



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA*, COMO
PLANTA FITORREMIADORA DE SUELOS CONTAMINADOS
CON CROMO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: NATIVIDAD DE LOS ANGELES NÚÑEZ LOZANO
KATERIN DANIELA TIPANTUÑA LEMA

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Natividad de los Angeles Núñez Lozano & Katerin Daniela Tipantuña Lema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Natividad de los Angeles Núñez Lozano y Katerin Daniela Tipantuña Lema, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de marzo de 2024



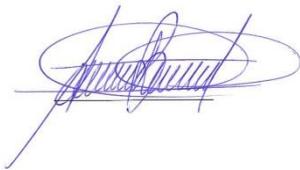
Natividad de los Angeles Núñez Lozano
C.I. 1850213099



Katerin Daniela Tipantuña Lema
C.I. 0504305269

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DE LA ZANTEDESCHIA AETHIOPICA, COMO PLANTA FITORREMIADORA DE SUELOS CONTAMINADOS CON CROMO**”, realizado por las señoritas: **NATIVIDAD DE LOS ANGELES NÚÑEZ LOZANO Y KATERIN DANIELA TIPANTUÑA LEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Vanessa Margarita Vargas Guambo, MSc. PRESIDENTA DEL TRIBUNAL		2024-03-07
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-03-07
Ing. Sofia Carolina Godoy Ponce, MSc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-03-07

DEDICATORIA

A Dios, por llevarme de su mano ante cualquier circunstancia y darme la fuerza para no caer. A mi papi Alfonso y a mi mami Fanny, por el apoyo incondicional, su trabajo y el esfuerzo que han hecho para que yo llegue hasta donde estoy, sobre todo por los valores inculcados y el amor infinito que me brindan. A mis hermanitos, Britany y Maykel, porque son mi motivación para siempre seguir adelante y son mi felicidad en días nublados. A mi abuelita Magdalena que donde quiera que esté espero se sienta orgullosa de lo que he logrado. A mi tío Ricardo por ser mi ejemplo a seguir. A mis abuelitos Jorge y María, por siempre estar pendientes de mí. A mis amigos por no abandonarme en los momentos difíciles y siempre tener palabras de aliento, en especial a Katy y a su familia por su amabilidad y apoyo en el proceso de nuestro proyecto.

Natividad

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a Dios por siempre cuidar de mí y de mi familia, ya que su amor ha sido luz en momentos difíciles.

A mis padres Jacinto Tipantuña y Cesilia Lema, este logro no habría sido posible sin su amor y su apoyo incondicional. Desde el primer día, ustedes han sido mi pilar fundamental, siempre me han enseñado el valor del trabajo y que todo esfuerzo vale la pena. A mis hermanos Alvaro y Elvis, quienes son el motor de mi vida y mis ganas de salir adelante, los amo.

A mis amigos y compañeros, pero principalmente a Naty, la cual fue participe para realizar este proyecto y ha sido una de las mejores personas que la ESPOCH me pudo dar.

Con infinito cariño,

Katerin

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por estar presente siempre en nuestras vidas y por bendecirnos a lo largo de nuestra vida académica y personal. A la vez queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en realizar este proyecto académico.

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias por su apoyo y comprensión durante este proceso de investigación, en especial a nuestros padres ya que han sido pilares fundamentales que nos han impulsado a alcanzar nuestras metas.

Queremos destacar la invaluable guía proporcionada por nuestro director de tesis Ing. Andrés Beltrán, cuya experiencia, paciencia y dedicación han sido esenciales para el desarrollo y culminación de nuestro proyecto.

Así mismo, extendemos nuestro agradecimiento hacia la Ing. Sofia Godoy, por su valioso aporte en diferentes etapas del proceso investigativo, contribuyendo significativamente a mejorar la calidad de nuestro trabajo.

Expresamos nuestra gratitud a nuestros amigos y compañeros por motivarnos durante toda nuestra vida universitaria.

Finalmente, estamos totalmente agradecidas a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo nuestros estudios.

Natividad & Katerin

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Enunciado del problema	2
1.2. Problema general de la investigación.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Hipótesis	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Referencias teóricas	7
2.2.1. <i>Metales pesados</i>	7
2.2.2. <i>Acumulación de metales pesados en el suelo</i>	7
2.2.3. <i>Elemento químico: cromo</i>	8
2.2.3.1. <i>Propiedades físicoquímicas del cromo</i>	8

2.2.3.2.	<i>Estados de oxidación del cromo y como se estabiliza en el medio ambiente</i>	9
2.2.3.3.	<i>Cromo trivalente (Cr₃)</i>	10
2.2.3.4.	<i>Cromo hexavalente (Cr₄)</i>	10
2.2.4.	<i>Usos del cromo</i>	10
2.2.5.	<i>Fuentes de exposición</i>	11
2.2.6.	<i>Contaminación ambiental por cromo</i>	11
2.2.7.	<i>Efectos del cromo en la salud</i>	12
2.2.8.	<i>El cromo y su efecto en las plantas</i>	12
2.2.9.	<i>Fitorremediación</i>	13
2.2.9.1.	<i>Mecanismos de fitorremediación</i>	14
2.2.10.	<i>Proceso de acumulación de metales en las plantas</i>	15
2.2.11.	<i>Factor de bioconcentración</i>	16
2.2.11.1.	<i>Factor de translocación</i>	17
2.2.12.	<i>Características de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	17
2.2.12.1.	<i>Origen de la especie vegetal</i>	17
2.2.12.2.	<i>Taxonomía de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	17
2.2.12.3.	<i>Morfología de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	18
2.2.12.4.	<i>Descripción botánica</i>	19
2.2.12.5.	<i>Reproducción</i>	19
2.2.12.6.	<i>Distribución</i>	20
2.2.12.7.	<i>Uso de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	20
2.2.12.8.	<i>Ciclo de vida</i>	20

CAPÍTULO III

3.	MARCO metodológico	22
3.1.	Tipo de investigación	22
3.1.1.	<i>Nivel de la investigación</i>	22
3.1.2.	<i>Enfoque de la investigación</i>	22

3.2.	Diseño de la investigación	22
3.3.	Identificación de las variables	23
3.4.	Población y muestra	23
3.4.1.	<i>Población</i>	23
3.4.2.	<i>Elección de la muestra</i>	23
3.4.3.	<i>Muestra</i>	24
3.4.4.	<i>Tamaño de la muestra</i>	24
3.4.4.1.	<i>Etapa de germinación</i>	24
3.4.4.2.	<i>Etapa de crecimiento</i>	24
3.5.	Técnicas e instrumentos	25
3.5.1.1.	<i>Bitácora</i>	25
3.5.1.2.	<i>Instrumentos</i>	25
3.6.	Localización de la investigación	25
3.7.	Duración de la investigación	26
3.8.	Fase experimental	26
3.8.1.	<i>Identificación de la especie</i>	26
3.8.2.	<i>Etapa I: Germinación</i>	27
3.8.2.1.	<i>Preparación de solución madre de dicromato de potasio</i>	27
3.8.2.2.	<i>Elaboración de lechos</i>	30
3.8.3.	<i>Etapa II: Crecimiento</i>	31
3.8.3.1.	<i>Preparación de medios físicos</i>	31
3.8.3.2.	<i>Procedimiento de bioensayos para el desarrollo de germinación</i>	35
3.9.	Método de determinación de cromo hexavalente en el suelo	36
3.9.1.	<i>Equipos y materiales</i>	36
3.9.2.	<i>Reactivos</i>	36
3.9.2.1.	<i>Preparación de patrones y blancos</i>	39
3.10.	Determinación en Cr (+6) en la especie vegetal	40
3.11.	Cálculos y resultados del experimento	40
3.11.1.	<i>Cálculos y análisis de resultados de la etapa I</i>	40

3.11.1.1. <i>Porcentaje de germinación relativa (%GR)</i>	41
3.11.1.2. <i>Porcentaje de crecimiento relativo de la raíz (%ER)</i>	41
3.11.1.3. <i>Índice de germinación (IG)</i>	41
3.11.2. <i>Estimación de dosis letal</i>	42
3.11.2.1. <i>Regresión Probit</i>	42
3.11.2.2. <i>Red Muench</i>	42
3.11.3. <i>Cálculos y resultados de la etapa II</i>	42
3.11.3.1. <i>Factor de Bioconcentración (FBC)</i>	43
3.11.3.2. <i>Eficiencia en la remoción del metal</i>	43

CAPÍTULO IV

4. Marco de análisis e interpretación de resultados	44
4.1. Etapa I: Germinación	44
4.1.1. <i>Porcentaje de Germinación Relativo (%GR)</i>	44
4.1.2. <i>Porcentaje de elongación relativa de la raíz (%ER)</i>	45
4.1.3. <i>Índice de germinación (IG)</i>	47
4.1.4. <i>Regresión Probit</i>	48
4.1.5. <i>Reed Muench</i>	50
4.2. Etapa II: Crecimiento	52
4.2.1. <i>Altura de la planta</i>	52
4.2.2. <i>Ancho Foliar</i>	56
4.3. Factor de Bioconcentración	60

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1. Conclusiones	62
5.2. Recomendaciones	63

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Propiedades físicas y químicas del elemento químico (Cr).....	9
Tabla 2-2:	Estados de oxidación del Cr	9
Tabla 2-3:	Mecanismos de fitorremediación	15
Tabla 2-4:	Taxonomía de la especie vegetal.....	18
Tabla 3-1:	Variables de la investigación.....	23
Tabla 3-2:	Distribución de volumen de Cr (VI).....	28
Tabla 3-3:	Parámetros meteorológicos	32
Tabla 3-4:	Propiedades químicas del sustrato Floragard	33
Tabla 3-5:	Distribución de sustratos en cada maceta.....	34
Tabla 3-6:	Descripción de tratamientos	35
Tabla 3-7:	Preparación de estándares de cromo hexavalente.....	39
Tabla 3-8:	Índice de germinación	42
Tabla 3-9:	Interpretación del factor de bioconcentración	43
Tabla 4-1:	Porcentaje de Germinación Relativo	44
Tabla 4-2:	Elongación radicular de cada semilla.....	45
Tabla 4-3:	Porcentaje de crecimiento relativo de la raíz.....	46
Tabla 4-4:	Índice de germinación	47
Tabla 4-5:	Método Probit: Cálculo DL50 de <i>Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	48
Tabla 4-6:	Parámetros para conocer la DL50	50
Tabla 4-7:	Tabla Reed Muench.....	50
Tabla 4-8:	Dosis Letal obtenida por el Método Reed Muench	51
Tabla 4-9:	Medición de la altura en (mm) de <i>Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	52
Tabla 4-10:	Transformación de datos no normales a normales: Altura de la planta.....	53
Tabla 4-11:	Resultados de prueba Anova	54
Tabla 4-12:	Resultados de la prueba Scheffle: Altura de la planta.....	55
Tabla 4-13:	Diferencias significativas entre subconjuntos	55
Tabla 4-14:	Medición de ancho foliar en (mm) de <i>Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	56
Tabla 4-15:	Transformación de datos no normales a normales: Ancho foliar.....	58
Tabla 4-16:	Resultado de prueba no paramétrica: Kruskal Wallis	59
Tabla 4-17:	Factor de bioconcentración	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Representación de diferentes mecanismos de fitocorrección.....	14
Ilustración 2-2:	Morfología de <i>Zantedeschia Aethiopica</i>	19
Ilustración 3-1:	Distribución de tratamientos del estudio.....	23
Ilustración 3-2:	Protocolo de siembra	24
Ilustración 3-3:	Ubicación del invernadero	26
Ilustración 3-4:	Preparación de solución madre	27
Ilustración 3-5:	Riego con Dicromato de potasio en cada una de las bandejas de aluminio...	29
Ilustración 3-6:	Distintas concentraciones de cromo VI	29
Ilustración 3-7:	Semillas a germinar	30
Ilustración 3-8:	Bandejas de aluminio ubicadas en la incubadora a 25 °C.....	31
Ilustración 3-9:	a) Estructura; b) Invernadero terminado	32
Ilustración 3-10:	Gráfico de temperatura y humedad.....	33
Ilustración 3-11:	Pesaje de suelo	34
Ilustración 3-12:	Siembra de semilla.....	35
Ilustración 3-13:	Diagrama de flujo de determinación de Cr (VI) en el suelo	38
Ilustración 3-14:	Preparación de estándares.....	39
Ilustración 3-15:	Procedimiento de análisis de Cr (+6) en plantas.....	40
Ilustración 4-1:	Porcentaje de Germinación relativo.....	45
Ilustración 4-2:	Porcentaje de elongación relativa de la raíz.....	47
Ilustración 4-3:	Índice de germinación de la <i>Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i>	48
Ilustración 4-4:	Curva Dosis- Respuesta, Método Probit.....	49
Ilustración 4-5:	Curva Dosis- mortalidad, obtenida por el método de Reed Muench	51
Ilustración 4-6:	Altura vs Dosis de Cromo (VI) ppm.....	56
Ilustración 4-7:	Histograma; transformación de datos no normales a normales	59
Ilustración 4-8:	Diagrama de cajas de Kruskal- Wallis.....	60
Ilustración 4-9:	Factor de bioconcentración vs Dosis	61

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SEMILLAS DE LA ESPECIE ESTUDIADA: *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA*
- ANEXO B:** CULMINACIÓN DE LA ETAPA I: MEDICIÓN RADICULAR POR CADA CONCENTRACIÓN
- ANEXO C:** ANÁLISIS DEL SUELO: INICIAL
- ANEXO D:** CURVA DE CALIBRACIÓN
- ANEXO E:** PLANTAS COLOCADAS EN EL INVERNADERO Y CORRECTAMENTE ETIQUETADAS
- ANEXO F:** SUMINISTRO DE AGUA
- ANEXO G:** PRIMEROS BROTES DE *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (L.) SPRENG*
- ANEXO H:** PLÁNTULA DE LA ESPECIE VEGETAL
- ANEXO I:** DESARROLLO DE LA ESPECIE VEGETAL
- ANEXO J:** MEDIDA DE ÓRGANOS VEGETALES DE LA PLANTA
- ANEXO K:** IDENTIFICACIÓN DE NECROSIS EN HOJAS DE LA ESPECIE
- ANEXO L:** EXTRACCIÓN DE MUESTRAS A ANALIZAR
- ANEXO M:** DETERMINACIÓN DE LONGITUD FINAL
- ANEXO N:** ANÁLISIS DE PLANTA *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (L.) SPRENG*
- ANEXO O:** MUESTRAS DEBIDAMENTE PREPARADAS PARA SU RESPECTIVO ANÁLISIS
- ANEXO P:** CURVA DE CALIBRACIÓN DE LAS PLANTAS: *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (L.) SPRENG*
- ANEXO Q:** ANÁLISIS FINAL DEL SUELO
- ANEXO R:** CURVA DE CALIBRACIÓN DEL SUELO FINAL
- ANEXO S:** BITÁCORA DE MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LA PLANTA

RESUMEN

En respuesta a los impactos ambientales negativos causados por actividades industriales, que generan diversos desechos perjudiciales como los metales pesados, en este caso, el cromo hexavalente, afectando los recursos naturales esenciales para los seres vivos, como el agua, el suelo y el aire, este estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de la planta *Zantedeschia Aethiopica* para remediar la contaminación por cromo VI en el suelo. Por medio de bioensayos se examinaron los efectos en la germinación y el crecimiento en concentraciones de 0, 50, 100, 150, 200 y 250 ppm de dicromato de potasio. Durante la fase de germinación, se utilizaron diez unidades experimentales, cada una con 30 semillas, durante 7 días, evaluando porcentajes como la germinación relativa, la elongación relativa de la raíz y el índice de germinación. En la etapa de crecimiento, se establecieron seis tratamientos con las dosis mencionadas, cada uno con tres combinaciones de dos tipos de sustratos en diferentes proporciones: 1) materia orgánica 75%, cascajo 25%; 2) materia orgánica 50%, cascajo 50%; 3) materia orgánica 25%, cascajo 75%. Cada combinación se replicó 10 veces, resultando en un total de 180 unidades experimentales, con una duración de 110 días. Se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados no balanceados para analizar la altura de la planta y el ancho foliar. La DL50 (dosis letal media) se determinó aproximadamente un valor de 71 ppm, mediante métodos modelados, con niveles bajos de bioacumulación en la planta. Se observó un menor potencial fitoextractor en la especie *Z. Aethiopica*. Se sugiere realizar ensayos en parcelas bajo condiciones controladas para verificar si la interacción de estos factores influye en la respuesta de esta especie.

Palabras clave: <ZANTEDESCHIA AETHIOPICA>, <FITORREMEDIACIÓN>, <BIOACUMULACIÓN>, <SUSTRATOS>, <CROMO HEXAVALENTE>, <DOSIS LETAL>, <BIOENSAYO>.

0376-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

This research concerns the negative environmental impacts caused by industrial activities, which generate various harmful wastes such as heavy metals, in this case, hexavalent chromium. This affects natural resources which are essential for living beings, such as water, soil, and air. This study aimed to evaluate the ability of the plant *Zantedeschia Aethiopica* to remediate chromium VI contamination in soil. Utilizing bioassays, the effects on germination and growth were examined at concentrations of 0, 50, 100, 150, 200, and 250 ppm potassium dichromate. During the germination phase, ten experimental units, each containing 30 seeds, were used for 7 days, evaluating percentages such as relative germination, relative root elongation, and germination index. In the growth stage, six treatments were established with the doses mentioned above, each with three combinations of two types of substrates in different proportions: 1) organic matter 75%, gravel 25%; 2) organic matter 50%, gravel 50%; 3) organic matter 25%, gravel 75%. Each combination was replicated 10 times, resulting in a total of 180 experimental units, lasting 110 days. An unbalanced completely randomized block design was used to analyze plant height and leaf width. The LD50 (median lethal dose) was determined to be approximately 71 ppm using modeled methods with low levels of bioaccumulation in the plant. A lower phytoextractor potential was observed in the species *Z. Aethiopica*. Plot trials under controlled conditions are suggested to verify if these factors' interaction influences this species' response.

Keywords: <CARTUCHO (ZANTEDESCHIA AETHIOPICA)>, <FYTHOREMEDIATION>, <BIOACUMULATION>, <SUSTRATES>, <HEXAVALENT CHROMIUM>, <LETHAL DOSE>, <BIOENSAY>.

0376-DBRA-UPT-2024



Ing. Romel Francisco Calles Jiménez, Mgt.

C.I. 0603877713

INTRODUCCIÓN

Las actividades industriales que se realizan de manera antropogénica han traído consigo consecuencias negativas como el desgaste del aire, agua y suelo, sin embargo, estos dos últimos se han visto más afectados puesto que diferentes industrias a la hora de elaborar sus productos generan distintas fuentes de contaminación por medio de sus desechos ya que estos contienen metales pesados que presentan altos niveles de toxicidad.

En Ecuador, las industrias que fabrican pieles se encuentran en sitios centrales del país, puesto que para su procedimiento es necesario el uso de diferentes químicos trayendo como consecuencias impactos negativos al medio ambiente ya que al ser descargados a cuerpos de agua son perjudiciales para la flora y la fauna, pues presentan altas concentraciones de cromo (III) y cromo (VI). La presencia de Cromo (VI) en dichas aguas residuales aproximadamente el 85% de los productos químicos usados en el proceso de curtiduría se dispersa en el agua.

Uno de los metales pesados esenciales para las plantas y el suelo es el Cr (III), debido a la presencia de micronutrientes importantes (Huertos & Romero, 2008, p.49) y su alta capacidad de adsorción en agua y suelo, por otra parte, el Cr (VI) es el responsable de diferentes riesgos a la salud en las personas, debido a su alta toxicidad.

Al ser un problema perjudicial para el medio ambiente se necesita implementar prácticas más sostenibles, tales como técnicas fitorremediadoras en donde se utilizan plantas para mitigar, degradar y eliminar contaminantes presentes en el suelo, agua o aire, estas técnicas aprovechan la capacidad de ciertas plantas para absorber y acumular contaminantes, contribuyendo así a la restauración ambiental y a la vez se destaca por ser eficiente y de bajo costo.

Dentro de esta investigación se ha optado por estudiar la especie vegetal *Zantedeschia Aethiopica* (L.) Spreng, con el fin de evaluar sus efectos y su potencial bioacumulador en suelos contaminados con cromo hexavalente, dado que en estudios más recientes solo se han centrado en propuestas de fitorremediación en humedales superficiales, más no en medios terrestres. Para ello se llevaron a cabo bioensayos durante las fases de germinación y crecimiento, en condiciones controladas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Enunciado del problema

El aumento de las actividades industriales ha ido creciendo debido a las necesidades humanas en los últimos años, causando problemas ambientales de manera significativa puesto que la contaminación ocasionada por metales pesados es un tema popular en la actualidad. Uno de los metales pesados más problemáticos es el cromo con su valencia VI, ya que este metal entra al ambiente a través de procesos naturales o actividades humanas tales como en la obtención de productos químicos, refinación de minerales, elaboración de pastillas de freno, producción de cemento, fabricación de acero, fabricación de colorantes, al igual que en el sector metalúrgico, el curtido de pieles entre otros. Estas actividades han traído consecuencias especialmente para ecosistemas acuáticos y terrestres ya que por medio de efluentes industriales se liberan iones metálicos de alta toxicidad, causando bioacumulación y persistencia en estos medios.

