0,0094	5,56	1,2016	50	231,44
C1C	0,0086	5,02	1,2014	50	208,90
C1D	0,0103	6,17	1,1992	50	257,36
C2A	0,0031	1,29	1,2024	50	53,59
C2B	0,0035	1,56	1,201	50	64,95
C2C	0,0031	1,29	1,2006	50	53,67
C2D	0,0051	2,65	1,207	50	109,58
C3A	0,0044	2,17	1,2004	50	90,41
C3B	0,0045	2,24	1,9996	50	55,97
C3C	0,0052	2,71	1,2024	50	112,82
C3D	0,0051	2,65	1,2034	50	109,91



*Otilia Pacheco*

## Anexo 6: Informe Técnico de determinación de mercurio en raíces



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



### INFORME TÉCNICO N° 0946 - 19 - LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RICHARD JOSEPH SOLIS TOLEDO
  - 1.2 D.N.I. : 47074047
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 27 / 05 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 05 / 06 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN RAÍCES VEGETALES
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 12 MUESTRAS DE RAÍCES VEGETALES

N° DE MUESTRA	MUESTRA / CÓDIGO
1	C1A
2	C1B
3	C1C
4	C1D
5	C2A
6	C2B
7	C2C
8	C2D
9	C3A
10	C3B
11	C3C
12	C3D

5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
7. MÉTODO UTILIZADO : ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
8. NORMA DE REFERENCIA : AOAC OFFICIAL METHOD 971.21 MERCURY IN FOOD
9. EQUIPOS UTILIZADOS  
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA. SHIMADZU, AA-7000.  
BALANZA ANALÍTICA DIGITAL. SHIMADZU, AUW 120.  
EQUIPO DE AGUA ULTRA PURA. ELGA PURELAB, CLASSIC UV.  
PLANCHA DE CALENTAMIENTO. THERMO SCIENTIFIC, SP-131320.
10. DATOS DEL ESTÁNDAR DE MERCURIO
  - NOMBRE DEL PRODUCTO : SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE MERCURIO
  - NÚMERO DE LOTE : 1.70226.0500
  - MARCA : MERCK MILLIPORE
  - CONCENTRACIÓN : 1000 mg/L



INFORME TÉCNICO N° 0946-19- LABICER

Página 1 de 3

11. REACTIVOS

- Solución estándar de mercurio 1000 ppm, adquirido de MERCK PERUANA.
- Ácido nítrico al 70%, adquirido de FERMONT.
- Ácido perclórico, adquirido de MERCK PERUANA.
- Ácido sulfúrico, adquirido de FERMONT.
- Agua ultra pura, purificada en equipo ELGA PURELAB CLASSIC UV.

12. SOLUCIONES ESTÁNDAR

Las soluciones estándar se realizaron a partir de la solución estándar de mercurio (1000 mg/L) en medio ácido,  $\text{HNO}_3$  0.5 N. Para la curva de calibración se consideraron seis puntos de 1, 2, 4, 8, 20 y 50 ppm como se muestra en la Tabla N°1 del anexo.

13. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se pesó 0.2 – 3 g de muestra. Se añadieron 7 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 5 mL de  $\text{HNO}_3$  y se digirió por 30 minutos. Posteriormente se añadió 10 mL de agua destilada y se digirió por 1 hora, se enfrió y se añadió 10 mL de  $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$  (1:1), se digirió por 30 minutos. Finalmente se enfrió, se filtró y se enrasó a 50 mL con agua destilada.