Una de las acciones con mayor impacto ambiental es la fabricación de pieles ya que en particular la descarga de aguas residuales de estas industrias que contienen cromo tiene un efecto significativo dentro del medio ambiente. Silva & Salinas, (2022, pág. 72) mencionan que en Ecuador aproximadamente el 80% del proceso de curtiembre se da en la provincia de Tungurahua, siendo esta actividad una de las principales fuentes de contaminación ambiental debido al empleo de químicos para su producción, viéndose perjudicados los ríos Ambato y Panchanlica, presentando alta incidencia de cromo, plomo, grasas, coliformes fecales, agroquímicos, entre otros, tomando en cuenta que existen otras industrias que generan los mismos impactos, incrementando los niveles de riesgo tanto en la salud humana, como en la flora y fauna de la zona.

La fauna al estar en contacto con el cromo, este se acumula en diferentes partes de la especie vegetal como es el tallo, la raíz, las hojas y flores, generando así un daño al atravesar con facilidad las membranas celulares, provocando irritación en el tejido, dando lugar así a la necrosis, clorosis, y a la vez a la disminución en la germinación y cambios morfológicos, lo que aumenta la tasa de mortalidad en las plantas, además la fauna se ve afectada debido a que los animales que consumen estas plantas contaminadas también pueden sufrir repercusiones en la salud generando preocupaciones adicionales sobre la seguridad alimentaria y la calidad de productos derivados.

En los humanos el Cromo (VI) experimenta una oxidación a Cromo (III) y se elimina a través de la orina, sin embargo, una parte puede perdurar en el cuerpo por un período extenso, dando lugar a la bioadsorción del metal. Al ser ingerido puede provocar problemas estomacales como la irritación, úlceras, incluso tumores. En el caso de la inhalación este metal se puede distribuir de maneras diferentes en los pulmones, produciendo así irritación, alergias y problemas respiratorios.

Es por ello que para tratar los metales pesados se pueden emplear técnicas que suelen ser costosas ya sean biológicas, fisicoquímicas o térmicas para reducir la toxicidad de contaminantes en el suelo (Sarmiento & Flores, 2021, pág. 200), por este motivo, la fitorremediación es una alternativa amigable para el ambiente.

La fitorremediación es un método de descontaminación de suelos, se lo realiza para disminuir contaminantes ocasionados por metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas y sobre todo para aguas residuales generadas por las revoluciones industriales, este procedimiento presenta diversas ventajas, una de ellas es poder tratar el suelo sin necesidad de dañarlo ya que solo se necesita de la siembra y el cuidado de la planta (Núñez, 2022, pág. 20) además de eso, su proceso es de bajo costo para la recuperación de suelos que se encuentran afectados (Cifuentes & Novillo, 2017, pág. 70).

1.2. Problema general de la investigación

¿Cuál es el potencial de bioacumulación que posee la planta *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng para la remediación de suelos contaminados con Cr VI?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la capacidad fitorremediadora de la planta *Zantedeschia Aethiopica* en suelos contaminados con cromo VI

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar en que concentración se encuentra la DL50 al exponer la especie *Zantedeschia aethiopica* mediante las dosis 50, 100, 150, 200, 250 ppm de Cromo VI, a través de métodos modelados.

- Realizar pruebas estadísticas que permitan reconocer si los tratamientos a aplicar reflejan cambios significativos al combinarse con diferentes porcentajes de sustratos
- Determinar la cantidad de concentración de cromo VI en la planta y el suelo.

1.4. Justificación

El desarrollo de la presente investigación se centra en determinar la dosis letal (DL50) de la germinación de una especie y estimar concentraciones para proponer técnicas de fitorremediación de suelos contaminados con cromo (VI). Así mismo, el modelo matemático permitirá garantizar resultados confiables.

Es importante destacar que en este trabajo se llevará a cabo mediante bioensayos de una especie vegetal *Zantedeschia Aethiopica* con el propósito de identificar su potencial de fitorremediación, esta investigación se ejecutará en dos etapas: germinación y crecimiento, debido a que en estas etapas se dan cambios fisiológicos ya que la presencia del contaminante puede inferir en el desarrollo normal de la planta.

El propósito de este estudio es lograr impulsar a que investigaciones futuras, experimenten con dicha especie debido a que no existen suficientes fuentes bibliográficas que lo demuestren, con el fin de determinar posibles especies fitorremediadoras en suelos contaminados.

1.5. Hipótesis

La planta *Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng* tolerará altas concentraciones de Cromo (VI) presente en los suelos contaminados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La fitorremediación al ser uno de los procesos más usados para recuperar los suelos degradados a causa de metales pesados, ha sido un tema de investigación interesante, el cual ha tenido una gran acogida actualmente, y se han llevado a cabo varios estudios con diferentes contaminantes y a la vez con variedad de especies de plantas, la *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng es poco común estudiarla, sin embargo es importante conocer cómo actúan estos tóxicos por medio de las plantas, por lo que a continuación se dan a conocer estudios referentes al tema.

En la provincia de Pichincha, Ecuador se llevó a cabo una investigación en donde se realizó un proceso de fitorremediación en suelos contaminados por cromo VI, en el cual se hizo uso de la especie *Cucumis sativus* (pepinillo) sembrando sus semillas en macetas a distintas dosis del contaminante, el tiempo estimado para este trabajo fue 80 días, los primeros 30 días se obtuvo un porcentaje de bioacumulación alrededor del 38%, mientras que a los 60 días se obtuvo una disminución del 34%, finalmente el día 80 redujo aproximadamente un 31% del contaminante. En conclusión, la especie *Cucumis Sativus* (pepinillo) es considerada una especie que podría aportar en procesos fitorremediadores en el recurso suelo, por su gran potencial para reducir contaminantes. (Cifuentes & Novillo, 2017, pág. 76).

En el mencionado artículo: Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados se llevó a cabo el uso de seis plantas tales como: *Cenchrus ciliaris*, *Nicotiana tabacum*, *Ricinus communis*, *Sorghum sudanense*, *Brassica campestris* y *Helianthus annuus*, las mismas que fueron cultivadas en suelos con textura franco arenoso, el cual se encontraba contaminado artificialmente con Pb, en la ciudad de Nuevo León, México. Esta investigación se realizó en base a tres concentraciones como 0, 500 y 1000 mg de plomo, estimado que estas especies vegetales varían en su capacidad de acumular el contaminante en su interior y se considera que ninguna es hiperacumuladora de Pb, lo que significa que presentan baja tolerancia a la toxicidad por metales pesados (Rodríguez Ortiz, et al, 2006, pág. 243).

En la ciudad de Lima, Perú se realizó un proceso de fitorremediación mediante el empleo de cinco plantas altoandinas (*Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*) en suelos contaminados con Pb, Zn y Cd, este trabajo se llevó a cabo en

condiciones de un invernadero, aplicando sustratos al 0%, 30%, 60% y 100% del contaminante. Obteniendo como resultados que la planta *Fuertesilmalva echinata* tuvo una alta absorción de Pb y Zn a comparación del resto, mientras que la especie *Lupinus ballianus* acumuló gran cantidad de Cd en sus raíces, lo que hace que estas plantas sean fitoestabilizadoras (Peña, et al, 2014, pág. 152).

Mediante bioensayos se ha logrado conocer el desempeño que posee la especie *Leersia hexandra* para suelos contaminados por petróleo fresco e intemperizado, esta investigación se llevó a cabo en dos sitios, el primer lugar no presentó ningún contaminante debido a que se encontraba en las afueras de la actividad antrópica, el segundo sitio se caracteriza por altas concentraciones de hidrocarburos, en un lapso de tiempo de seis meses, y gracias al crecimiento y a la adaptabilidad de la especie es considerada hiperacumuladora debido a que permitió descontaminar concentraciones significativas de hidrocarburos (Arias, et al, 2016, pág. 25).

En los suelos agrícolas de Mantaro y Muqui del valle Mantaro, se llevaron a cabo dos tipos de procedimientos, en el primer estudio se utilizó únicamente a la especie *Zea mays L.* (Maíz), tendiendo como resultado efectos negativos con un rendimiento insignificante debido a que su desarrollo fue lento, mientras que en el segundo procedimiento se llegó a implementar un compost de Stevia junto al maíz con la finalidad de observar los cambios en los resultados, cabe mencionar que este último fue mucho más efectivo debido a que existió un gran porcentaje de absorción en cuanto a metales pesados (Pb y Cd) (Fitorremediación con Maíz (Munive, et al, 2018, pág. 558).

Para el caso de suelos contaminados por plomo en la Ciudad de Buenos Aires, se realizaron 24 bioensayos con suelo contaminado, y otros 3 bioensayos sin ningún tipo de contaminante, para esta investigación se trabajó con ayuda de la especie *Ricinus comunis L.*, cabe mencionar que en los suelos previamente contaminados se adicionaron tres ligandos (EDTA: ácido etilendiamin tetraacético; EDDS: S, S- N, N'- etilendiamin disuccínico; NTA: ácido nitrilo acético), en donde el EDTA fue el procedimiento más ventajoso y el que más ayudó a una fitoextracción del Pb. (Rendina, et al, 2014, pág. 77).

Para finalizar, en la parroquia Maldonado, ciudad de Riobamba, se desarrolló el bioensayo para determinar el efecto tóxico del cromo VI, durante 168 horas, en las etapas de germinación, crecimiento y bioconcentración en partes de la planta *Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng* (Lirio de agua), se llegaron a emplear cinco concentraciones de (0, 50, 100, 200 y 300) mg/ kg de cromo VI, durante 168 horas, en las etapas de germinación, crecimiento y bioconcentración en partes de la planta, como resultado en la primera etapa se demuestra que su nivel de toxicidad no varía, a

diferencia del proceso del crecimiento y bioconcentración en partes de la planta, como resultado en la primera etapa se demuestra que su nivel de toxicidad no varía, a diferencia del proceso de crecimiento de la planta en concentraciones de 200 y 300 mg/kg, se evidenció ausencia de floración y problemas para su desenvolvimiento, y es así que poco a poco la especie se fue marchitando por entrar en contacto con altas concentraciones del metal (Beltrán Dávalos, et al, 2019, pág. 96).

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Metales pesados

Aproximadamente a mitades del siglo XX, los metales pesados eran conocidos por su toxicidad, hasta que se produjo un incidente en Japón a causa del mercurio, desde entonces se toma a los metales pesados como elementos que requieren de atención cuando un individuo o entorno se encuentran expuestos. Se caracterizan ya que representan una densidad superior y con un número atómico mayor a 20, pudiendo mencionar (Al, Ag, Be, Cr, Cu, Mn, Co, Cr, Fe) algunos suelen ser esenciales para la cotidianidad del ser humano, siempre y cuando no sobrepasen los límites aceptables ya que al encontrarse en concentraciones relativamente altas provocan problemas severos en el ser humano y peor aún si se trata de un entorno natural (Avelar González, y et al, 2009, pág. 99).

La aparición de dichos elementos químicos se debe a la industria, la agricultura, minería y hasta desechos generados en el hogar, si estos no son gestionados como se debe puede ocasionar contaminación en los recursos naturales como el agua, suelo y aire, además tienden a bioacumularse en especies vegetativas y al ser consumidas por organismos, estos metales pesados pueden transferirse a través de la cadena trófica, pero este depende de acuerdo con el tipo de metal y a la cantidad expuesta.

2.2.2. Acumulación de metales pesados en el suelo

Se conoce que la contaminación de este recurso ocurre principalmente por prácticas industriales, mineras, ganaderas, agrícolas, transporte y emisiones de algunos gases, recalando que por medio de estas actividades se emanan contaminantes, lo cual es un problema ya que se produce una biomagnificación, en otras palabras, estos materiales son absorbidos por las plantas y así se incorporan a las cadenas alimenticias. También se volatilizan a la atmósfera y presentan la capacidad de desplazarse en medio de las aguas superficiales o subterráneas. Este problema es

preocupante pues se ha llegado a presenciar estos elementos químicos en productos de consumo humano (Aguirre Forero , et al, 2022, pág. 86).

De acuerdo con Chagas, (2018, pág. 7) alude que existe una erosión acelerada, la cual hace referencia a los efectos que causan las malas acciones por parte del hombre. Como tal esta contaminación desencadena la desertización y acidificación del recurso edáfico, de hecho, Junceda Moreno, (2002, pág. 426) resalta que, en España, se ha dictado una normativa colectiva en donde se ha plasmado que, debido a la degradación de la capa de ozono a causa de polución por metales, se han visto reacciones en las propiedades del suelo.

2.2.3. Elemento químico: cromo

Es un tipo de elemento químico que contienen un número atómico de 24, se encuentra disperso en la corteza terrestre, principalmente en las rocas donde se extrae para su uso en diversas actividades industriales como la producción de pigmentos, en la parte química, entre otras. Se puede mostrar en tres formas iónicas con valencia +2, +3, +6 (Cabrera Andrade, 2017, pág. 14).

El cromo trivalente presenta un estado de oxidación +3, el cromo ha perdido tres electrones y ha alcanzado una valencia positiva moderada. El Cromo (III) se encuentra comúnmente en compuestos como el cloruro de cromo (III) (CrCl_3), el sulfato de cromo (III) ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) y el óxido de cromo (III) (Cr_2O_3) (Duarte Palomera, 2008, pág. 54).

El cromo en fase oxidativa +6 es uno de los elementos que más se usan en los procesos industriales por lo general como para la producción de pigmentos, galvanoplastia, fabricación de tintas y en la industria química en general. También se utiliza en análisis químicos y pruebas para determinar la presencia de ciertos elementos o iones en muestras. El cromo (VI) se encuentra comúnmente en compuestos como el ácido crómico (H_2CrO_4) y los cromatos, como el cromato de sodio (Na_2CrO_4) y el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (World Health Organization, 1990, pág.25).

2.2.3.1. Propiedades fisicoquímicas del cromo

Este metal luce de un tono plateado, aunque sus compuestos muestran una variabilidad de colores diferentes. Además, posee una estructura dura y quebradiza. La Tabla 2-1 presenta propiedades físicoquímicas más significativas de cromo.

Tabla 2-1: Propiedades físicas y químicas del elemento químico (Cr)

Nombre	Cromo
Numero atómico	24
Valencia	2,3,4,5,6
Electronegatividad	1.6
Radio covalente (Å)	1.27
Radio iónico (Å)	0.69
Radio atómico (Å)	1.27
Configuración electrónica	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	6.80
Masa atómica (g/mol)	51.996
Densidad (g/ml)	7.19
Punto de ebullición (°C)	2665
Punto de fusión (°C)	1875
Descubridor	Vaughlin en 1797

Fuente: (Lenntech, 2021).

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

2.2.3.2. Estados de oxidación del cromo y como se estabiliza en el medio ambiente

El cromo se lo puede localizar en diferentes estados de oxidación tales como:

Tabla 2-2: Estados de oxidación del Cr

Estado de oxidación	Interacción con el entorno	Observación
Cr (0)	Inestable.	Se emplea en su mayoría en la producción de piezas de acero inoxidable y cromadas, debido a sus características de resistencia a la corrosión, solidez y dureza.
Cr (I)	Inestable.	No es habitual
Cr (II)	Puede experimentar oxidación a Cr ⁺³ , pero permanece estable únicamente en ausencia de un agente oxidante.	Activo en ausencia de oxígeno.
Cr (III)	Altamente fiable.	Se necesita de una cantidad significativa de energía para su oxidación.
Cr (IV)	No se halla resultado, salvo mediante la capacitación de intermediarios en reacciones redox.	Se encuentra como un material ferromagnético bien investigado
Cr (V)	Agentes fluctuantes.	Se lo puede apreciar durante el proceso de reducción
Cr (VI)	En entornos ácidos se produce una elevada capacidad de oxidación, que es inestable cuando hay la presencia de donadores de electrones.	Oxidante poderoso

Fuente: (Castañeda, 2023, pág. 8).

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

2.2.3.3. Cromo trivalente (Cr₃)

Como características importantes se tiene que el Cr (III), contiene iones con una carga eléctrica de +3 (estado de oxidación), conforma cationes con traslación débil por su actividad compleja en ambientes naturales, también presenta viscosidad baja debido a su bajo contenido del mismo Cr, en cuanto a la solubilidad se considera que es menos soluble que el Cr (VI), por lo que puede tener gran relación en tratamientos químicos de aguas residuales. La mayoría de los compuestos que contienen este metal tienden a exhibir un color entre verde y azul (Cuéllar, 2018, pág. 9).

Así como el cromo es conocido por ser un factor contaminante, también se lo conoce por ser importante en algunos ámbitos, como es el caso del cromo trivalente que es esencial para la vida de un ser vivo, cumpliendo una función sustancial en el proceso metabólico, siempre y cuando las cantidades sean moderadas (Ali, et al, 2019, pág. 111299).

2.2.3.4. Cromo hexavalente (Cr₄)

En cuanto al cromo hexavalente se pueden aprovechar ventajas frente a la corrosión, especialmente cuando es empleado en actividades de cromados, elaboración de piezas de acero, en curtido de pieles (Instituto Nacional de Cáncer, 2015) cuando se manipula este elemento hay que tener las precauciones adecuadas, ya que contiene iones metálicos con alta toxicidad, contienen propiedades insoboras e inoloras, en el cuerpo humano causa severos problemas de mutación y cáncer (Aquiye Morey, et al, 2020, pág. 15).

Es soluble en cuerpos hídricos y se disuelve en ácidos y bases, tiene la capacidad de aumentar sus electrones para pasar a ser cromo trivalente modificando las moléculas biológicas, obteniendo respuestas desagradables, tiende a ser de color naranja y amarillo, se puede encontrar naturalmente en erosiones, recursos edáficos y hasta en vegetales. Cuando el Cromo (+6) entra en contacto con el suelo y si este es ácido, puede llegar a transportarse a aguas subterráneas, si el suelo cuenta con alta cantidad de nutrientes llega a tolerar los compuestos químicos (Aquiye Morey, et al, 2020, pág. 16).

2.2.4. Usos del cromo

Generalmente este metal se ha empleado en el curtido de pieles, para la fabricación de cueros. Más del 95% del Cr no se usa en la industria del curtido, solo una pequeña parte es usada. Sin embargo, este metal es muy manipulado en la elaboración de acero inoxidable al igual que en

artículos cromados plateados, tomando en cuenta que puede haber riesgos de intoxicación si el contenido de Cr no se mide correctamente, también es usado para la conservación de la madera, fabricación de vidrios e incluso el Cr (III) permite el uso de su tinte verde para la tinta de tatuajes sin causar alergias y sin generar daños en la dermis (Tegtmeyer & Kleban, 2014).

En otros trabajos en donde este metal es protagonista es en trabajos de construcción de maquinaria pesada, y sobre este es emitido por prácticas de radioelectrónica y por plantas de energía eléctrica, especialmente en torres refrigerantes (Rodríguez Heredia, 2017, pág. 3374).

2.2.5. Fuentes de exposición

Hay propiedades metálicas que hacen que ciertos elementos químicos sean tóxicos, en particular se puede destacar la densidad, además la persistencia en un lugar definido por tiempo prolongado. Hay diversas fuentes de exposición naturales como artificiales, en las primeras la más común es cuando ocurre un proceso de formación de las capas de la tierra, y la emanación artificial se da por consecuencia de la industria, el acero y en el ámbito textil, pues en ciertas labores este metal es desprendido al medio (Rodríguez Heredia, 2017, pág. 3373).

Al cromo se lo puede hallar en alimentos contaminados a causa de su gran potencial de bioacumulación, ya que, al sembrar en un suelo contaminado, el tóxico se concentra en las plantas y por tal en el fruto. Otro riesgo de exposición a este metal es el humo de tabaco, afectando directamente al ser humano cuando se encuentra en espacios cerrados (ATSDR, 2012).

2.2.6. Contaminación ambiental por cromo

El cromo es un metal que puede tener varios efectos en el ambiente dependiendo de su forma y concentración. La liberación del cromo al suelo puede ocurrir por medio de vertidos de desechos industriales o aplicaciones de fertilizantes o pesticidas que contienen cromo. Esto puede conducir a la acumulación de cromo en el suelo, afectando la calidad de este y por otra parte la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Es importante resaltar que dicho metal puede lixiviarse en el suelo y contaminar las aguas subterráneas.