14. RESULTADOS

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (ug Hg/g muestra)	MÉTODO DE REFERENCIA
C1A	707,41	AOAC 971.21
C1B	613,65	
C1C	798,51	
C1D	656,40	
C2A	200,60	
C2B	232,22	
C2C	307,18	
C2D	401,04	
C3A	48,37	
C3B	33,21	
C3C	121,19	
C3D	266,99	

15. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

  
Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

  
  
MSc. Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de laboratorio  
CQP 202

## ANEXO

Tabla N°1. Datos de la Curva de calibración de mercurio

Estándar	Concentración, ppm	Absorbancia
E1	1	0,0016
E2	2	0,0025
E3	4	0,0050
E4	8	0,0089
E5	20	0,0207
E6	50	0,0518

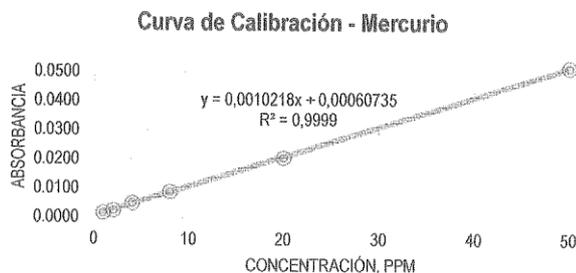


Figura N°1. Curva de calibración de mercurio

Tabla N°2. Datos y resultados de la concentración de mercurio en las muestras

Muestra	Absorbancia	Concentración, ppm	Masa de muestra, g	Volumen Final, mL	Concentración Final, (ug Hg/g muestra)
Blanco de muestra	0,0005	0,00	-	50	-
C1A	0,0348	33,46	2,3652	50	707,41
C1B	0,0227	21,62	1,7617	50	613,65
C1C	0,0143	13,40	0,8391	50	798,51
C1D	0,0109	10,07	0,7673	50	656,40
C2A	0,0049	4,20	1,0471	50	200,60
C2B	0,0061	5,38	1,1574	50	232,22
C2C	0,0072	6,45	1,0502	50	307,18
C2D	0,0067	5,96	0,7434	50	401,04
C3A*	0,0015	0,87	0,903	50	48,37
C3B	0,0017	1,07	1,6098	50	33,21
C3C*	0,0012	0,58	0,2393	50	121,19
C3D	0,0022	1,56	0,2919	50	266,99

\* Los resultados resaltados tienen concentración menor al límite de detección de mercurio en flama (L.D. 0.9 ppm)



## Anexo 7: Informe Técnico de determinación de mercurio en brotes



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



### INFORME TÉCNICO N° 0943 - 19 - LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RICHARD JOSEPH SOLIS TOLEDO
  - 1.2 D.N.I. : 47074047
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 27 / 05 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 05 / 06 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN HOJAS VEGETALES
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 04 MUESTRAS DE HOJAS VEGETALES

N° DE MUESTRA	MUESTRA / CÓDIGO
1	C1A
2	C1B
3	C1C
4	C1D

5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
7. MÉTODO UTILIZADO : ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
8. NORMA DE REFERENCIA : AOAC OFFICIAL METHOD 971.21 MERCURY IN FOOD
9. EQUIPOS UTILIZADOS  
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA. SHIMADZU, AA-7000.  
BALANZA ANALÍTICA DIGITAL. SHIMADZU, AUW 120.  
EQUIPO DE AGUA ULTRA PURA. ELGA PURELAB, CLASSIC UV.  
PLANCHA DE CALENTAMIENTO. THERMO SCIENTIFIC, SP-131320.
10. DATOS DEL ESTÁNDAR DE MERCURIO  
NOMBRE DEL PRODUCTO : SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE MERCURIO  
NÚMERO DE LOTE : 1.70226.0500  
MARCA : MERCK MILLIPORE  
CONCENTRACIÓN : 1000 mg/L
11. REACTIVOS
  - Solución estándar de mercurio 1000 ppm, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido nítrico al 70%, adquirido de FERMONT.
  - Ácido perclórico, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido sulfúrico, adquirido de FERMONT.
  - Agua ultra pura, purificada en equipo ELGA PURELAB CLASSIC UV.