En el agua el cromo puede ser liberado a través de procesos industriales, descargas de aguas residuales sin previos tratamientos procedentes del obraje de pigmentos, colorante para el proceso de cuero (Silva & Salinas, 2022, pág. 69), incluso la deposición de desechos contaminados. Mientras que en el aire el cromo se libera al medio ambiente como material particulado debido al

resultado de procesos industriales como a la combustión de combustibles fósiles y quema de desechos. Estas emisiones pueden contribuir a la contaminación del aire y degradar su condición.

Generalmente la contaminación ocasionada se genera debido a que los xenobióticos no son debidamente tratados, estos se bioacumulan al igual que se transportan, lejos de su origen y como consecuencia se obtiene el deterioro ambiental y por tanto ataca a la salud humana, lo que complica a este proceso es que los tóxicos no puede desaparecer de forma autóctona por lo que se han buscado alternativas sostenibles (Castañeda, 2023, pág. 4).

2.2.7. Efectos del cromo en la salud

El cromo es un mineral esencial para el cuerpo humano, pero en cantidades bajas, como ya se mencionó antes, juega un papel destacado en el metabolismo de los carbohidratos y en la regularización de los niveles de glucosa. Para que se produzca algún efecto en la salud todo dependerá del grado de valencia que contenga el Cr. El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (INSST), O.A., M.P. (2018, pág. 496) describe que en el área industrial como del acero y textil el cromo (VI) es uno de los metales más peligrosos, su límite de exposición es de 52 µg/cm³, para la salud de las personas ya que pueden presentarse efectos adversos como:

- Problemas respiratorios
- Daño en los riñones e hígado
- Malestar estomacal
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón
- Debilidad del sistema inmunitario
- Cambios en la dermis (alergia e irritación)

La ATSDR (2012), describe que en animales puede afectar directamente al sistema digestivo, causando anemia y úlceras, además afecta a la reproducción de estos.

2.2.8. El cromo y su efecto en las plantas

Según diversos estudios se ha comprobado que este metal es dañino para las plantas, reduciendo su ciclo vital, pero también se ha informado que en algunas especies ha servido como un nutriente en concentraciones correctas. El cromo hexavalente es el más perjudicial ya que tiene el poder de introducirse en la membrana citoplasmática. Hay que tener en cuenta que no en todas las especies vegetales, este metal va a actuar de la misma manera (absorción, translocación). Cuando se trata del cromo trivalente, las raíces absorben por medio de un mecanismo llamado ósmosis en donde

el agua se distribuye igualitariamente para equilibrar la cantidad de sal tanto en la parte externa como interna, mientras que el proceso de absorción con el Cr (+6), sucede por medio de inhibidores metabólicos. Por lo general este tóxico se acumula en la radícula (por el proceso de ósmosis) ya que se inclina por las cargas negativas, pero de igual manera afecta a la parte aérea de la planta produciendo reducción en su crecimiento, clorosis en hojas nuevas y perjuicio en las raíces (de Oliveira & dos Santos, 2018, pág. 4).

2.2.9. Fitorremediación

La fitorremediación es una técnica usada en la remediación ambiental en donde se emplea plantas para eliminar, degradar o inmovilizar contaminantes presentes en el suelo, agua o aire. Es un enfoque basado en la capacidad natural de algunas plantas para absorber y metabolizar sustancias tóxicas o contaminantes, convirtiéndolos en formas menos dañinas o almacenándolos en sus tejidos (López, et al, 2022, pág. 19).

Para la fitocorrección se usan diferentes plantas ya que cumplen mecanismos diferentes según el contaminante, tienen la capacidad de absorber metales pesados, hidrocarburos, solventes orgánicos y otros contaminantes del suelo y agua a través de sus raíces, se lo denomina extracción, transformación y secuestro. Estas plantas pueden acumular los contaminantes en sus tejidos o transformarlos en compuestos menos tóxicos a través de procesos como la volatilización, la fitoestabilización o la fitodegradación (Shah & Achlesh, 2020, pág. 774). En la Figura 2-1, se observa los distintos mecanismos de fitocorrección, mientras que en la Tabla 2-3 se detallan cada uno de sus mecanismos.

Este método se utiliza en áreas contaminadas por actividades industriales, derrames de petróleo, vertederos, minas abandonadas y otros sitios contaminados. Puede ser una alternativa más sostenible y económica en comparación con otras técnicas de remediación, como la excavación y eliminación de suelos contaminados. Además, la fitorremediación puede tener beneficios adicionales, como la restauración de la vegetación y la mejora de la calidad del suelo y del agua (Tomalá Suárez, 2021, pág. 9).

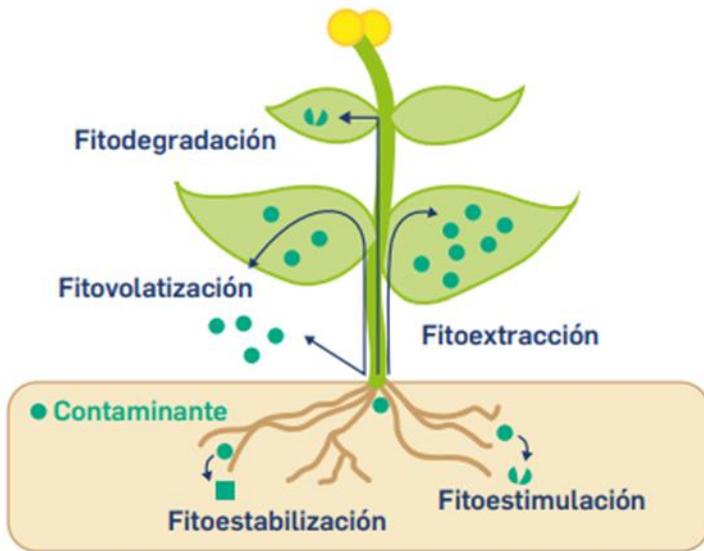


Ilustración 2-1: Representación de diferentes mecanismos de fitocorrección

Fuente: Montano, et al, 2022, pág. 4

2.2.9.1. Mecanismos de fitorremediación

Existen diversos mecanismos en las plantas que nos permiten diferenciar las técnicas fitorremediadoras. A continuación, se presentará una tabla con estas técnicas, frente a los procesos y el tipo de contaminación involucrado.

Tabla 2-3: Mecanismos de fitorremediación

Técnicas de fitorremediación	Proceso	Contaminación involucrada
Fitoextracción	Las plantas adsorben los contaminantes y lo acumulan en sus partes aéreas sin síntomas de envenenamiento.	Aguas y suelos contaminados con metales.
Fitoestabilización	Uso de plantas para inmovilizar los contaminantes en el suelo por medio de su adsorción y acumulación en su raíz	Lagunas contaminadas por residuos mineros, suelos y aguas subterráneas
Fitoestimulación	Las raíces de las plantas y sus comunidades microbianas asociadas transforman los contaminantes en la zona de sus raíces.	Suelos contaminados con metales o hidrocarburos y aguas residuales.
Fitodegradación	Este es el proceso mediante el cual las plantas absorben los contaminantes y lo metabolizan, convirtiéndolos en materiales que no representa ningún riesgo para el medio ambiente.	Agua subterránea en la rizosfera y el suelo.
Fitovolatilización	Las plantas capturan y alteran los contaminantes, o compuestos orgánicos, y los liberan a la atmósfera a través de la transpiración.	Suelo y aguas residuales.
Rizofiltración	Es el proceso en el que las raíces de las plantas se utilizan como filtro natural para eliminar contaminantes del suelo o aguas subterráneas.	Compuestos fenólicos, isótopos radiactivos y aguas contaminadas con metales pesados.

Fuente: (Montano, et al, pág. 9).

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

2.2.10. Proceso de acumulación de metales en las plantas

Existen plantas que son consideradas fitoacumuladoras o hiperacumuladoras, estas plantas tienen la capacidad de absorber y acumular metales pesados, en sus tejidos en concentraciones sumamente altas que las plantas comunes, esto puede ocurrir de forma natural en algunas especies vegetales o puede ser introducido por medio de técnicas de fitoextracción.

El proceso de acumulación de metales en las plantas implica varios pasos:

- **Captación:** las raíces de las plantas absorben los metales presentes en el suelo a través de sus raíces. La absorción depende de varios factores, como la disponibilidad de metales en el suelo y la capacidad de las raíces para captarlos (Morales Meza, 2020, pág. 8).
- **Transporte:** una vez que los metales son captados por las raíces, se genera un transporte que involucra diferentes procedimientos:
 - a) Movimiento dentro del xilema (tejido vascular de la planta como: tallo, hojas)
 - b) Movimiento en los brotes
 - c) Depósito, acumulación y finalmente la inmovilización (Baran, 2021, pág. 91).
- **Acumulación:** una vez que los metales alcanzan los tejidos aéreos, se acumulan en comportamientos especiales dentro de las células, como vacuolas. Estos comportamientos actúan como depósitos donde los metales se almacenan de manera segura para evitar daños a los tejidos vegetales (Llatance Oyarce, 2019, pág. 26).
- **Tolerancia:** algunas plantas tienen mecanismos de tolerancia a metales pesados, lo que les permite sobrevivir y crecer en presencia de altas concentraciones de metales.

2.2.11. Factor de bioconcentración

Para conocer cuánto ha acumulado la planta en su interior existen factores de concentración, con el fin de conocer los efectos que se dan en los órganos o tejidos diana, y uno de los que más destaca es el “Factor de Bioconcentración” o BCF por sus siglas en inglés (Bioconcentration Factor). *Bioconcentración* viene de la toxicología acuática y hace referencia a la acumulación desde el medio, mientras que *Bioacumulación* hace mención del contaminante dentro de un organismo. (Carrquiriborde, 2021, pág. 83)

Es un factor que ayuda a medir la capacidad que posee una planta para asimilar y transportar desde el suelo hasta sus partes aéreas (Factor de bioconcentración en la parte aérea, $BCF_{aérea}$) y en la raíz (Factor de bioconcentración radicular, $BCF_{raíz}$).

Para interpretar el factor de bioconcentración:

- Si $BCF < 1$, no presenta bioacumulación
- Si $1 > BCF > 10$, presenta acumulación intermedia.
- Si $BCF > 10$, alto potencial de bioacumulación.

Se recomienda usar plantas hiperacumuladoras, para obtener una extracción eficaz, pues el factor de bioconcentración es la relación de la concentración de elementos potencialmente tóxicos en el suelo y la concentración en el tejido vegetal o animal.

2.2.11.1. *Factor de translocación*

Se le conoce a la relación entre la concentración de elementos potencialmente tóxicos en la parte aérea de la planta respecto a la concentración del xenobiótico en la raíz (Montano, y et al, 2022, pág. 7). De esta manera se conoce si la planta moviliza el contaminante desde la parte radicular hacia la parte aérea y se lo interpreta de la siguiente manera:

- Si, el $FT > 1$, es eficiente en el transporte de metales

2.2.12. *Características de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng*

2.2.12.1. *Origen de la especie vegetal*

La *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng conocida también como lirio de agua, cala o cartucho, proviene de Sudáfrica (Zona del Cabo), ya que en estas zonas predominada el clima cálido, y donde haya gran cantidad de agua, pero a lo largo del tiempo se ha ido cultivando en distintas partes del mundo como Ecuador, Colombia, Perú, México hasta en Norteamérica y Europa, por la belleza ornamental inigualable que esta presenta. Su nombre “Cala” que significa “*Kalos= bonito*”, el cual fue dado por el británico alemán *Kurt Sprengel*. (Macías Esquivel, 2017, pág. 6). Aunque también se conoce que fue descubierta por *Giovanni Zantedeschi* (1773-1846) quien fue un gran botánico en Venecia, y en el año de 1825 aproximadamente, *Francesco Zamtedeschia*, redactó información importante acerca de esta especie. (Magazine online, 2021).

2.2.12.2. *Taxonomía de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng*

Particularmente las plantas de la Araceae presentan hojas de tamaño considerable, pueden ser de origen terrestre o acuáticas flotantes, en este caso la *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng es una planta semiacuática, crecen más vistosas cuando lo hacen en espacios sombríos y húmedos. Hasta la actualidad se han identificado cerca de siete especies y dos subespecies (Villegas Tapia, 2021, pág. 25). En la Tabla 2-4, se encuentra detallada puntos importante de la taxonomía de esta especie.

Tabla 2-4: Taxonomía de la especie vegetal

Reino	Plantae (Vegetal)
División	Magnoliophyta
Superdivisión	Espermatophyta
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Liliopsida (Monocotiledóneas)
Subclase	Aracidae
Orden	Arales
Familia	Araceae
Subfamilia	Philodendroideae
Tribu	Zantedeschieae
Epíteto genérico	<i>Zantedeschia</i>
Epíteto específico	<i>Aethiopica</i>
Nombre científico	<i>Zantedeschia Aethiopica</i>
Nombre común	Alcatraz, cartucho blanco o criollo, calla Lily, Lirio de agua

Fuente: (Villegas Tapia, 2021, pág. 25; Viana Caicedo, 2015, pág 13).

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K.,2023.

2.2.12.3. *Morfología de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng*

El cartucho pertenece a las plantas perennes, lo que significa que permanece con vida durante unos cuantos años, puede llegar a medir hasta 1.50 m de altura, contiene un rizoma (tallo) que da paso a él origen de hojas y a su inflorescencia, a continuación, se presenta características morfológicas de la planta:

- **Raíz:** generalmente forman un bulbo, presentan gran ramificación de color blanco y con un grosor considerable.
- **Tallo:** del cual se originan las hojas, aparecen los primeros gracias a yemas, dando paso a tallos secundarios y terciarios.
- **Hojas:** sus hojas pueden alcanzar 40 cm de longitud y de 5 hasta 25 cm de ancho, de acuerdo con su variación de especies, algunas hojas muestran manchas blancas, su forma es acorazonada, y son brillantes. (Villegas Tapia, 2021, pág. 27).
- **Flores:** se aprecia una espata que es la parte donde recubre un espádice, hay flores femeninas y masculinas, denominadas pistiladas y estaminadas respectivamente.
- **Semilla:** se las puede encontrar por medio de semilla o división de tubérculos, en la parte donde se forman las flores se llegan a formar cápsulas o bayas de semillas. (Macías Esquivel, 2017, pág. 30).

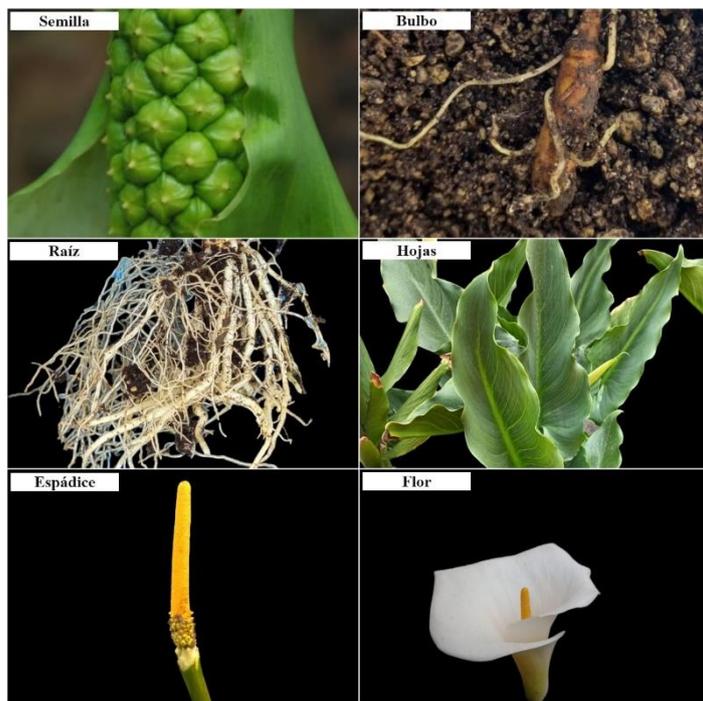


Ilustración 2-2: Morfología de *Zantedeschia Aethiopica*

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña., 2023.

2.2.12.4. Descripción botánica

La *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng es una planta acuática perenne con rizomas y tallos carnosos que se desarrolló en suelos altamente fértiles y bien drenados. Su distintiva flor blanca, conocida como espata, alberga en su interior y es de color amarillo, el cual contiene numerosas flores diminutas en espiral. Sus hojas son grandes en forma de punta de flecha que aumenta su tamaño cuando se cultiva en áreas con sombra. Una de sus adaptaciones en entornos húmedos es la capacidad de liberar el exceso de agua a través de sus estomas en un proceso llamado guttación (Szuman, et al, 2020, pág. 303).

2.2.12.5. Reproducción

Se reproduce principalmente por divisiones de rizomas o bulbos, siendo este método más común y efectivo para obtener clones idénticos a la planta madre. Dentro de la fase de reproducción se puede observar que desde la semana 6 hasta aproximadamente la semana 12 comienza el desarrollo de los tallos florales, y este desarrollo varía según la especie y el tamaño de los bulbos. Los cartuchos con flores blancas y rojas presentan mayor cantidad de tallos florales, mientras que las que contiene otro color como amarillo y naranjas sus tallos tienen menor cantidad (La Torre Ponce, 2022, pág. 9).

Por otra parte, es más factible reproducirlas mediante semillas, este procedimiento puede ser más lento y menos empleado debido al tiempo que tardan las semillas en germinar y alcanzar la floración (Espinosa Flores, et al, 2012, pág. 13).

2.2.12.6. *Distribución*

Dicha especie tiene origen en los húmedos pantanos ubicados en el sur de África, especialmente en zonas que abarcan desde las áreas cercanas de Ecuador hasta llegar al Cabo de Buena Esperanza (Viana Caicedo, 2015, pág. 12).

Según Szuman, y otros (2020, pág. 303) dicen que su presencia abarca también en toda Sudáfrica, desde el Cabo Occidental hasta el Cabo Oriental, desde KwaZulu. - Natal hasta Mpumalanga y la Provincia Septentrional.

2.2.12.7. *Uso de la Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng*

Es una planta ornamental, idónea para áreas verdes y paisajes, se las puede ubicar de manera individual o en conjuntos, en bordes de cuerpos de agua, así como en macetas; su versatilidad permite su inclusión en composiciones florales y arreglos decorativos.

En el área medicinal, se emplean las hojas limpias, se calientan y se aplican como apósitos para heridas, quemaduras, picaduras de insectos y plagas. Así, mismo, esta planta al ser hervida se consume mezclando con miel o jarabe para tratar asma y bronquitis (Szuman, et al, 2020, pág. 3).

En Ecuador se emplea un extracto derivado de los rizomas en baños para el cuidado de la piel. Además, las hojas se usan en cataplasmas como recurso analgésico y para dolores de cabeza (Delucchi & Hurrell, 2008, pág. 65).

Por otra parte, esta especie vegetal es tóxica, debido a la presencia de oxalato de calcio en su composición. Los rizomas, luego de ser hervidos son aprovechados como alimento para cerdos.

2.2.12.8. *Ciclo de vida*

Es una planta de larga duración, su ciclo de vida a partir de semillas germinadas bajo condiciones óptimas. Durante su crecimiento vegetativo, desarrolla hojas verdes en forma de flecha. Al

alcanzar la madurez, la planta florece optando una forma de espata, es decir una hoja amplia que rodea o envuelve a la flor central (Oliver, 2019).

Mostrando varios colores como blanco, amarillo, rosado o tonos oscuros. Tras la floración se generan frutos como semillas que pueden ser usados para cultivar nuevas plantas. Esta planta puede durar años, manteniendo un ciclo continuo de crecimiento, siempre y cuando exista condiciones ambientales adecuadas.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Nivel de la investigación

La investigación presentada a continuación es de tipo descriptiva ya que se analiza la capacidad fitorremediadora de la *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng en suelos contaminados con cromo hexavalente observando sus efectos en cada una de sus etapas: germinación y crecimiento.

3.1.2. Enfoque de la investigación

Se empleó un enfoque mixto al combinar distintas fases de la investigación tanto método cualitativo como cuantitativos lo que permitió abordar de manera más precisa y exhaustiva el estudio desde distintos ángulos.

3.2. Diseño de la investigación

Este proyecto es de carácter experimental, en donde se aplicará un Diseño de Bloques Aleatorizados no balanceado, esta característica se designó debido a que el número de tratamientos no es igual al número de combinaciones, teniendo como factor la especie *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng.

Se tiene un total de seis tratamientos que hacen referencia a las dosis de cromo hexavalente (50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm y 250 ppm), mientras que las combinaciones representan el porcentaje que contiene el suelo, tanto de materia orgánica como de cascajo, es importante señalar que por cada combinación se designaron diez repeticiones, es decir que por cada tratamiento hay treinta macetas, obteniendo un total de 180 unidades experimentales.

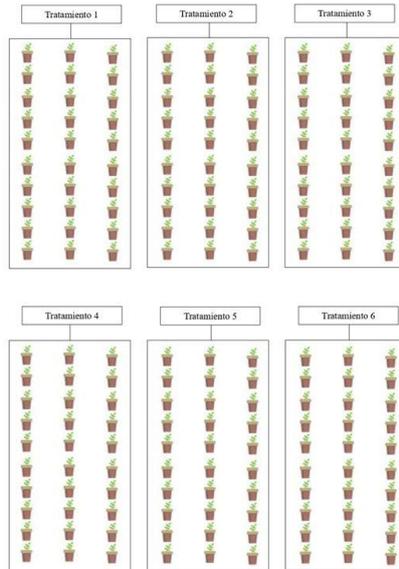


Ilustración 3-1: Distribución de tratamientos del estudio

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña., 2023.

3.3. Identificación de las variables

Tabla 3-1: Variables de la investigación

Independiente	Concepto: se refiere a las dosis implantadas con dicromato de potasio.
Cromo (VI) presente en suelos contaminados.	
Dependiente	Concepto: Corresponde a una planta Arácea con aspectos fitorremediadoras.
<i>Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng</i> con características fitorremediadoras.	

Realizado por: Núñez., N.; Tipantuña., K., 2023.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de dicha investigación está compuesta por el total de semillas expuestas al contaminante (Cromo VI).

3.4.2. Elección de la muestra

Se llevó a cabo una selección de muestra no probabilística, haciendo énfasis la técnica de muestreo por conveniencia, por motivo a que no se siguió un proceso aleatorio para la selección de la población, sino que se eligió de manera cualitativa.

3.4.3. Muestra

Se consideró una muestra de treinta semillas por cada nivel determinado, llegando a un total de 180 semillas.

3.4.4. Tamaño de la muestra

3.4.4.1. Etapa de germinación

La fase inicial del estudio abarca el proceso de germinación por lo que la siembra fue llevada a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la Ilustración 3-2, el cual consiste en de diez tratamientos por cada concentración:

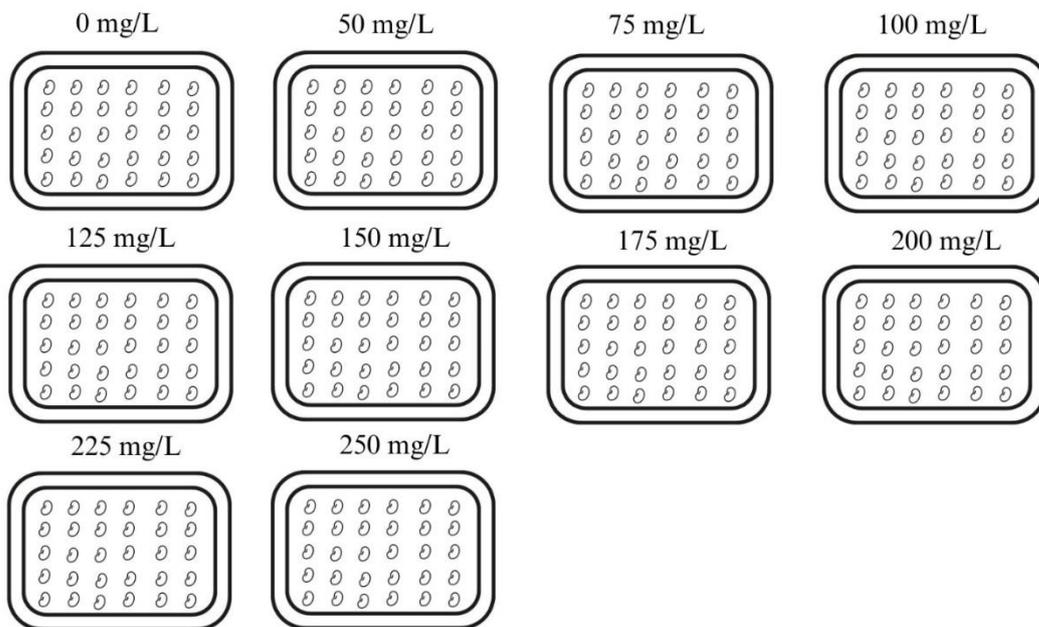


Ilustración 3-2: Protocolo de siembra

Realizado por: Núñez., N.; Tipantuña., K., 2023.

3.4.4.2. Etapa de crecimiento

En esta fase se tomó en cuenta diez repeticiones por cada nivel de sustrato, siendo así un total de treinta repeticiones de cada concentración, teniendo un total de 180 unidades experimentales, las

cuales fueron sometidas a condiciones debidamente controladas en especial la temperatura que osciló entre 8 a 39 °C aproximadamente.

3.5. Técnicas e instrumentos

3.5.1.1. Bitácora

Para la recolección de datos, se usó una bitácora con el fin de llevar un registro y un seguimiento de información detallada en diferentes fechas para observar su crecimiento, comportamiento, cambios relevantes que sufrió la planta, además datos meteorológicos del entorno. Esta herramienta fue usada durante todo el tiempo experimental.

3.5.1.2. Instrumentos

- Data Logger (Elitech) para datos meteorológicos como: temperatura y humedad.
- Cámara fotográfica
- Pie de Rey

3.6. Localización de la investigación

Para este proyecto se ejecutó en un invernadero subterráneo, al que se le denomina “Wallipini”, el mismo que se edificó en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Facultad de Ciencias, con una latitud de 1°39'18.23"S, una longitud de 78°40'39.82"O, y una altitud de 1760.19 m.



Ilustración 3-3: Ubicación del invernadero

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

3.7. Duración de la investigación

El desarrollo experimental de las especies vegetales tuvo un tiempo estimado de 110 días, teniendo en cuenta que se inició en la última semana del mes de julio hasta comienzos del mes de noviembre.

3.8. Fase experimental

3.8.1. Identificación de la especie

El género *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng spp, forma parte de la familia Araceae, esta familia en la actualidad se conoce que cuenta con 117 género y 8106 especies aproximadamente, dichas especies predominan en territorios tropicales y a la vez en zonas terrestres y epífitas, considerándoles como plantas ornamentales herbáceas (Siebra, et al, 2022, pág. 6) El género más comercializado de esta familia es la *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng, conocida como *cartucho*, especialmente en el territorio ecuatoriano. En varios estudios el uso de plantas ornamentales ha favorecido en los últimos tiempos. Existen ventajas al emplearlas, ya que promueven e incentivan el turismo en zonas de recuperación, puesto que su encanto estético embellece áreas turísticas y a la vez el dinero que se genera es invertido en monitoreos y manteamientos de las zonas (Rocha, et al, 2022, pág. 3336).

Otra ventaja que se puede destacar es que su desarrollo se genera en poco tiempo, y de esta manera permite que su evaluación sea más fácil, y así logrando observar los daños causados por el contaminante (Pajoy, 2017, pág. 43).

3.8.2. Etapa I: Germinación

3.8.2.1. Preparación de solución madre de dicromato de potasio

Con el propósito de hidratar las semillas, se prepararon varias concentraciones de cromo VI, llevando a cabo el siguiente proceso:

1. En esta etapa se consideraron diez concentraciones, dado que para aplicar el método Probit se necesita al menos diez soluciones, para lo cual se preparó una solución madre de 500 ml de dicromato de potasio.



Ilustración 3-4: Preparación de solución madre

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

2. Para la distribución de las disoluciones se partió de una solución madre para cada tratamiento, la misma que fue obtenida a partir de la siguiente ecuación:

$$10000 \frac{mg Cr}{L} * \frac{1g Cr}{1000mg Cr} * \frac{294,185g}{103,99g Cr} * 0,5 L = 14,15 g K_2Cr_2O_7$$

3. En la Tabla 3-2, se colocaron las disoluciones, que se obtuvieron por medio de la fórmula descrita a continuación:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Donde:

C_1 = Concentración inicial

C_2 = Concentración final

V_1 = Volumen inicial

V_2 = Volumen final

Tabla 3-2: Distribución de volumen de Cr (VI)

N° Solución	Concentración mg/L	Volumen (ml $K_2Cr_2O_7$)	Volumen (ml Agua)
1	0	0	50
2	50	0,25	50
3	75	0,375	50
4	100	0,5	50
5	125	0,625	50
5	150	0,75	50
7	175	0,875	50
8	200	1	50
9	225	1,125	50
10	250	1,25	50

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.



Ilustración 3-5: Riego con Dicromato de potasio en cada una de las bandejas de aluminio

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

4. El riego para cada tratamiento fue de manera diaria, aplicando un total de 7,15 ml.
5. Se etiquetaron en botellas ámbar las siguientes concentraciones: 0ppm, 50ppm, 75 ppm, 100ppm, 125ppm, 150ppm, 175ppm, 200ppm, 225ppm y 250ppm. Estas concentraciones de cromo se usaron para el riego en la primera etapa de la especie vegetal antes mencionada.



Ilustración 3-6: Distintas concentraciones de cromo VI

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

3.8.2.2. Elaboración de lechos

La función principal de un lecho es servir como espacio para el desarrollo adecuado de la semilla, para la construcción de las camas se procedió de la siguiente manera:

- Se colocaron las semillas en bandejas de aluminio (debido a que se requiere gran cantidad de semillas, treinta por bandeja), con dimensiones de 21*13 pulgadas, las cuales portan papel absorbente y algodón con el fin de retener la humedad, brindar un entorno suave y proteger la semilla.
- Se obtuvo un total de diez bandejas, nueve de ellas contienen el contaminante, mientras que la restante representa el testigo.



Ilustración 3-7: Semillas a germinar

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

- Las bandejas fueron colocadas en la incubadora a 25 °C, en donde permanecieron por siete días consecutivos.



Ilustración 3-8: Bandejas de aluminio ubicadas en la incubadora a 25 °C

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

3.8.3. Etapa II: Crecimiento

3.8.3.1. Preparación de medios físicos

Hábitat

Se construyó una infraestructura que permitió mantener el control de factores meteorológicos como la humedad, la temperatura y además la protección de agentes externos que sean perjudiciales para el experimento.



Ilustración 3-9: a) Estructura; b) Invernadero terminado

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

En la Tabla 3-3 se presentan los datos meteorológicos que se recolectaron durante el tiempo de experimentación de la etapa II, que fueron tomados mediante un Data Logger (Elitech). Resaltando que los parámetros analizados fueron tomados durante tres horarios diarios: 7am, 12pm y 5pm, para ello se realizó un promedio de dichos valores, obteniendo un solo resultado semanalmente, en la Ilustración 3-10 se puede observar de mejor manera el comportamiento que presentó tanto la temperatura como la humedad.

Tabla 3-3: Parámetros meteorológicos

Parámetro	Máximo	Mínimo	Medio
Temperatura	39,3 °C	8 °C	24,3 °C
Humedad	89%	60%	76%

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

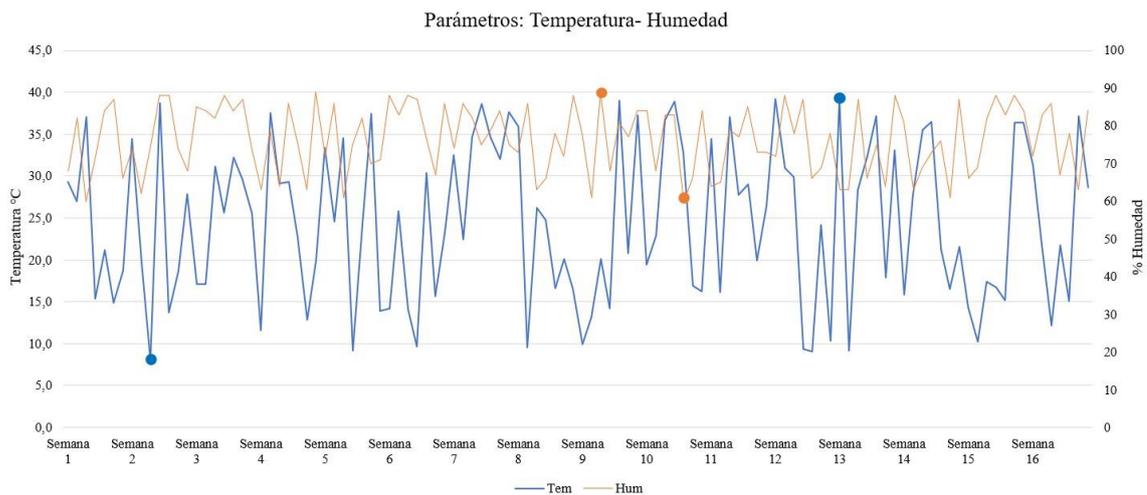


Ilustración 3-10: Gráfico de temperatura y humedad.

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Suelo

Para la preparación del suelo se combinaron dos sustratos el primero consta de materia orgánica (Floragard) que fue adquirida en un centro agrícola por los nutrientes que proporcionan a las plantas, el cascajo como segundo sustrato fue obtenido de la misma forma, comercial. Se realizó una mezcla general de los dos productos para después ser distribuido con las mismas proporciones a cada una de las macetas.

Floragard es un sustrato que es muy útil en el campo de la jardinería, que está compuesto principalmente por cal, nitrógeno, fósforo y potasio, así mismo contiene los oligoelementos indispensables para el desarrollo de una planta. Su principal materia prima es la turba (descomposición de vegetales) la cual aporta a una excelente aireación y por tal a la retención del agua, en la Tabla 3-4 se pueden observar las propiedades químicas de este sustrato:

Tabla 3-4: Propiedades químicas del sustrato Floragard

Parámetro	Propiedades químicas
CaCl ₂ (pH)	5,6
Salinidad (g/l)	1,2
N (CaCl ₂) (mg/l)	210
P ₂ O ₅ (Cal) (mg/l)	120
K ₂ O (Cal) (mg/l)	260

Fuente: (Gerthard, et al, 2021)

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Por otro lado, el cascajo proviene de la piedra pómez, tiene una estructura ligera y porosa, contribuye a una aireación mejorada, retiene la humedad y brinda nutrientes especiales para la planta, generalmente es usado como colchón de drenaje. (Jardines, s.f.,).

Tabla 3-5: Distribución de sustratos en cada maceta

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
Materia orgánica	Cascajo	Materia orgánica	Cascajo	Materia orgánica	Cascajo
75%	25%	50%	50%	25%	75%
122,61 g	90,294 g	81,974 g	180, 589 g	40,987 g	270,884 g
Valor unitario: 212,904 g		Valor unitario: 262, 563 g		Valor unitario: 311,871 g	
Valor total: 2129.04 g		Valor total: 2625,63 g		Valor total: 3118,71 g	

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.



Ilustración 3-11: Pesaje de suelo

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Cabe mencionar que en la Tabla 3-5 el valor unitario hace referencia al contenido de la unión de sustratos que presenta una sola maceta, mientras que el valor total refleja el peso por las diez macetas en cada repetición, así que se tomó la decisión de unificar el contenido de las diez macetas para contaminarlo con su respectiva concentración.

Posteriormente se realizó la aplicación de 50, 100, 150, 200 y 250 ppm de cromo hexavalente por cada maceta, de acuerdo con los tratamientos, y por medio de revisión bibliográfica se dejó reposar el suelo 15 días, removiendo de manera constante para una mejor adherencia del contaminante.

3.8.3.2. Procedimiento de bioensayos para el desarrollo de germinación

Siembra

Para la siembra de las semillas germinadas, se hace uso de materia orgánica (Flora Gard) con el fin de que ésta aporte nutrientes esenciales a la planta, y se realizó una mezcla con cascajo para que ayude a la retención del agua. Se plantearon seis tratamientos, con treinta repeticiones cada uno, haciendo hincapié que hay diez réplicas, de cada una de las tres combinaciones en diferente porcentaje:

Tabla 3-6: Descripción de tratamientos

N° Réplica	Combinación	Repetición	Tratamientos
Rep 1	Materia orgánica: 75% Cascajo: 25 %	10	<ul style="list-style-type: none">• Blanco• 50 ppm• 100 ppm• 150 ppm• 200 ppm• 250 ppm
Rep 2	Materia orgánica: 50% Cascajo: 50 %	10	
Rep 3	Materia orgánica: 25% Cascajo: 75 %	10	

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Se colocó una semilla en cada recipiente obteniendo así 180 unidades experimentales, las macetas fueron almacenadas en el wallipini ya que mantiene una temperatura y humedad constante.



Ilustración 3-12: Siembra de semilla

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Riego

El riego se hizo durante tres días por semana, con el propósito de no saturar el suelo y de esta manera conservar la humedad adecuada para su desarrollo.

Control de malezas

La existencia de maleza produce cambios desfavorables hacia las plantas y para ello se llevó a cabo la limpieza de las plantas con el fin de disminuir su estrés.

3.9. Método de determinación de cromo hexavalente en el suelo

El método aplicado para la determinación de cromo hexavalente en el suelo es el Método colorimétrico (3500- Cr CROMO).

3.9.1. Equipos y materiales

- Balanza digital
- Estufa
- Mufla
- Agitador magnético
- pH metro
- Desecador
- Espectrofotómetro visibles UV- VIS

3.9.2. Reactivos

- Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Carbonato de Sodio (Na_2CO_3)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Fosfato de Potasio Dibásico (K_2HPO_4)
- Fosfato de Potasio (KH_2PO_4)
- Cloruro de Magnesio ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)
- Ácido Nítrico (HNO_3)
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- 1,5-Difenilcarbazida
- Acetona (CH_3COCH_3)

En la Ilustración 3-8 se describe con exactitud la determinación de cromo hexavalente en el suelo, por medio de un diagrama de flujo

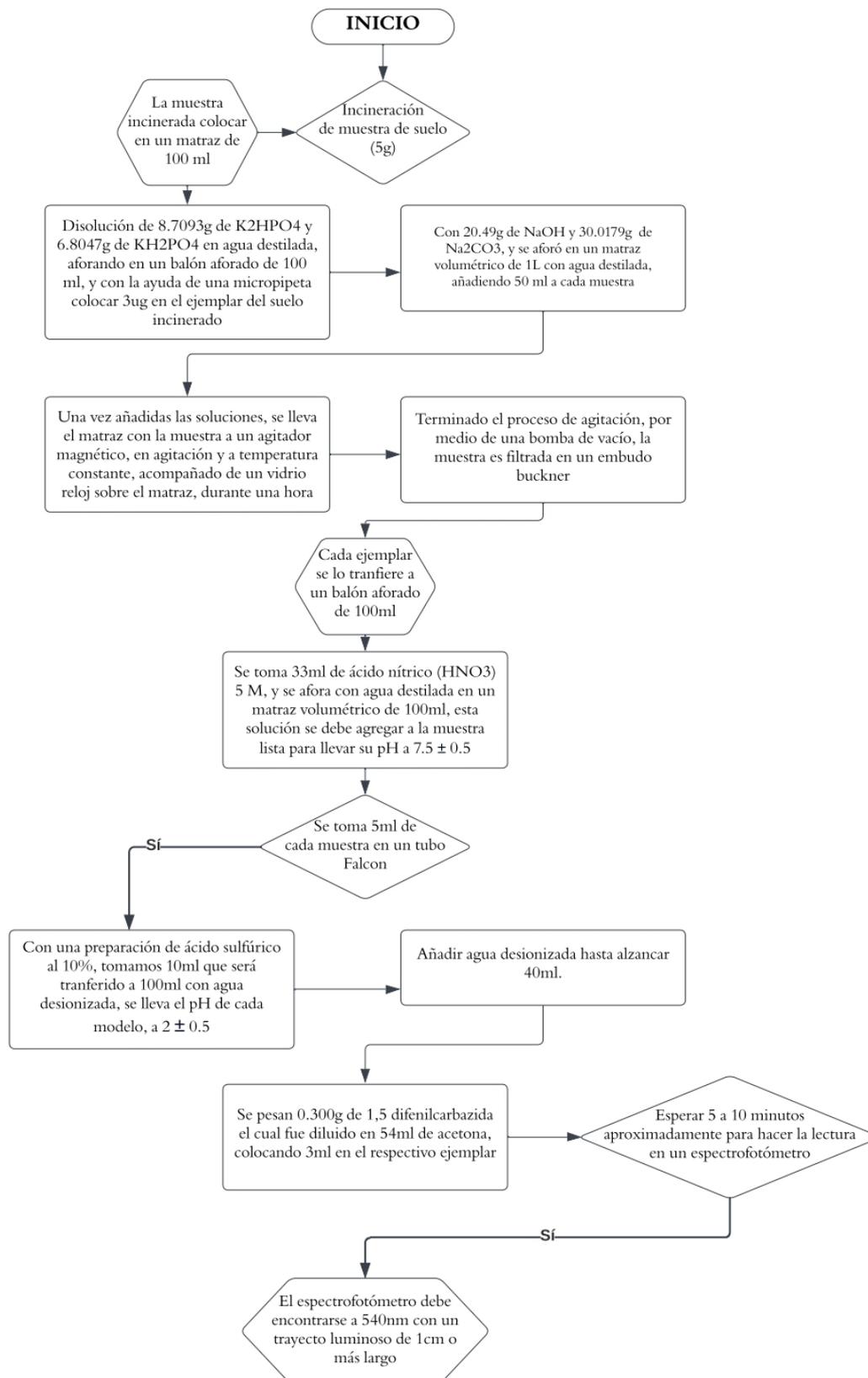


Ilustración 3-13: Diagrama de flujo de determinación de Cr (VI) en el suelo

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

3.9.2.1. Preparación de patrones y blancos

Para la preparación de los estándares se partió de una solución madre de 500 ml, la cual fue previamente distribuida en ocho balones aforados de 25 ml. Se reguló su pH con ácido sulfúrico hasta llegar a valores entre 1 y 1,5 luego se agregó 2 ml de solución de difenilcarbazida en cada estándar, contando con un blanco.