INFORME TÉCNICO N° 0943-19- LABICER

Página 1 de 3

Av. Túpac Amaru 210 Lima 31, Perú. Teléfono: 382 0500 Teléfono UNI 4811070 E-mail: [otilia@uni.edu.pe](mailto:otilia@uni.edu.pe)

12. SOLUCIONES ESTÁNDAR

Las soluciones estándar se realizaron a partir de la solución estándar de mercurio (1000 mg/L) en medio ácido, HNO<sub>3</sub> 0.5 N. Para la curva de calibración se consideraron seis puntos de 1, 2, 4, 8, 20 y 50 ppm como se muestra en la Tabla N°1 del anexo.

13. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se pesó 0.2 – 3 g de muestra. Se añadieron 7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 5 mL de HNO<sub>3</sub> y se digirió por 30 minutos. Posteriormente se añadió 10 mL de agua destilada y se digirió por 1 hora, se enfrió y se añadió 10 mL de HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub> (1:1), se digirió por 30 minutos. Finalmente se enfrió, se filtró y se enrasó a 50 mL con agua destilada.

14. RESULTADOS

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (ug Hg/g muestra)	MÉTODO DE REFERENCIA
C1A	43,89	AOAC 971.21
C1B	36,25	
C1C	97,48	
C1D	68,04	

15. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

  
Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI



(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO

Tabla N°1. Datos de la Curva de calibración de mercurio

Estándar	Concentración, ppm	Absorbancia
E1	1	0,0016
E2	2	0,0025
E3	4	0,0050
E4	8	0,0089
E5	20	0,0207
E6	50	0,0518

**Curva de Calibración - Mercurio**

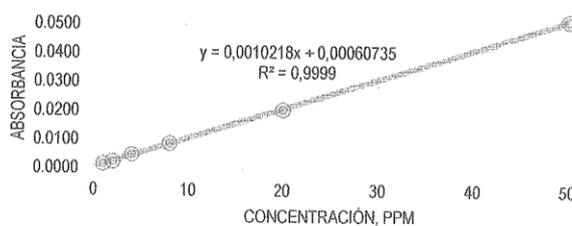


Figura N°1. Curva de calibración de mercurio

Tabla N°2. Datos y resultados de la concentración de mercurio en las muestras

Muestra	Absorbancia	Concentración, ppm	Masa de muestra, g	Volumen Final, mL	Concentración Final, (ug Hg/g muestra)
Blanco de muestra	0,0005	0,00	-	50	-
C1A	0,0030	2,34	2,6673	50	43,89
C1B	0,0028	2,15	2,9595	50	36,25
C1C	0,0038	3,12	1,6027	50	97,48
C1D	0,0035	2,83	2,0802	50	68,04





**INFORME TÉCNICO N° 1215 - 19 - LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RICHARD JOSEPH SOLIS TOLEDO
  - 1.2 D.N.I. : 47074047
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 07 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 07 / 2019
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN HOJAS VEGETALES
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 04 MUESTRAS DE HOJAS VEGETALES

N° DE MUESTRA	MUESTRA / CÓDIGO
1	C2A
2	C2B
3	C2C
4	C2D

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
7. **MÉTODO UTILIZADO** : ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
8. **NORMA DE REFERENCIA** : AOAC OFFICIAL METHOD 971.21 MERCURY IN FOOD
9. **EQUIPOS UTILIZADOS**  
 ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA. SHIMADZU, AA-7000.  
 BALANZA ANALÍTICA DIGITAL. SHIMADZU, AUW 120.  
 EQUIPO DE AGUA ULTRA PURA. ELGA PURELAB, CLASSIC UV.  
 PLANCHA DE CALENTAMIENTO. THERMO SCIENTIFIC, SP-131320.
10. **DATOS DEL ESTÁNDAR DE MERCURIO**
  - NOMBRE DEL PRODUCTO : SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE MERCURIO
  - NÚMERO DE LOTE : 1.70226.0500
  - MARCA : MERCK MILLIPORE
  - CONCENTRACIÓN : 1000 mg/L
11. **REACTIVOS**
  - Solución estándar de mercurio 1000 ppm, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido nítrico al 70%, adquirido de FERMONT.
  - Ácido perclórico, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido sulfúrico, adquirido de FERMONT.
  - Agua ultra pura, purificada en equipo ELGA PURELAB CLASSIC UV.



**12. SOLUCIONES ESTÁNDAR**

Las soluciones estándar se realizaron a partir de la solución estándar de mercurio (1000 mg/L) en medio ácido, HNO<sub>3</sub> 0.5 N. Para la curva de calibración se consideraron seis puntos de 1, 2, 5, 10, 20 y 50 ppm como se muestra en la Tabla N°1 del anexo.

**13. TRATAMIENTO DE MUESTRAS**

Se pesó 0.2 – 1.9 g de muestra. Se añadieron 7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 5 mL de HNO<sub>3</sub> y se digirió por 30 minutos. Posteriormente se añadió 10 mL de agua destilada y se digirió por 1 hora, se enfrió y se añadió 10 mL de HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub> (1:1), se digirió por 30 minutos. Finalmente se enfrió, se filtró y se enrasó a 50 mL con agua destilada.

**14. RESULTADOS**

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (ug Hg/g muestra)	MÉTODO DE REFERENCIA
C2A	< 1.0 (*)	AOAC 971.21
C2B	< 1.0 (*)	
C2C	< 1.0 (*)	
C2D	< 1.0 (*)	

(\*) Las soluciones acuosas obtenidas del tratamiento de muestras (ítem 13) tienen concentraciones menores a 1 ppm.

**15. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al catorce (14) del presente informe técnico.

Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI



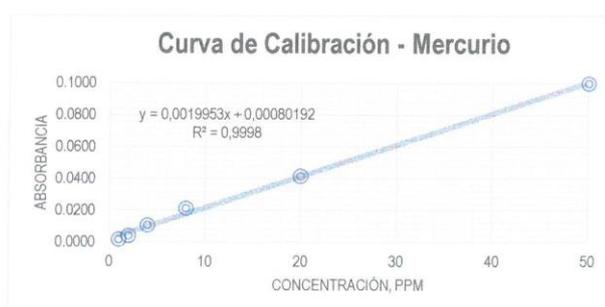
Prof. Dra. Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de laboratorio  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO

**Tabla N°1.** Datos de la Curva de calibración de mercurio

Estándar	Concentración, ppm	Absorbancia
E1	1	0,0020
E2	2	0,0042
E3	5	0,0108
E4	10	0,0216
E5	20	0,0418
E6	50	0,1000



**Figura N°1.** Curva de calibración de mercurio



**Tabla N°2.** Datos y resultados de la concentración de mercurio en las muestras

Muestra	Absorbancia	Concentración, ppm	Masa de muestra, g	Volumen Final, mL	Concentración Final, (ug Hg/g muestra)
Blanco de muestra	0,0000	-	-	50	-
C2A	0,0000	-	1,2464	50	-
C2B	0,0000	-	1,4109	50	-
C2C	0,0000	-	1,9011	50	-
C2D	0,0000	-	1,2094	50	-



**INFORME TÉCNICO N° 1216 - 19 - LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RICHARD JOSEPH SOLIS TOLEDO
  - 1.2 D.N.I. : 47074047
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 07 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 07 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN HOJAS VEGETALES
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 04 MUESTRAS DE HOJAS VEGETALES