Según la concentración de cromo hexavalente y el volumen, se los identificó como 0,5; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14, correspondiendo 0,5 al menor valor y el 14 al mayor valor. Para su lectura se utilizó el Espectrofotómetro UV- VIS a una longitud de onda de 540 nm, conjunto a una celda de 1 cm.

Tabla 3-7: Preparación de estándares de cromo hexavalente

Solución de Cr +6	Concentración de curva de calibración (mg/L)
0,5	0.083
2	0.278
4	0.578
6	0.895
8	1.222
10	1.520
12	1.824
14	2.093

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.



Ilustración 3-14: Preparación de estándares

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023

3.10. Determinación en Cr (+6) en la especie vegetal

Se utilizó el método de Vía Seca (Vilca, 2022, pág.23) con la finalidad de analizar el cromo hexavalente presente en la planta. El procedimiento se encuentra descrito en la Ilustración 3-15, cabe mencionar que este proceso es semejante a la Ilustración 3-13.

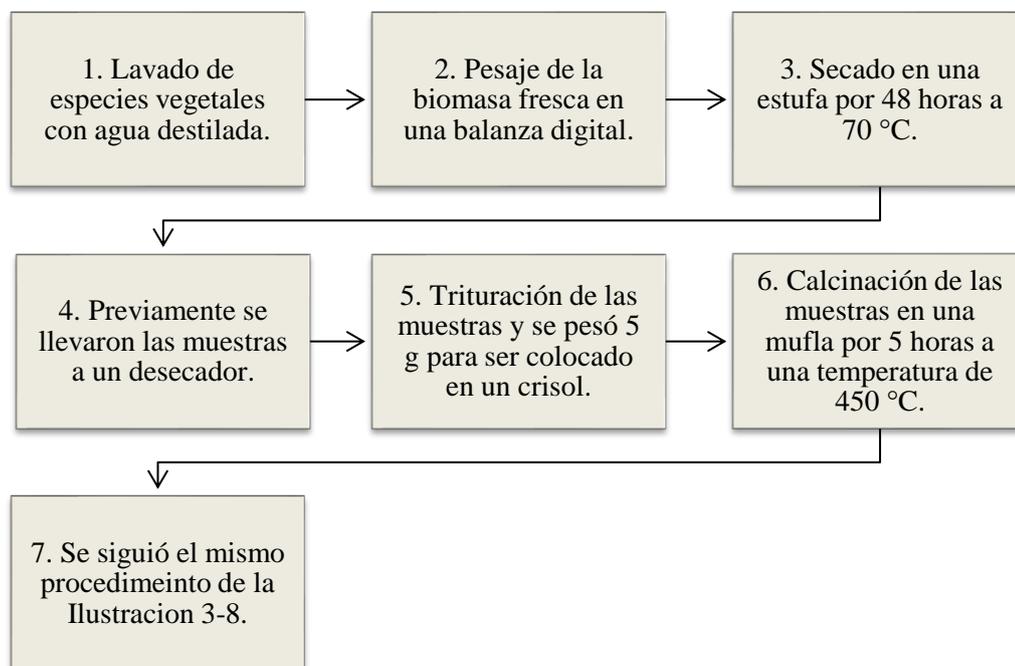


Ilustración 3-15: Procedimiento de análisis de Cr (+6) en plantas

Fuente: Vilca, 2022, pág. 23

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

3.11. Cálculos y resultados del experimento

3.11.1. Cálculos y análisis de resultados de la etapa I

Gualli, et al, (2017, pág. 28) mencionan que para la interpretación estadística en esta etapa se recurrió a información de varias investigaciones, para ello se llegó a usar tres fórmulas que nos indican lo siguiente:

- Porcentaje de germinación relativa de semillas (%GR)
- Porcentaje de crecimiento relativo de la raíz (%ER)
- Índice de germinación (IG)

3.11.1.1. *Porcentaje de germinación relativa (%GR)*

$$\%GR = \left(\frac{n_{GC}}{n_{GP}} \right) * 100$$

Representando:

%GR= Porcentaje de Germinación

n_{GC}= Número de semillas germinadas en la solución contaminante

n_{GP}= Número de semillas germinadas en agua sin contaminante (Blanco)

3.11.1.2. *Porcentaje de crecimiento relativo de la raíz (%ER)*

$$\%ER = \left(\frac{l_{rp}}{l_{rc}} \right) * 100$$

Representando:

%ER= Porcentaje de elongación de la raíz

l_{rp}= longitud de la raíz en la solución contaminante

l_{rc}= longitud de la raíz en agua sin contaminante (Blanco)

3.11.1.3. *Índice de germinación (IG)*

$$IG = \left(\frac{\%GR * \%ER}{100} \right)$$

Representando:

IG= Índice de germinación

%GR= Porcentaje de germinación

%ER= Porcentaje de elongación de la raíz

Los datos recopilados en esta fase fueron realizados con la ecuación ya mencionada y se examinó el efecto nocivo del cromo hexavalente usando el índice de germinación según el enfoque establecido por Emino & Warman (2013, pág. 342) en la Tabla 3-8:

Tabla 3-8: Índice de germinación

Índice de germinación	Porcentaje
No indica fitotoxicidad	>82 %
Fitotoxicidad moderada	80- 50%
Indica Alta fitotoxicidad	< 50 %

Fuente: (Everett & Phil, 2013, pág. 342).

En la primera columna describe el criterio cualitativo empleado por Emino & Warman, para clasificar los niveles de porcentaje en tres categorías: alta, media y ausencia de toxicidad. Mientras que la segunda columna refleja el porcentaje del índice de germinación según la evaluación de los autores.

3.11.2. Estimación de dosis letal

Para conseguir la dosis letal (DL50) se recurrió a partir de los datos obtenidos en las pruebas de toxicidad y se llegó a aplicar dos métodos para adquirir los resultados deseados.

3.11.2.1. Regresión Probit

Para determinar la DL50 se lo hizo por el Método Probit, donde se requiere de un cálculo que parte de la variable independiente a partir de una variable dependiente, se sabe que la relación dosis-efecto va a ser lineal, cuando la variable dependiente se coloca en el eje Y, y la concentración del xenobiótico en el eje X (Variable dependiente), con el fin de conocer la dosis letal (Martínez, et al, 2009, pág 194).

3.11.2.2. Red Muench

El método Red Muench es un enfoque bastante simple que se lleva a cabo usando técnicas ya sean gráficas o aritméticas. Implica el uso de valores acumulativos y cálculos específicos basados en los porcentajes cercanos al 50% de letalidad o mortalidad. Consiste en calcular la distancia proporcional entre el porcentaje de letalidad y las dosis adyacentes en donde se alcanza el 50% de mortalidad (Moyano, et al, 2021, pág. 27).

3.11.3. Cálculos y resultados de la etapa II

3.11.3.1. Factor de Bioconcentración (FBC)

Como lo plantean Clemente y otros (2021, pág 165) el Factor de Bioconcentración muestra el potencial de acumulación del xenobiótico en los órganos vegetativos de la planta y se calcula de la siguiente manera:

$$FBC = \left(\frac{C_{aérea \text{ o raíz}}}{C_{suelo}} \right) (4)$$

Representando:

FBC= Factor de bioconcentración

$C_{aéreo \text{ o raíz}}$ = Concentración del contaminante en la parte aérea de la planta (Tallo, hojas, inflorescencia) o raíz.

C_{suelo} = Concentración del contaminante en el suelo.

Tabla 3-9: Interpretación del factor de bioconcentración

Bioconcentración	Interpretación
$BCF < 1$	No presenta bioacumulación
$1 > BCF > 10$	Presenta acumulación media
$BCF > 10$	Alto potencial de bioacumulación

Fuente: (Ayala, et al, 2017, pág.165)

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

3.11.3.2. Eficiencia en la remoción del metal

Castañeda (2023, pág. 35) establece que para determinar la remoción del metal de una manera eficiente se utilizará la siguiente ecuación:

$$Remoción (\%) = \left(\frac{(C_i - C_f) * 100}{C_i} \right)$$

Representando:

C_i = Concentración inicial del metal en solución teniendo en cuenta el blanco leído.

C_f = es la concentración final del cromo hexavalente.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Etapa I: Germinación

4.1.1. Porcentaje de Germinación Relativo (%GR)

El porcentaje de Germinación Relativo se calculó a los siete días desde el comienzo del experimento, considerando cada tratamiento de las distintas concentraciones de cromo. Estos resultados se muestran en la Tabla 4-1:

Tabla 4-1: Porcentaje de Germinación Relativo

N° Tratamiento	Dosis	Semillas germinadas	%GR
1	Blanco	27	100%
2	50 ppm	18	66,7%
3	75 ppm	15	55,6 %
4	100 ppm	12	44,4 %
5	125 ppm	9	33,3 %
6	150 ppm	7	25,9 %
7	175 ppm	3	11,1 %
8	200 ppm	1	3,7 %
9	225 ppm	1	3,7 %
10	250 ppm	0	0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Cada uno de los valores de %GR representados en la Tabla 4-1 muestran la eficiencia relativa de las diferentes dosis que se aplicó en cada tratamiento. Como se muestra en la Ilustración 4-1 e observa que a medida que aumenta la concentración del contaminante, disminuye el porcentaje de germinación relativo, en comparación con el grupo de control (tratamiento 1).

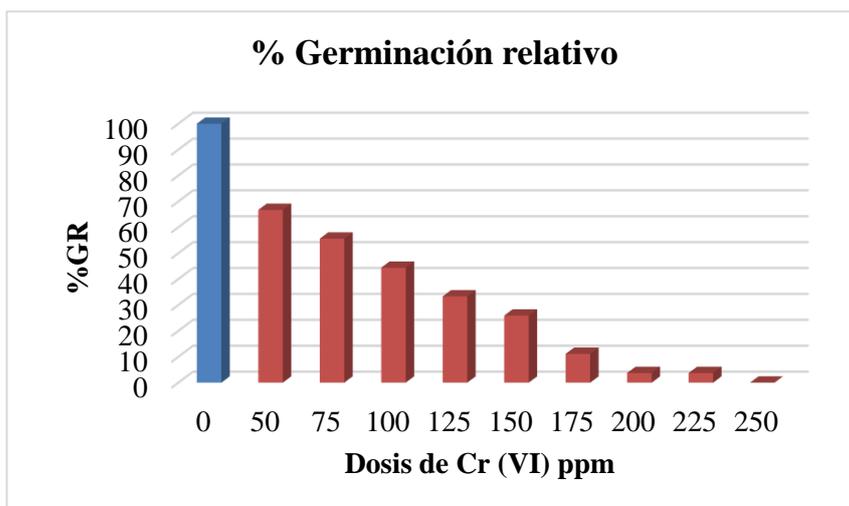


Ilustración 4-1: Porcentaje de Germinación relativo

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

4.1.2. *Porcentaje de elongación relativa de la raíz (%ER)*

A continuación, en la Tabla 4-2 se muestra el tamaño radicular en cada uno de los tratamientos:

Tabla 4-2: Elongación radicular de cada semilla

N° Semilla	Elongación radicular (mm)									
	0 ppm	50 ppm	75 ppm	100 ppm	125 ppm	150 ppm	175 ppm	200 ppm	225 ppm	250 ppm
1	25,4	4,4	12,1	16,5	4,4	7,3	6,6	3	4,3	0
2	19,1	6,2	6,2	7,3	13,7	7	8,1	0	0	0
3	17,1	3,5	12,7	3,5	6,5	10,5	1,6	0	0	0
4	29,8	4,1	6,6	5,7	8,4	2	0	0	0	0
5	22	3,1	7,3	7,5	8,2	5,5	0	0	0	0
6	16,7	5,5	2,1	6,4	4,1	5,8	0	0	0	0
7	33,5	6,1	9,6	11,9	14,7	1,9	0	0	0	0
8	19,2	3,2	14	1,8	7,6	0	0	0	0	0
9	10,2	9,5	9,1	6,2	7,3	0	0	0	0	0
10	19,8	2,3	3,5	2,1	0	0	0	0	0	0
11	11,6	11,4	6	6,9	0	0	0	0	0	0
12	22,1	8,8	2,8	2,2	0	0	0	0	0	0
13	18,8	2,3	2,6	0	0	0	0	0	0	0
14	29,7	3,4	3	0	0	0	0	0	0	0
15	3,1	2,1	3,1	0	0	0	0	0	0	0
16	20	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0

17	29,7	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	11,3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	34,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	4,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	18,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	30,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	9,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	17,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	8,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	15,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Uno de los elementos clave durante la evaluación de la toxicidad consistió en determinar el crecimiento de las raíces ante la exposición al agente tóxico, se realizó un promedio de la elongación de la raíz por cada tratamiento por medio de los datos que se obtuvieron de la Tabla 4-2, con el objetivo de que exista mejor comprensión, razón por la cual se consignaron datos recopilados en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3: Porcentaje de crecimiento relativo de la raíz

N° Tratamiento	Dosis	Promedio de elongación radicular	%ER
1	Blanco	16,90	100 %
2	50 ppm	9,20	54,44 %
3	75 ppm	6,71	39,70 %
4	100 ppm	6,5	38,44 %
5	125 ppm	5,47	32,40 %
6	150 ppm	4,51	26,70 %
7	175 ppm	3,86	22,87 %
8	200 ppm	3	17,74 %
9	225 ppm	1,9	11,23 %
10	250 ppm	0	0%

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

En la Ilustración 4-2 se puede verificar que al ir aumentando la dosis de Cr (VI) el porcentaje de elongación va descendiendo.

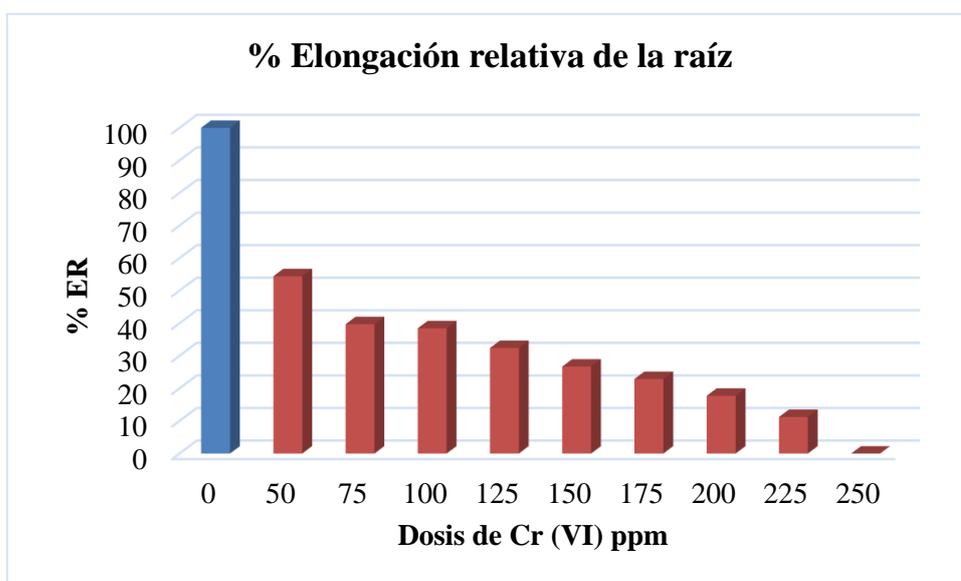


Ilustración 4-2: Porcentaje de elongación relativa de la raíz

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

4.1.3. Índice de germinación (IG)

El índice sirve como un indicador de viabilidad y calidad de las semillas, ya que semillas con un alto índice de germinación suelen ser más viables y presentan una mayor probabilidad de que las plantas se desarrollen sanas y vigorosas.

Tabla 4-4: Índice de germinación

N° Tratamiento	Dosis	%GR	%ER	%IG
1	Blanco	100%	100 %	100 %
2	50 ppm	66,7%	54,44 %	36,31 %
3	75 ppm	55,6 %	39,70 %	22,07 %
4	100 ppm	44,4 %	38,44 %	17,06 %
5	125 ppm	33,3 %	32,40 %	10,78 %
6	150 ppm	25,9 %	26,70 %	6,91 %
7	175 ppm	11,1 %	22,87 %	2,53 %
8	200 ppm	3,7 %	17,74 %	0,65 %
9	225 ppm	3,7 %	11,23 %	0,41 %
10	250 ppm	0	0%	0 %

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

De acuerdo con los valores obtenidos en la etapa I: Germinación de la *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng, se observa en la Tabla 4-4; por medio de estos datos se identificó que el tratamiento 1 que corresponde a la dosis de 0 ppm, no presentó fitotoxicidad, esto debido a que este tratamiento es considerado como grupo de control del experimento.

Por otra parte, a partir del número de tratamiento 2 hasta el 10, se obtuvieron valores con un porcentaje menor al 50%, lo cual se puede apreciar en la Ilustración 4-3, por ende, se indicó que presentan niveles altamente tóxicos de Cr VI en dicha especie vegetal.

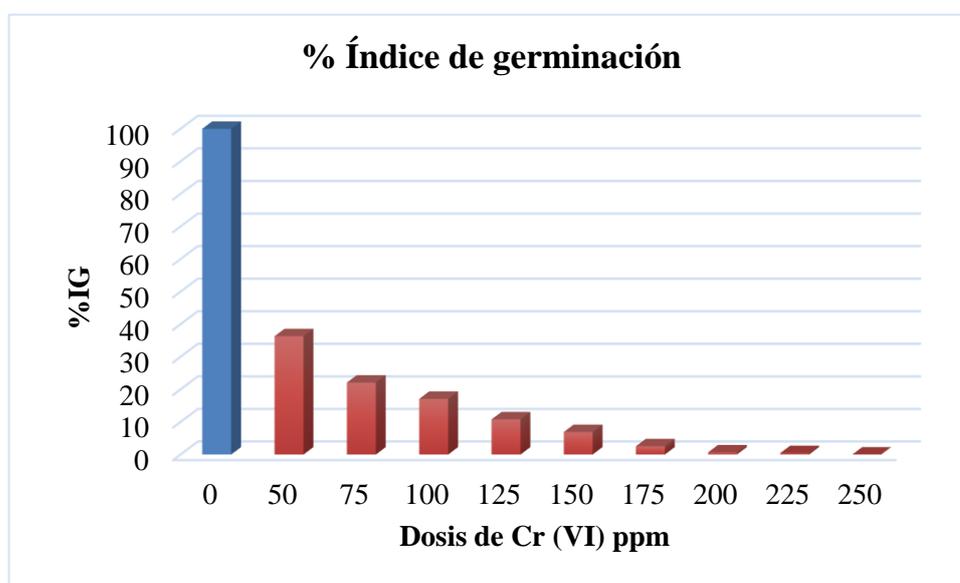


Ilustración 4-3: Índice de germinación de la *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

4.1.4. Regresión Probit

Con el fin de obtener la DL50 que afectó a *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng, se procedió a completar la Tabla 4-5 con los respectivos datos, en la cual se pueden apreciar variables indispensables para conocer la DL50, como son la concentración de ppm transformados en Log10 y así mismo el número de semillas no germinadas, los cuales dan paso al porcentaje de muerte Probit.

Tabla 4-5: Método Probit: Cálculo DL50 de *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng

Soluciones	Volumen (ml,	Volumen (ml, Agua)	Concentración final de la	Convertir el % de	Convertir la concentración	Semillas no	% Semillas no	% muert

	Dicromato		solución / % del soluto	concentración a ppm	n de ppm a Log10	germinadas	germinadas	e a probit
1	0	50	0	0	0	3	10	3,12
2	0,25	50	0,005	50	1,70	12	40	3,82
3	0,375	50	0,0075	75	1,88	15	50	3,96
4	0,5	50	0,01	100	2	18	60	4,08
5	0,625	50	0,0125	125	2,10	21	70	4,19
6	0,75	50	0,015	150	2,18	23	76	4,26
7	0,875	50	0,0175	175	2,24	27	90	4,39
8	1	50	0,02	200	2,30	29	96	4,45
9	1,125	50	0,0225	225	2,35	29	96	4,45
10	1,25	50	0,025	250	2,40	30	100	4,48

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Por el efecto de las variables mencionadas, se llegó a conseguir la curva Dosis- Respuesta (Ilustración 4-4), en donde se ubicó en el eje de las ordenadas (Y) el porcentaje de semillas no germinadas, por otro lado, en el eje de las abscisas (X) se encuentran las concentraciones de dosis de cromo (VI) en ppm.