N° DE MUESTRA	MUESTRA / CÓDIGO
1	C3A
2	C3B
3	C3C
4	C3D

5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20°C; Humedad relativa: 60 %
7. MÉTODO UTILIZADO : ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
8. NORMA DE REFERENCIA : AOAC OFFICIAL METHOD 971.21 MERCURY IN FOOD
9. EQUIPOS UTILIZADOS  
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA. SHIMADZU, AA-7000.  
BALANZA ANALÍTICA DIGITAL. SHIMADZU, AUW 120.  
EQUIPO DE AGUA ULTRA PURA. ELGA PURELAB, CLASSIC UV.  
PLANCHA DE CALENTAMIENTO. THERMO SCIENTIFIC, SP-131320.
10. DATOS DEL ESTÁNDAR DE MERCURIO  
NOMBRE DEL PRODUCTO : SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE MERCURIO  
NÚMERO DE LOTE : 1.70226 0500  
MARCA : MERCK MILLIPORE  
CONCENTRACIÓN : 1000 mg/L
11. REACTIVOS
  - Solución estándar de mercurio 1000 ppm, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido nítrico al 70%, adquirido de FERMONT.
  - Ácido perclórico, adquirido de MERCK PERUANA.
  - Ácido sulfúrico, adquirido de FERMONT.
  - Agua ultra pura, purificada en equipo ELGA PURELAB CLASSIC UV.



12. SOLUCIONES ESTÁNDAR

Las soluciones estándar se realizaron a partir de la solución estándar de mercurio (1000 mg/L) en medio ácido, HNO<sub>3</sub> 0.5 N. Para la curva de calibración se consideraron seis puntos de 1, 2, 5, 10, 20 y 50 ppm como se muestra en la Tabla N°1 del anexo.

13. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se pesó 0.2 – 1.9 g de muestra. Se añadieron 7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 5 mL de HNO<sub>3</sub> y se digirió por 30 minutos. Posteriormente se añadió 10 mL de agua destilada y se digirió por 1 hora, se enfrió y se añadió 10 mL de HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub> (1:1), se digirió por 30 minutos. Finalmente se enfrió, se filtró y se enrasó a 50 mL con agua destilada.

14. RESULTADOS

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (ug Hg/g muestra)	MÉTODO DE REFERENCIA
C3A	< 1.0 (*)	AOAC 971.21
C3B	< 1.0 (*)	
C3C	< 1.0 (*)	
C3D	< 1.0 (*)	

(\*) Las soluciones acuosas obtenidas del tratamiento de muestras (Ítem 13) tienen concentraciones menores a 1 ppm.

15. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al catorce (14) del presente informe técnico.

  
Bach. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI

  
  
Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de laboratorio  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO

Tabla N°1. Datos de la Curva de calibración de mercurio

Estándar	Concentración, ppm	Absorbancia
E1	1	0,0020
E2	2	0,0042
E3	5	0,0108
E4	10	0,0216
E5	20	0,0418
E6	50	0,1000

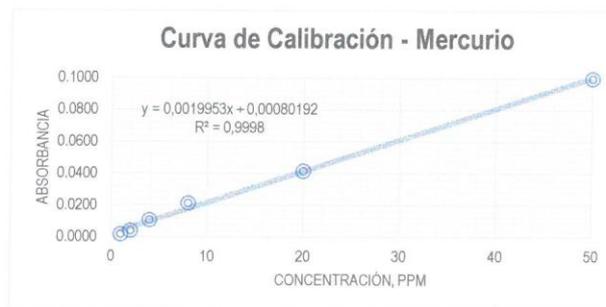


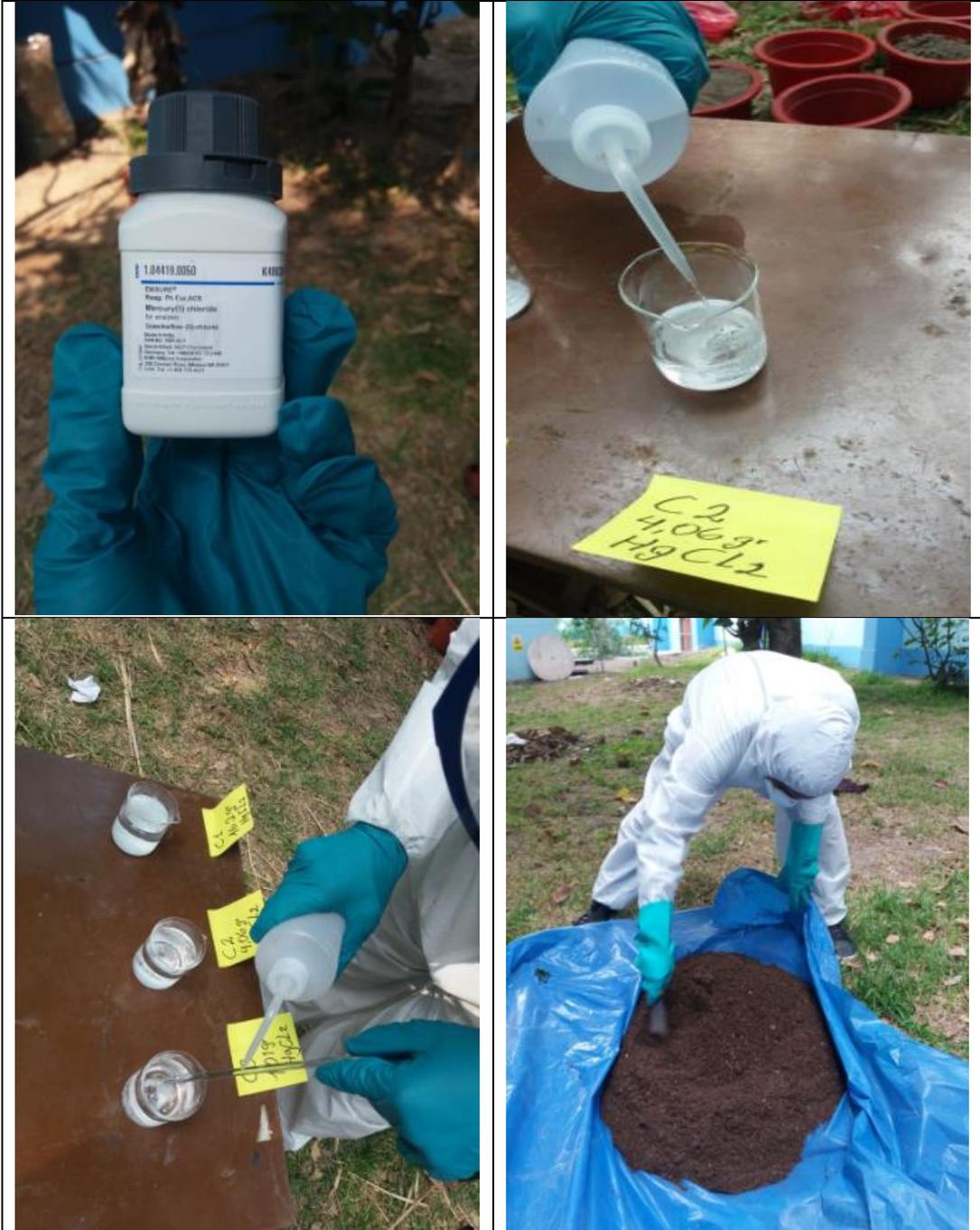
Figura N°1. Curva de calibración de mercurio

Tabla N°2. Datos y resultados de la concentración de mercurio en las muestras

Muestra	Absorbancia	Concentración, ppm	Masa de muestra, g	Volumen Final, mL	Concentración Final, (ug Hg/g muestra)
Blanco de muestra	0,0000	-	-	50	-
C2A	0,0000	-	1,1106	50	-
C2B	0,0000	-	1,8941	50	-
C2C	0,0000	-	0,2583	50	-
C2D	0,0000	-	0,4617	50	-



### Anexo 8: Registro fotográfico de la Etapa 1



## Anexo 9: Registro fotográfico de la Etapa 2



Anexo 10: Registro fotográfico de la Etapa 3



### Anexo 11: Registro fotográfico de la Etapa 4



Anexo 12: Registro fotográfico de la Etapa 4