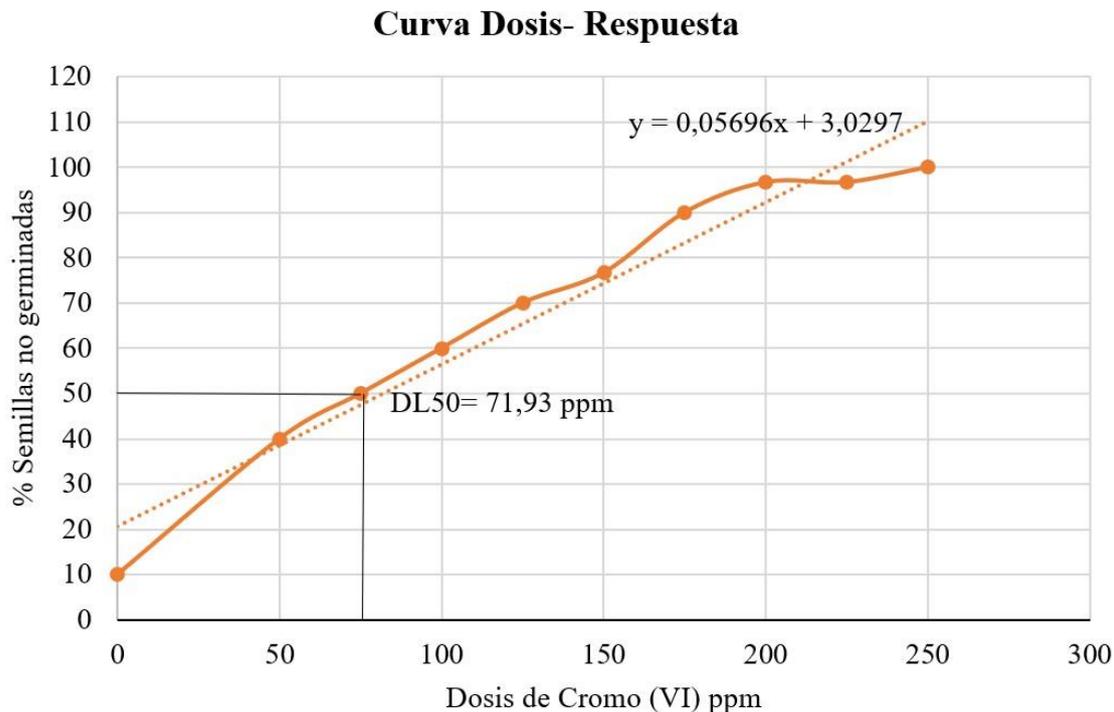


Ilustración 4-4: Curva Dosis- Respuesta, Método Probit

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Como se puede observar en la curva dosis- respuesta, la cual muestra una gráfica lineal, a medida que aumenta la dosis, existe la presencia de un aumento proporcional, es decir se mostró un mayor impacto en la germinación de semillas.

Por medio de la Ilustración 4-4 se obtuvo la ecuación cuadrática: $y = 0,05696x + 3,0297$, se llegó a calcular los parámetros presentados a continuación:

Tabla 4-6: Parámetros para conocer la DL50

Parámetro	Intercepción	Variable X	Variable Y	Ecuación (y= ax+b)	Log (C%)	DL50 Calculada
Valor	3,02	0,56	5	3,45	2877,22	71,93 ppm

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Conforme a la Tabla 4-6, se obtuvo que la dosis letal que afecta al 50% de la población está en la tercera concentración es decir aproximadamente entre 70 y 75 ppm de cromo (VI).

4.1.5. Reed Muench

Este método dio a conocer la DL50, por medio de la acumulación de las respuestas tanto positivas como negativas, lo que hace referencia a semillas germinadas y no germinadas, estos valores se encuentran en la Tabla 4-7, por otra parte, en la Ilustración 4-5 se puede observar con más claridad en donde se ubica la DL50.

Tabla 4-7: Tabla Reed Muench

SOLUCIONES	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
Respuestas +/-Total de respuestas posibles (# de semillas germinadas)	27/30	18/30	15/30	13/30	9/30	7/30	3/30	1/30	1/30	0/30
Respuestas +	27	18	15	12	9	7	3	1	1	0
Respuestas -	3	12	15	18	21	23	27	29	29	30
Σ Respuestas +	93	66	48	33	21	12	5	2	1	0
Σ Respuestas -	3	15	30	48	69	92	119	148	177	207

Total acumulado (Σ+)+(Σ-)	96	81	78	81	90	104	124	150	178	207
Dividir Σ Respuestas + % Total Acumulado	0,96	0,81	0,61	0,40	0,23	0,11	0,04	0,01	0,005	0,00
% Porcentaje	97	81	62	41	23	12	4	1	0,6	0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Tabla 4-8: Dosis Letal obtenida por el Método Reed Muench

Distancia Proximal $Dp = \frac{V_M - 50\%}{V_M - V_m}$	Punto Final Max + DP	Título	Título final	Antilog
0,55	3,55	3,55 D1 semillas 50% / 0,50	3,86	71,04 ppm

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

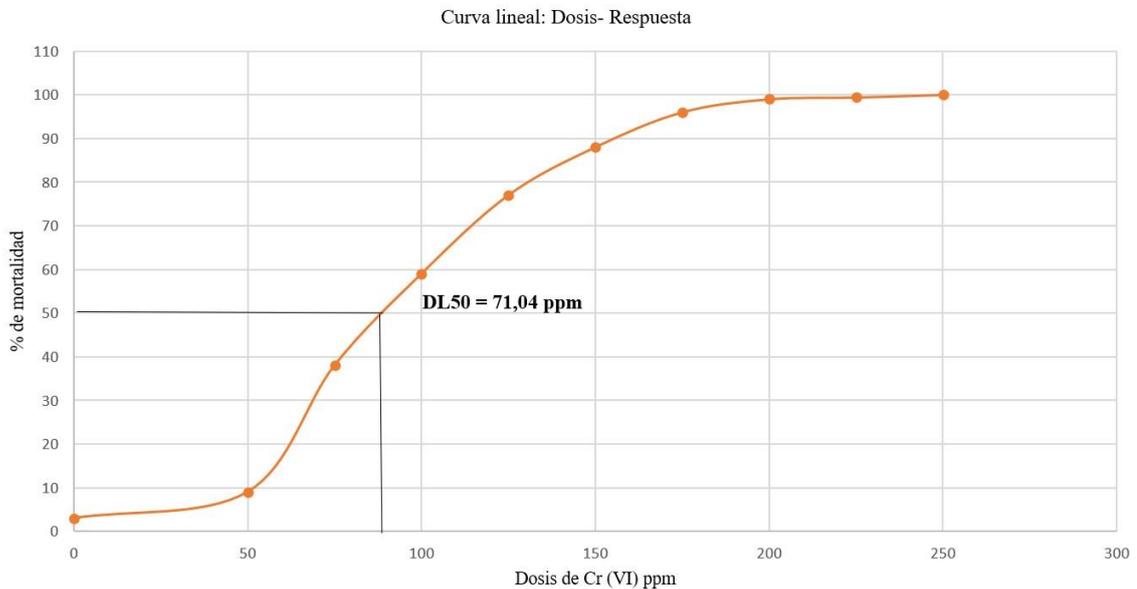


Ilustración 4-5: Curva Dosis- mortalidad, obtenida por el método de Reed Muench

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

En la Ilustración 4-5 se puede observar una curva sigmoide la cual se caracteriza por tener una forma de “S” la misma que indica que a medida que aumenta la dosis, el porcentaje de mortalidad también crece de manera gradual, y así se va pronunciando cada vez más. En resumen, la curva

llega a un punto de saturación en donde el porcentaje de mortalidad no incrementa proporcionalmente, incluso si la dosis aumenta.

4.2. Etapa II: Crecimiento

En esta fase se llevó a cabo la observación del desarrollo de la especie vegetal durante un período de aproximadamente de cuatro meses. Durante este lapso, se identificaron efectos tóxicos visibles al medir tanto, la altura de la planta como el ancho foliar permitiendo así determinar las alteraciones ocurridas.

4.2.1. Altura de la planta

Posteriormente se muestran los resultados de la medición de la altura de la planta al término de las 16 semanas del experimento:

Tabla 4-9: Medición de la altura en (mm) de *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng

ALTURA		N° repetición	TRATAMIENTOS					
			0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm
COMBINACIONES	Materia orgánica 75% + Cascajo 25%	1	30,6	32,8	35,3	0,0	0,0	0,0
		2	42,8	33,2	29,9	0,0	0,0	0,0
		3	35,0	35,4	35,1	30,9	0,0	0,0
		4	46,7	36,7	35,8	0,0	0,0	0,0
		5	38,9	37,2	36,6	29,1	0,0	0,0
		6	45,3	37,0	30,5	0,0	0,0	0,0
		7	49,1	34,8	34,0	29,6	0,0	0,0
		8	53,0	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	51,0	41,6	34,5	0,0	0,0	0,0
		10	51,1	42,2	36,7	25,1	0,0	0,0
	Materia orgánica 50% + Cascajo 50%	1	35,0	35,4	0,0	0,0	0,0	0,0
		2	44,7	28,5	38,5	0,0	0,0	0,0
		3	46,9	35,3	0,0	0,0	0,0	0,0
		4	42,4	0,0	35,4	0,0	0,0	0,0
		5	49,6	35,8	0,0	0,0	0,0	0,0
		6	52,0	0,0	35,6	0,0	0,0	0,0
		7	50,5	37,1	34,4	0,0	0,0	0,0
		8	50,1	43,1	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	52,0	36,4	37,3	0,0	0,0	0,0
		10	36,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Materia orgánica 25% + Cascajo 75%	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Para llevar a cabo el análisis estadístico basado en el diseño experimental de bloques aleatorizados, fue necesario realizar una prueba de normalidad de la Tabla 4-9, debido que al ejecutarse con anterioridad se obtuvo datos que no siguen una distribución normal.

Con el fin de conseguir una distribución normal de datos, se realizó una transformación logarítmica, para ayudar a estabilizar la varianza y reducir la asimetría de los datos, adquiriendo los siguientes valores que se pueden apreciar en la Tabla 4-10:

Tabla 4-10: Transformación de datos no normales a normales: Altura de la planta

COMBINACIONES	ALTURA	N° repetición	TRATAMIENTOS					
			0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm
Materia orgánica 75% + Cascajo 25%		1	4,79	4,71	4,44	-	-	-
		2	5,05	4,59	4,51	-	-	-
		3	4,59	4,66	4,36	4,18	-	-
		4	4,92	4,50	4,64	-	-	-
		5	5,09	4,48	4,56	4,03	-	-
		6	4,56	4,84	4,49	-	-	-
		7	5,01	4,52	4,31	4,16	-	-
		8	4,68	4,83	-	-	-	-
		9	4,54	4,58	4,45	-	-	-
		10	4,86	4,43	4,55	3,75	-	-
Materia orgánica 50% + Cascajo 50%		1	4,73	4,73	-	-	-	-
		2	4,87	4,67	4,57	-	-	-
		3	4,57	4,83	-	-	-	-
		4	4,50	-	4,64	-	-	-
		5	5,06	4,63	-	-	-	-
		6	5,18	-	4,46	-	-	-
		7	4,75	4,47	4,49	-	-	-
		8	4,58	4,45	-	-	-	-
		9	4,60	4,60	4,47	-	-	-

		10	4,68	-	-	-	-	-
Materia orgánica 25% + Cascajo 75%	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	-
	9	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Por medio de los datos que se observan en la Tabla 4-10 se usaron para llevar a cabo un análisis ANOVA, con el propósito de determinar si los tratamientos tuvieron un impacto significativo en la altura de la planta.

- **Planteamiento de la hipótesis**

H₀= La altura de las plantas de la especie *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng no experimentó cambios significativos, si el valor p es mayor o igual a 0,05 se acepta la hipótesis nula.

H_i= La altura de las plantas de la especie *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng, experimentó cambios significativos, si el valor p es menor a 0,05 se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 4-11: Resultados de prueba Anova

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,111	3	0,704	25,961	0,000
Dentro de grupos	1,382	51	0,027		
Total	3,493	54			

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

A través del análisis de varianza (Anova), se obtuvo un valor p de 0,000 el cual se puede observar en la Tabla 4-11, por lo que condujo al rechazo de la hipótesis nula y a la aceptación la hipótesis alternativa, que afirmaba la existencia de una diferencia significativa entre las alturas de las plantas. Por lo tanto, los tratamientos aplicados en esta investigación tuvieron un impacto significativo en la variable altura de las plantas *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng.

Debido a la presencia de una diferencia significativa en las alturas observadas de las plantas *Zantedeschia Aethiopica* se optó por emplear la prueba estadística de Scheffe con el fin de llevar a cabo comparaciones múltiples.

Tabla 4-12: Resultados de la prueba Scheffe: Altura de la planta

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0 ppm	50	,16205*	,05430	,040	,0050	,3190
	100	,28638*	,05736	,000	,1205	,4522
	150	,74985*	,09016	,000	,4892	1,0105
50 ppm	0	-,16205*	,05430	,040	-,3190	-,0050
	100	,12434	,05941	,236	-,0474	,2961
	150	,58780*	,09148	,000	,3233	,8523
100 ppm	0	-,28638*	,05736	,000	-,4522	-,1205
	50	-,12434	,05941	,236	-,2961	,0474
	150	,46347*	,09333	,000	,1936	,7333
150 ppm	0	-,74985*	,09016	,000	-1,0105	-,4892
	50	-,58780*	,09148	,000	-,8523	-,3233
	100	-,46347*	,09333	,000	-,7333	-,1936

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

El valor p o Sig., que se encuentra en la Tabla 4-12 reveló que no existe una diferencia significativa relacionado con los tratamientos 50 – 100 ppm y viceversa, obteniendo un valor p de 0,236, sugiriendo que este tratamiento no afectó de manera significativa a la altura de las plantas de *Zantedeschia Aethiopica*. Sin embargo, en las demás comparaciones donde el valor de p es menor a 0,05 se llegó a la conclusión que el tratamiento tiene un impacto significativo en la altura de las plantas.

Tabla 4-13: Diferencias significativas entre subconjuntos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa= 0.05		
		1	2	3
150 ppm	4	4,0303		
100 ppm	14		4,4938	
50 ppm	17		4,6181	4,6181
0 ppm	20			4,7801
Sig.		1,000	0,456	0,225

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

A través de la Tabla 4-13, se registran tres subconjuntos que presentan diferencias significativas entre los tratamientos presentados en la tabla mencionada, a excepción del subconjunto 2 y 3, ya que en el subconjunto 2 que corresponde a los tratamientos 100 y 50 ppm y en el subconjunto 3 que cuenta con 50 y 0 ppm, se deduce que no se hallan diferencias significativas en las medias de la altura de la planta.

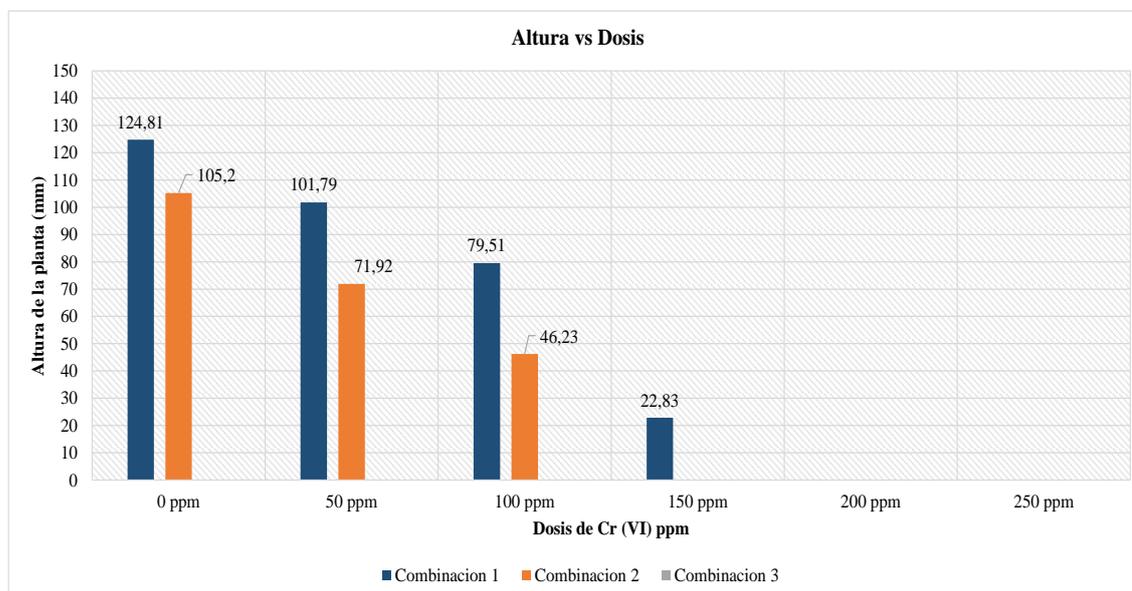


Ilustración 4-6: Altura vs Dosis de Cromo (VI) ppm

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Por medio de la Ilustración 4-6 se evidenció que la altura de la planta disminuyó a medida que la concentración del tratamiento aumentó, además es evidente que en la combinación 3 que corresponde a 25% de materia orgánica y 75% de cascajo, no existió crecimiento alguno, debido a la escasa presencia de nutrientes.

4.2.2. Ancho Foliar

En la última medición se mostró la amplitud de las hojas entorno a los cuatro meses desde su plantación, según se detalla en la Tabla 4-14:

Tabla 4-14: Medición de ancho foliar en (mm) de *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng

ANCHO FOLIAR		N° repetición	TRATAMIENTOS					
			0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm
COMBINACIONES	Materia orgánica 75%	1	36,7	26,0	12,2	0,0	0,0	0,0
		2	36,4	14,0	17,2	0,0	0,0	0,0
		3	37,7	21,7	16,9	13,5	0,0	0,0
		4	24,8	29,7	24,2	0,0	0,0	0,0

	+ Cascajo 25%	5	24,7	15,4	16,7	12,8	0,0	0,0
		6	23,7	32,0	17,5	0,0	0,0	0,0
		7	18,9	20,2	14,5	14,3	0,0	0,0
		8	37,4	33,9	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	29,7	23,9	19,6	0,0	0,0	0,0
		10	34,5	24,8	15,3	16,7	0,0	0,0
	Materia orgánica 50% + Cascajo 50%	1	21,8	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2	25,3	8,2	14,1	0,0	0,0	0,0
		3	18,9	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		4	22,4	11,0	13,5	0,0	0,0	0,0
		5	17,3	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		6	9,9	0,0	19,4	0,0	0,0	0,0
		7	22,9	13,3	16,8	0,0	0,0	0,0
		8	29,2	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	23,5	17,2	17,3	0,0	0,0	0,0
		10	19,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Materia orgánica 25% + Cascajo 75%	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Se realizó una exploración estadística en base de un diseño experimental de bloques aleatorizados, al igual que el análisis anterior también fue necesario realizar una prueba de normalidad de la Tabla 4-14, dado que al llevarse a cabo previamente, se obtuvieron datos que no se ajustan a una distribución normal.

Al obtener datos no normales que se encuentran en la Tabla 4-14 se realizó una prueba paramétrica o normal por medio de una transformación logarítmica obteniendo los resultados que se reflejan en la Tabla 4-15, con el fin de obtener datos normales, pero este no fue el caso, ya que no existió un mayor cambio, para lo cual se emplearon pruebas no paramétricas usando así el método de Kruskal- Wallis.

Tabla 4-15: Transformación de datos no normales a normales: Ancho foliar

ANCHO FOLIAR		N° repetición	TRATAMIENTOS					
			0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm
COMBINACIONES	Materia orgánica 75% + Cascajo 25%	1	3,88	3,81	3,81	0,0	0,0	0,0
		2	4,00	3,94	4,06	0,0	0,0	0,0
		3	4,18	3,92	3,59	3,23	0,0	0,0
		4	3,85	3,90	3,81	0,0	0,0	0,0
		5	4,01	3,84	3,56	3,41	0,0	0,0
		6	4,15	3,99	3,88	0,0	0,0	0,0
		7	3,73	4,10	3,59	3,07	0,0	0,0
		8	3,92	4,07	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	4,16	3,79	3,47	0,0	0,0	0,0
		10	4,10	4,08	3,24	3,28	0,0	0,0
	Materia orgánica 50% + Cascajo 50%	1	4,09	3,85	0,0	0,0	0,0	0,0
		2	3,90	4,15	3,86	0,0	0,0	0,0
		3	3,94	4,08	0,0	0,0	0,0	0,0
		4	4,05	0	3,68	0,0	0,0	0,0
		5	4,10	4,06	0,0	0,0	0,0	0,0
		6	4,23	0,0	3,25	0,0	0,0	0,0
		7	4,01	4,09	3,61	0,0	0,0	0,0
		8	4,15	3,88	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	3,74	3,59	3,69	0,0	0,0	0,0
		10	3,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Materia orgánica 25% + Cascajo 75%	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

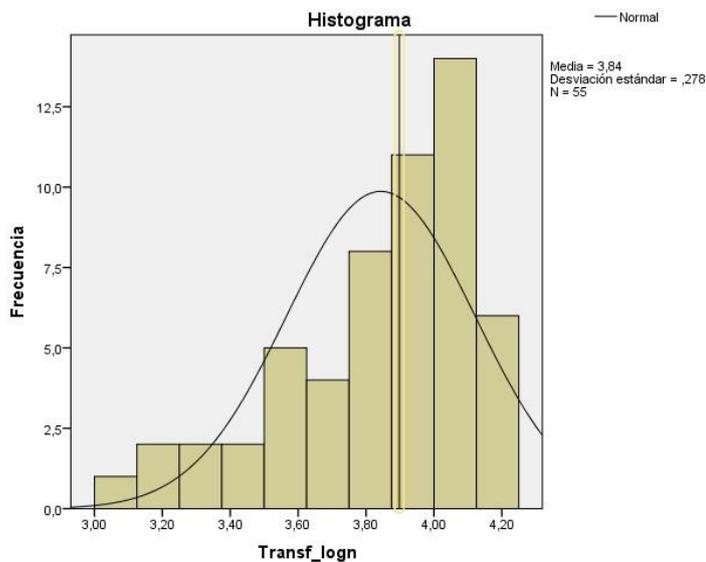


Ilustración 4-7: Histograma; transformación de datos no normales a normales

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Así mismo en la Ilustración 4-7, demuestra que existe un sesgo negativo de distribución a la izquierda, esto significa que hay una concentración de valores relativamente altos y los valores bajos son menos comunes.

- **Planteamiento de hipótesis**

Ho: El ancho foliar de las plantas de la especie *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng no experimentó cambios significativos, si el valor p es mayor o igual a 0,05 se acepta la hipótesis nula.

Hi: El ancho foliar de las plantas de la especie *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng experimentó cambios significativos, si el valor p es menor a 0,05 se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 4-16: Resultado de prueba no paramétrica: Kruskal Wallis

Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis Nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de la transformación logarítmica del ancho foliar es la misma entre las categorías de los tratamientos	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,000	Rechaza la hipótesis Nula

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Por medio de los resultados obtenidos en la Tabla 4-16 el valor p (Sig) es de 0,000 lo que implica el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa, es decir, si experimentó cambios significativos entre el ancho foliar de las plantas.

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes

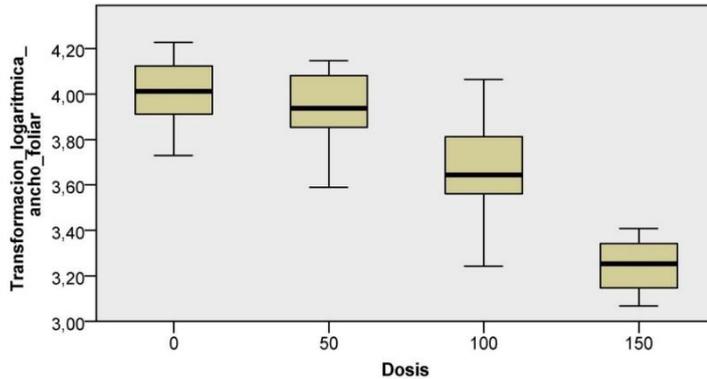


Ilustración 4-8: Diagrama de cajas de Kruskal- Wallis

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

A través de la Ilustración 4-8 se puede ver que los tratamientos de 50 y 100 ppm, presenta una mediana más baja a comparación de los distintos tratamientos a la vez el tratamiento de 50 ppm presenta un sesgo inferior a los demás tratamientos, cabe mencionar que ninguno de los tratamientos contiene valores atípicos.

4.3. Factor de Bioconcentración

Se llegó a calcular el factor de bioconcentración por medio de los datos de Cromo (VI) presente en toda la planta y el suelo en tres grupos de tratamiento con: 50, 100 y 150 ppm. Con el resto de los tratamientos no se analizó el FBC debido a la inexistencia del crecimiento de la planta por estar expuestas a altas dosis del contaminante.

Tabla 4-17: Factor de bioconcentración

Tratamientos	Nº de repetición	Cromo VI presente en toda la planta (mg/kg)	Cromo VI presente en el medio (Suelo)(mg/kg)	Factor de bioconcentración
50 ppm	Rep 1	15,5	23,5	1,4
	Rep 2	13,5	21,7	1,1
100 ppm	Rep 1	25,6	47,7	0,9
	Rep 2	22,7	46,1	0,6

150 ppm	Rep 1	30,6	73	0,4
----------------	-------	------	----	-----

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

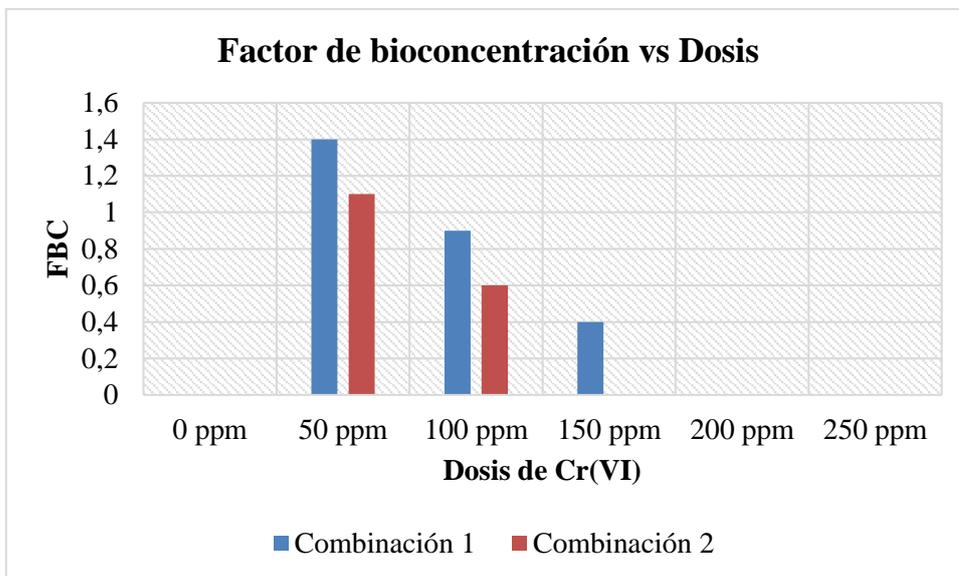


Ilustración 4-9: Factor de bioconcentración vs Dosis

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

Según los resultados obtenidos a través de la tabla 4-17 dentro de esta investigación la especie *Zantedeschia Aethiopica*, no fue considerada como una planta acumuladora debido a que su FBC presenta un valor por debajo de 1 pues al observar la Tabla 3-9, si se obtiene un valor menor a 1 no presenta bioacumulación, cabe recalcar que la dosis de 50 ppm es una excepción puesto que refleja un factor intermedio es decir mayor a 1.

Sin embargo, esta especie no contiene un FBC alto, es importante mencionar que pudieron existir factores ambientales negativos, ya que probablemente al estar sometidas a elevadas temperaturas dentro del invernadero no tuvieron un desarrollo normal, pues esto incidió en el crecimiento de las plantas, debido que al ser de un tamaño pequeño no existió mayor absorción del contaminante por medio de sus órganos vegetativos, puesto que según Villegas (2021, pág. 27) señala que esta especie puede llegar a crecer hasta una altura de 60 cm en el transcurso de 4 a 6 meses, en temperatura ambiental (18 a 23 °C).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó la dosis letal media mediante Regresión Probit y Reed Muench, revelando que la especie *Zantedeschia Aethiopica* mostró una DL50 de aproximadamente 71 ppm de cromo hexavalente durante la etapa de germinación, para lo cual se concreta que a medida que aumenta la concentración del contaminante disminuye progresivamente la tasa de germinación.
- La *Zantedeschia Aethiopica*, expuesta a diversas concentraciones de cromo (VI) y sometida a la combinación de dos sustratos en diferentes proporciones, experimentó variaciones significativas en la altura de la planta y en el ancho foliar. Se observó una disminución en la longitud y expansión de la planta, indicando una afectación, especialmente a partir de la segunda combinación en todos los tratamientos, debido a la presencia de deficiencia nutricional en las mezclas de sustratos. Además, en los tratamientos con concentraciones de 200 y 250 ppm, no se evidenció el crecimiento de la especie, probablemente atribuible a la exposición a elevadas concentraciones del contaminante.
- Al determinar la presencia de cromo (VI) en el medio y en la planta, se llegó a la conclusión de que la planta carece de la habilidad para absorber concentraciones elevadas del contaminante, ya que su factor de bioconcentración muestra un valor inferior a 1, por ende, no se le podría considerar como una planta acumuladora puesto que su FBC es bajo.
- Debido a los resultados obtenidos se puede mencionar que la capacidad fitorremediadora de la planta *Zantedeschia aethiopica* en suelos contaminados con cromo (VI) se considera como baja debido a su falta de tolerancia a concentraciones elevadas del contaminante. Este hallazgo sugiere limitaciones en su capacidad para acumular y remediar eficazmente el cromo en el suelo, por lo tanto, se refuta la hipótesis planteada.

5.2. Recomendaciones

- Realizar pruebas in situ en zonas que presenten dicha problemática, con el fin de validar el potencial fitorremediador de la *Zantedeschia Aethiopica*.
- Realizar ensayos en parcelas con el propósito de examinar el comportamiento de las plantas bajo condiciones, tales como la composición del suelo, pH y factores ambientales específicamente la temperatura, puesto que a altos grados no rinde su crecimiento y así verificar si la interacción de dichos factores puede alterar las respuestas de esta especie.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALI, Jamshed.; et al.** "Separation and preconcentration of trivalent chromium in environmental waters by using deep eutectic solvent with ultrasound- assisted based dispersive liquid- liquid microextraction method". *Journal of molecular liquids* [En línea], 01 de Octubre de 2019, Vol. 291, pág. 111299. [Consulta: 03 mayo 2023]. ISSN 0167-7322. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111299>
2. **AGUIRRE, Forero.; et al.** *Suelo y cambio climático: incluye estudio de casos* [En línea]. 1^{ra} ed. Santa Marta : Unimagdalena, 2022.[Consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/214506?page=86>
3. **AQUIJE, Morey.; et al. 2020.** Revisión sistemática y meta-análisis de la aplicación de microorganismos para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembres [En línea](Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima - Perú. 2020. pág. 15-18. [Consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59796/Aquije_ML-Zanabria_CRD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. **ARIAS. Trinidad .; et al.** "Uso de *Leersia hexandra* (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado". *Biología Tropical* [En línea], 2016, San José (España), Vol. 65 (1), págs. 21- 30. [Consulta: 06 abril 2023] .ISSN 0034-7744. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i1.22967>
5. **AVELAR, González.; et al.** *Toxicología Ambiental* [En línea]. Aguascalientes- México, Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2009, pág. 99.[Consulta: 15 abril 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/40705?page=100>.
6. **ÁVILA PEDRAZA, Daniel Felipe y & PONGUTÁ RICAURTE, Danna Valentina. 2021.** Evaluación del potencial de *Brachiaria decumbens* y *Panicum maximum* como especies vegetales promisorias para el proceso de fitorremediación en asocio con enmienda orgánica, de suelos contaminados por metales pesados: plomo (Pb), cromo (Cr) y cadmio (Cd). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniero Ambiental). Universidad el Bosque, Facultad de Ingeniería Ambiental. Bogotá- Colombia. 2021. págs. 43- 58. [Consulta: 05 abril 2023]. Disponible en:

https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7271/%c3%81vila_Pedraza_Daniel_Felipe_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7. **BARAN, Enrique.** "Hiperacumulación de metales por plantas" . *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [En línea],2021, Argentina, Vol. 72, pág. 91. [Consulta: 01 julio 2023]. Disponible en: <https://www.ancefn.org.ar/user/CONTINUACIONANALES/TOMO%2072/Baran%20-%20Hiperacumulacion%20metales.pdf>
8. **BELTRÁN, Andrés.; et al.** "Potencial de *Zantedeschia Aesthiopica* L. para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en zonas alto andinas de Ecuador". *Acta Agronómica* [En línea],2019, Riobamba- Ecuador , Vol. 68 (2), págs. 92-98.[Consulta: 07 abril 2023]. ISSN 0120-2812.2. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v68n2.77859>
9. **CABRERA, Luis.** "Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de tomate de árbol (*Solanum Betaceum*)"[En línea] (Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca - Ecuador. 2017. págs. 14-15. [Consulta: 16 abril 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14460/1/UPS-CT007124.pdf>
10. **CARRIQUIBORDE, Pedro. 2021..** *Principios de Ecotoxicología* [En línea].3^{ra} ed. Argentina : Universidad de la Plata , 2021. [Consulta: 01 julio 2023]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131168/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
11. **CASTAÑEDA, Edson.**"Potencial fitorremediador de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de cromo hexavalente en solución acuosa" [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de posgrado maestría en ciencias ambientales. Lima- Perú. 2023. págs. 4-6. [Consulta: 08 abril 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5723>
12. **Chagas, C I.** *Escurrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad agropecuaria extensiva: algunos elementos para su análisis* [En línea]. Buenos Aires- Argentina : Facultad de Agronomía UBA, 2018. [Consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/229292?page=7>

13. **CIFUENTES MORALES, Paola y & NOVILLO LOGROÑO, Fernando.** "Uso de plantas de pepinillo (*Cucumis sativus*) para fitorremediar suelos contaminados con cromo". *Química Central* [En línea], 2017, Vol. 5(1), págs. 69-76. [Consulta: 05 abril 2023]. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/QUIMICA/article/view/1220/1210>
14. **CUÉLLAR, Mariela del Milagro.** Cromo: un metal pesado que puede especiar, entender y del cual se pueden conocer sus efectos en el ambiente [En línea]. (Trabajo de titulación)(Doctoral). Universidad Nacional de Córdoba, Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Ciencias químicas. Argentina. 2018. pág. 9.[Consulta: 02 marzo 2023]. Disponible en: [CONICET_Digital_Nro.f133f063-dcba-4455-aaf3-f2cc9d75cd57_A.pdf](https://conicet-digital.nro.f133f063-dcba-4455-aaf3-f2cc9d75cd57_A.pdf)
15. **CLEMENTE, Josué; et al.** " Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright)". *Acta Agronómica* [En línea], 2021, Colombia, Vol. 70 (2), pág. 165-168. [Consulta: 08 agosto 2023] ISSN: 2323-0118.Disponible en: <https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>
16. **DE OLIVEIRA SOUSA, V F & DOS SANTOS, G L.** "Elemento cromo na nutrição mineral de plantas". *Revista de Univerdidade Vale do Rio Verde* [En línea]. 2018, Vale do Rio Verde, Vol. 16 (2), págs. 4-5. [Consulta: 15 junio 2023]. ISSN: 1517-0276.Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v16i2.4352>
17. **DELUCCHI, Gustavo & HURRELL, Julio Alberto.** "Flora Rioplatense Araceae". *LOLA* [En línea], 2008, La plata (Argentina), Vol. 1 (3), págs. 39-90. [Conuslta: 08 junio 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Delucchi/publication/262875812_Flora_Rioplatense_3_1_Araceae/links/0f3175390e40f38971000000/Flora-Rioplatense-3-1-Araceae.pdf
18. **DUARTE PALOMERA, Rosario Abril. 2008.** Estudio de la reducción de disoluciones de cromo hexavalente a cromo trivalente. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Maestría). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. México. 2008. págs. 54-55. [Consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/286/1/Estudio%20de%20la%20reducci%C3%B3n%20de%20disoluciones%20de%20cromo%20hexavalente%20a%20cromo%20trivalente%20en%20medio%20%C3%A1cido..pdf>

19. **EMINO, Everett & WARMAN, Phil.** "Biological Assay foy Compost Quality". *Compost Science & Utilization* [En línea], 2013, Vol. 12 (4), págs. 342-348. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702203>
20. **ESPINOSA, Flores.; et al.** V jornada tecnológica de flores de corte [En línea]. Sinaloa : Colección Memoria de Capacitación, 2012. pág. 13. [Consulta: 03 junio 2023].
21. **GERTHARD, Gartenbau & STRABE, Stalling.** *Floragard Sustrato Plantación*. s.l. : Floragard, 2021. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/174319/Floragard_Sustrato_Plantacion.pdf
22. **GUALLI, Cristian & MENA, Andrés.** Evaluación de los efectos ecotoxicológicos del cromo hexavalente, mediante bioensayos en *Zantedeschia aethiopica* y *Helianthus annuus*. [En línea].(Trabajo de titulación)(Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba- Ecuador, 2017. pág. 28-50. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6317>
23. **HUERTOS, Emilio Galán & ROMERO, Antonio J.** "Contaminación de suelos por Metales Pesados". *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía* [En línea], 2008, (10), págs. 48-60. [Consulta: 05 abril 2023]. ISSN 1885-7264. Disponible en: https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf
24. **INSTITUTO NACIONAL DE CÁNCER.** *Instituto Nacional de Cáncer*. [Blog]. 2015. [Consulta: 09 Mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/cromo>, Compuestos de cromo hexavalente.
25. **INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO (INSST), O.A., M.P.** [Blog]. Madrid : Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (INSST), O.A., M.P., 2018. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/599872/Enciclopedia_practica_de_Medicina_del_Trabajo.pdf/0f326557-3547-44a4-995d-92a8f9c90aae?t=1681283021747

26. **JARDINES.** Cascajo. [Blog]. La jardinería. S.f. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <https://jardines.ec/venta-plantas/sustratos-siembra/cascajo-plantas>.
27. **JUNCEDA, Moreno.** " Sobre la contaminación del suelo". Revista de Administración pública [En línea], 2002, Catalunya, (157), págs. 421-426. ISSN-0034-7639. [Consulta: 29 abril 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/3175?page=421>
28. **LA TORRE PONCE, Denisse Veronica.** Producción de plántulas In Vitro de las calas (*Zantedescia sp.*) en Cañete- Lima. [En línea].(Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía, Lima- Perú. 2022. págs. 9-10. [Consulta: 03 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5338/la-torre-ponce-denisse-veronica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
29. **LENNTECH.** *Cromo- Cr.* [Blog]. Lenntech., 2021. [Consulta: 06 junio 2023]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>.
30. **LÓPEZ, Maybis.; et al.** "Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: una revisión". *Revista de Ciencia y Tecnología el Higo* [En línea]. 2022, Nicaragua, Vol. 12 (2), págs. 15-28. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197>
31. **LLATANCE, Wendi.** Caracterización de la respuesta fisiológica de *Salvinia sp.* frente a la exposición de metales pesados y su relación con la eficiencia del proceso de fitorremediación. [En línea].(Trabajo de titulación)(Maestría). Pontificia Universidad Católica Argentina, Facultad de Química e Ingeniería del Rosario, Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable. Rosario- Argentina. 2019. págs. 26-27. [Consulta: 01 julio 2023]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/3027838/1/LlatanceOyarceWG.pdf>
32. **MACÍAS ESQUIVEL, Ma. del Consuelo.** Comportamiento fenológico de *Alcatraz (Zantedeschia rehmannii Engl.)* en maceta como respuesta al vermicompost en el sustrato. [En línea].(Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de carreras agronómicas. Torreón - México. 2017. pág. 6-30. [Consulta: 06 mayo 2023]. Disponible en:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42368/MA.%20DEL%20CONSUELO%20MACIAS%20ESQUIVEL.pdf?sequence=1>

33. **MAGAZINE ONLINE.** *Flores y plantas. net.* [blog]. Magazine online, 2021. [Consulta: 20 Junio 2023]. Disponible en: <https://www.floresyplantas.net/la-cala-o-zantedeschia-aethiopica/>.
34. **MARTÍNEZ, R.; et al.** *Toxicología Ambiental* [En línea]. Aguascalientes . México : Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2009. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/40705?page=194>.
35. **MONTANO, Yeidy.; et al.** "Fitorremediación. Una alternativa para tratar la contaminación ambiental". *Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM- INAIGEM)* [En línea], 2022, Huaraz (Perú), s. n, págs. 6-9. [Consulta: 28 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5758db79-2a26-4af9-9590-c2bd172915f6/content>
36. **MORALES MEZA, Mercy Jimena.** Capacidad de absorción de girasol (*Helianthus annuus*) en suelos contaminados a diferentes concentraciones de plomo nivel laboratorio. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima - Perú. 2020. pág. 8-15. [Consulta: 01 julio 2023]. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3188/Mercy_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
37. **MOYANO, Paula.; et al.** *Guía de prácticas de laboratorio y seminarios de toxicología de los alimentos.* [blog]. Madrid : Universidad Complutense , 2021. págs. 27-28. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/10109>
38. **MUNIVE, Rubén.; et al.** " Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados". *Scientia Agropecuaria* [En línea], 2018, Trujillo, Vol. 9 (6), págs. 551-560. [Consulta: 06 abril 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
39. **NÚÑEZ MORENO, María Soledad.** "Aplicación de técnicas de fitorremediación en suelos contaminados con plomo y cadmio". *Conciencia* [En línea], 2022, Ecuador, Vol. 5 (1.3),

págs. 6- 25. [Consulta: 05 abril 2023]. Disponible en:
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.3.2089>

40. **OLIVER, Julio.** *VILLOR* [Blog]. Plantas Villor, 01 de Noviembre, 2019. [Consulta: 08 Junio2023.] Disponible en:
<https://www.plantasvillor.com/espata/#:~:text=En%20las%20plantas%20de%20la,forma%20o%20apariencia%20de%20flores..>
41. **PAJOY MUÑOZ, Herney Mauricio.** Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de tratamiento de suelos contaminados con metales pesados. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Mestría). Universidad Nacional de Colombia, Recursos Hidráulicos. Medellín- Colombia. 2017. págs. 43-54. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62136>
42. **PEÑA, Jara.; et al.** "Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados". *Revista peruana de biología* [En línea], 2014, Lima, Vol. 21 (2), págs. 145- 154. [Consulta: 05 abril 2023]. ISSN 1727- 9933. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>.
43. CAS#7440-47-3. (*Chromium*), *Divisipon de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs*.
44. **RENDINA, Alicia Elena .; et al.** "Uso de ligandos orgánicos en la fitoextracción de Plomo por Ricino (*Ricinus communis* L.)". *AUGMDOMUS* [En línea], 2014, La Plata, Vol. 6, págs. 66- 80. [Consulta: 07 abril 2023]. E-ISSN 1852- 2181. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/677>
45. **RODRÍGUEZ ORTIZ, Juan Carlos.; et al.** "Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados". *Revista Fitotecnia Mexicana* [En línea], 2006, Nuevo León, Vol. 29 (3), págs. 239- 245. [Consulta: 05 abril 2023]. ISSN: 0187-7380. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029308>
46. **SARMIENTO, Guido y & FLORES, Shadai.** "Recuperación de plomo en suelos agrícolas contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasoles y vermicompost". *Revista Chapingo* [En línea], 2021, San Agustín de Arequipa, Vol. 27 (3), págs. 199- 212. ISSN 2007-4034. [Consulta: 05 abril 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>

47. **SHAH, Vijendra & ACLHESH, Daverey.** "Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil". *Environmental Technology & Innovation* [En línea], 2020, Vol. 18 (100774). [Consulta: 25 mayo 2023]. ISSN 2352-1864. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>
48. **SIEBRA, Richard., et al.** "Phytoremediation technique on the rehabilitation of contaminated areas and the application of *Zantedeschia aethiopica* (L.) in this process: a narrative review". *Research, Society and Development* [En línea], 2022, Maringá, Vol. 11 (15), pág. 6-9. [Consulta: 05 agosto 2023]. ISSN 2525- 3409. Disponible en: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.36959>
49. **SILVA, María José y SALINAS MORALES, Diego.** " La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana". *Revista Científica UISRAEL* [En línea], Quito (Ecuador), 2022, , Vol. 9 (1), págs. 69-80. [Consulta: 05 abril 2023]. e-ISSN: 2631 - 2786. Disponible en: <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022.427>
50. **SILVA ROCHA, Camila.; et al.** "Phytoremediation by ornamental plants: a beautiful and ecological alternative". *Environ Sci Pollut Res Int* [En línea], 2022, Vol. 29 (3), págs. 3336-3354. [Consulta: 05 julio 2023]. Disponible en: [10.1007/s11356-021-17307-7](https://doi.org/10.1007/s11356-021-17307-7)
51. **SZUMAN, Karina & LALL, Namrita.** "Zantedeschia Aethiopica". *Academia Press, Nambrita Lall* [En línea], 2020, Londres, s.n, págs. 303- 308. [Consulta: 03 junio 2023]. ISBN 9780128168141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816814-1.00046-6>.
52. **TEGTMEYER, Dietrich & KLEBAN, Martín.** *Cromo y cuero* [Blog]. LederPiel, 17 de Marzo, 2014. [Consulta: 05 Mayo 2023]. Disponible en: <http://lederpiel.com/investigacion-sobre-cromo-y-cuero/>.
53. **TOMALÁ SUÁREZ, Rober Wilson.** Fitorremediación: una alternativa para reducir la contaminación por hidrocarburos de petróleo en Ecuador. [En línea](Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Agropecuaria- Santa Elena- Ecuador. 2021. págs. 9-11. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en : <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6301/1/UPSE-TIA-2021-0040.pdf>

54. **VIANA CAICEDO, Diego Francisco** . Respuesta a la aplicación de fertilización química complementando con bioestimulantes foliares en el cultivo de Cartucho Blanco (*Zantedeschia aethiopica*) en la zona de El Ángel, provincia del Carchi. [En línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería Agronómica. Carchi- Ecuador. 2015. pág. 13- 15. [Consulta: 29 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/998/T-UTB-FACIAG-AGR-000194.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
55. **VILCA, Nuri**. Fitorremediación de cadmio con especies herbáceas en diferentes tipos de suelo en condiciones de invernadero, Amazonas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas. 2022. págs. 18-24. [Consulta: 08 agosto 2023]. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3130>
56. **VILLEGAS TAPIA, Jorge Luis**. El cultivo de Alcatraz (*Zantedeschia Aethiopica* (L.) Spreng.). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Toluca- México. 2021. págs. 25-26. [Consulta: 10 junio 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/111405>
57. **WORLD HEALTH ORGANIZATION, INTERNATIONAL AGENCY FOR THE RESEARCH ON CANCER**. "Larc Monographs on the Evaluation of carcinogenic risks to humans". 1990. Vol. 49, págs. 25- 28. [Consulta: 15 abril 2023]. 978-92-832-1249-2. Disponible en: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol49/mono49-1.pdf>



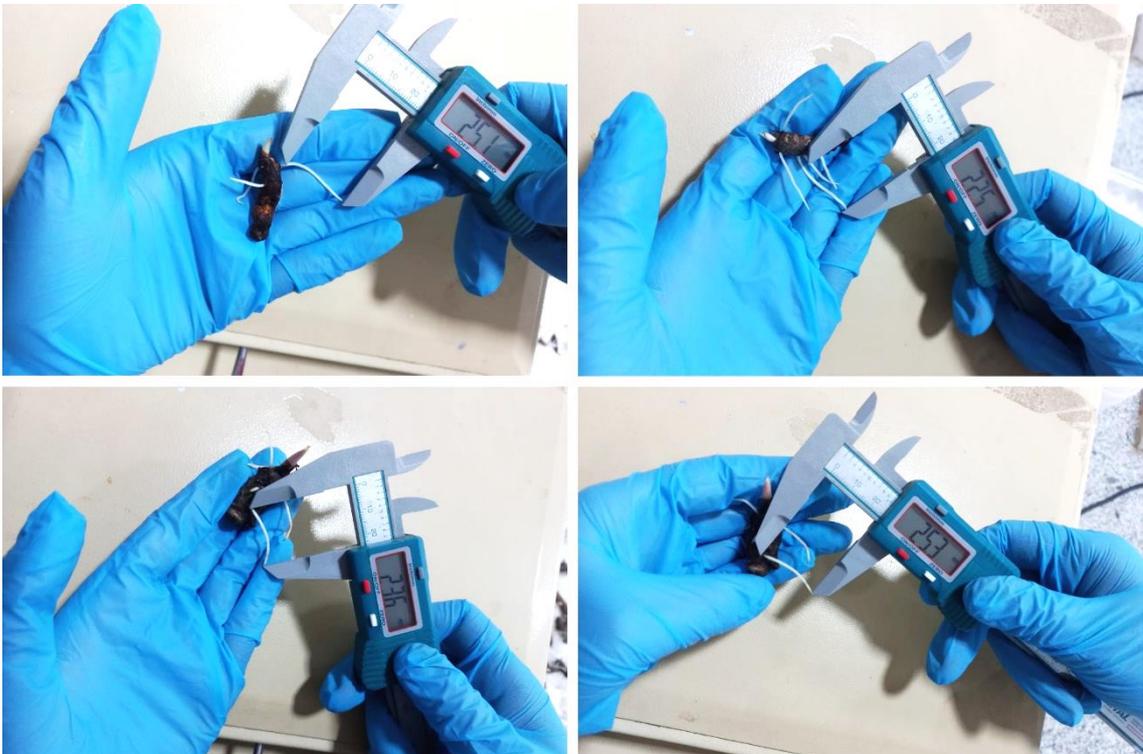
ANEXOS

ANEXO A: SEMILLAS DE LA ESPECIE ESTUDIADA: *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA*



ANEXO B: CULMINACIÓN DE LA ETAPA I: MEDICIÓN RADICULAR POR CADA CONCENTRACIÓN

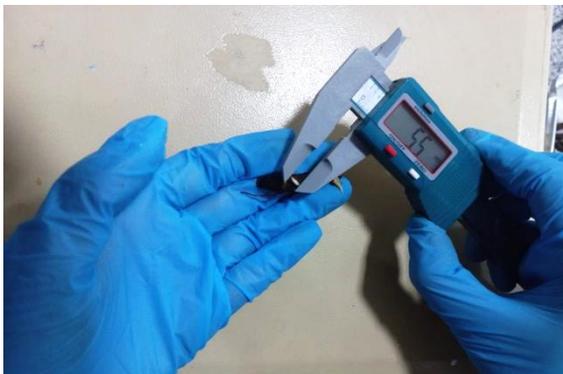
CONCENTRACIÓN: 0 PPM



CONCENTRACIÓN: 50 PPM



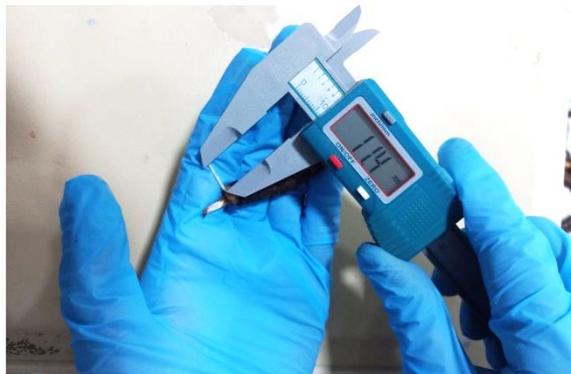
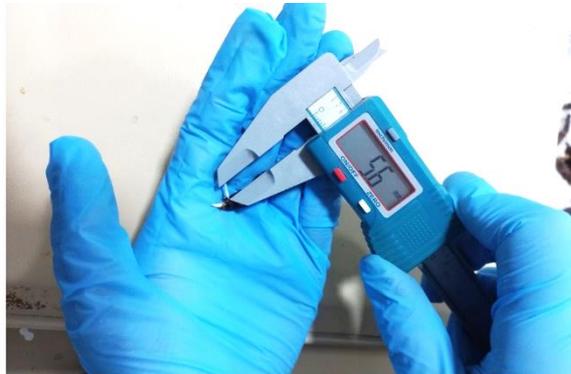
CONCENTRACIÓN: 75 PPM



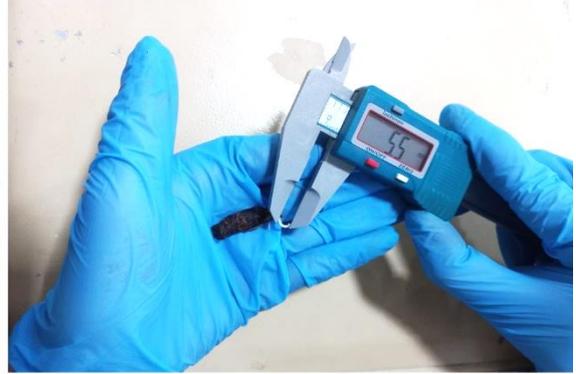
CONCENTRACIÓN: 100 PPM



CONCENTRACIÓN: 125 PPM



CONCENTRACIÓN: 150 PPM



CONCENTRACIÓN: 175 PPM



CONCENTRACIÓN: 200 PPM



CONCENTRACIÓN: 225 PPM



ANEXO C: ANÁLISIS DEL SUELO: INICIAL



USO DE MUFLA POR 2 HORAS A 500 °C, PARA LA INCINERACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO



PROCESO DE DIGESTIÓN ALCALINA EN SUELOS



FILTRACIÓN AL VACÍO DE MUESTRAS OBTENIDAS



REGULACIÓN DE PH



PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE DIFENILCARBAZIDA DISUELTA EN ACETONA



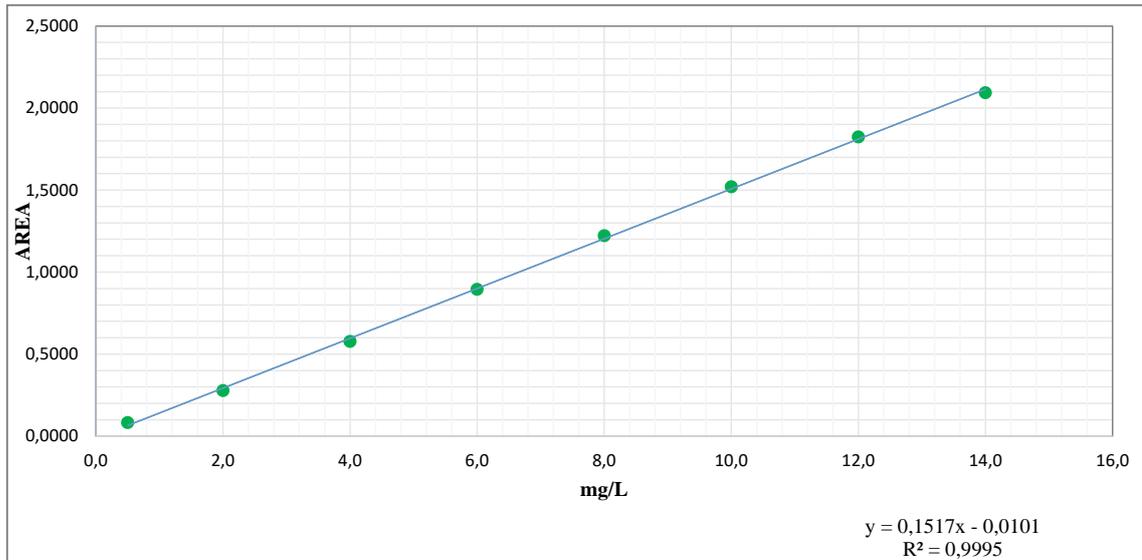
ADICIÓN DE LA SOLUCIÓN DE DIFENILCARBAZIDA



LECTURA DE MUESTRAS EN EL EQUIPO “ESPECTROFOTÓMETRO UV-VIS”



ANEXO D: CURVA DE CALIBRACIÓN



Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

ABSORBANCIA OBTENIDA DEL SUELO INICIAL

Muestra	Dilución	Ordenadas	Concentración	W-muestra	V-extracto	Concentración
	Factor	(Abs)	(mg/L)	(g)	(mL)	mg/kg
REP 1_50 ppm	1,00	0,361	2,45	5,00	100	48,9
REP 2_50ppm	1,00	0,383	2,59	5,00	100	51,8
REP 3_50ppm	1,00	0,345	2,34	5,00	100	46,8
REP 1_100 ppm	1,00	0,758	5,06	5,00	100	101,3
REP 2_100ppm	1,00	0,738	4,93	5,00	100	98,6
REP 3_100ppm	1,00	0,731	4,89	5,00	100	97,7
REP 1_150 ppm	1,00	1,114	7,41	5,00	100	148,2
REP 2_150ppm	1,00	1,119	7,44	5,00	100	148,9
REP 3_150ppm	1,00	1,123	7,47	5,00	100	149,4
REP 1_200 ppm	1,00	1,528	10,14	5,00	100	202,8
REP 2_200ppm	1,00	1,532	10,17	5,00	100	203,3
REP 3_200ppm	1,00	1,501	9,96	5,00	100	199,2
REP 1_250 ppm	1,00	1,872	12,41	5,00	100	248,1
REP 2_250ppm	1,00	1,868	12,38	5,00	100	247,6
REP 3_250ppm	1,00	1,857	12,31	5,00	100	246,2

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

ANEXO E: PLANTAS COLOCADAS EN EL INVERNADERO Y CORRECTAMENTE ETIQUETADAS



ANEXO F: SUMINISTRO DE AGUA



ANEXO G: PRIMEROS BROTES DE *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA* (L.) SPRENG



ANEXO H: PLÁNTULA DE LA ESPECIE VEGETAL



ANEXO I: DESARROLLO DE LA ESPECIE VEGETAL



ANEXO J: MEDIDA DE ÓRGANOS VEGETALES DE LA PLANTA



ANEXO K: IDENTIFICACIÓN DE NECROSIS EN HOJAS DE LA ESPECIE



ANEXO L: EXTRACCIÓN DE MUESTRAS A ANALIZAR



ANEXO M: DETERMINACIÓN DE LONGITUD FINAL



**ANEXO N: ANÁLISIS DE PLANTA *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA* (L.) SPRENG
LAVADO DE PLANTAS CON AGUA DESTILADA**



SECADO DE PLANTA EN ESTUFA A 70 °C, DURANTE 48 HORAS



TRITURACIÓN DE MUESTRAS



COLOCACIÓN DE MUESTRAS TRITURADA EN CRISOLES Y LLEVADA A LA MUFLA
POR 5 HORAS A 450 °C



MUESTRAS CALCINADAS COLOCADAS EN UN DESECADOR



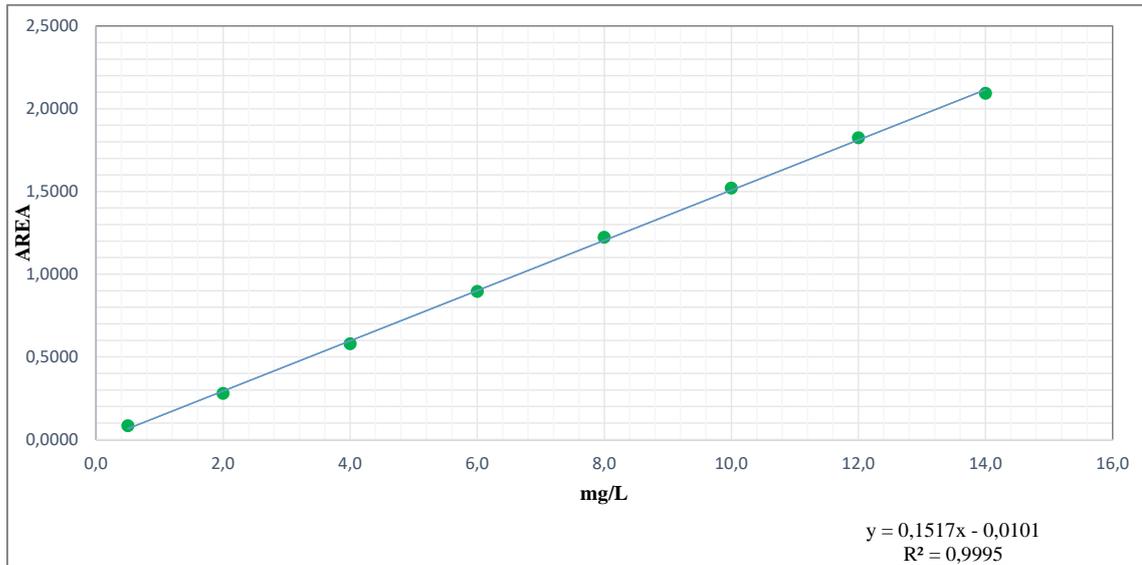
ANEXO O: MUESTRAS DEBIDAMENTE PREPARADAS PARA SU RESPECTIVO ANÁLISIS



MUESTRAS LISTAS PARA SER ANALIZADAS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO



ANEXO P: CURVA DE CALIBRACIÓN DE LAS PLANTAS: ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (L.) SPRENG



Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

ABSORBANCIA OBTENIDA DEL ANÁLISIS DE LAS PLANTAS

Muestra	Dilución	Ordenadas	Concentración	W-muestra	V-extracto	Concentración
	Factor	(Abs)	(mg/L)	(g)	(mL)	mg/kg
REP 1_50 ppm	1,00	0,107	0,78	5,00	100	15,5
REP 2_50ppm	1,00	0,092	0,68	5,00	100	13,5
REP 1_100 ppm	1,00	0,183	1,28	5,00	100	25,6
REP 2_100ppm	1,00	0,161	1,13	5,00	100	22,7
REP 1_150 ppm	1,00	0,221	1,53	5,00	100	30,6

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

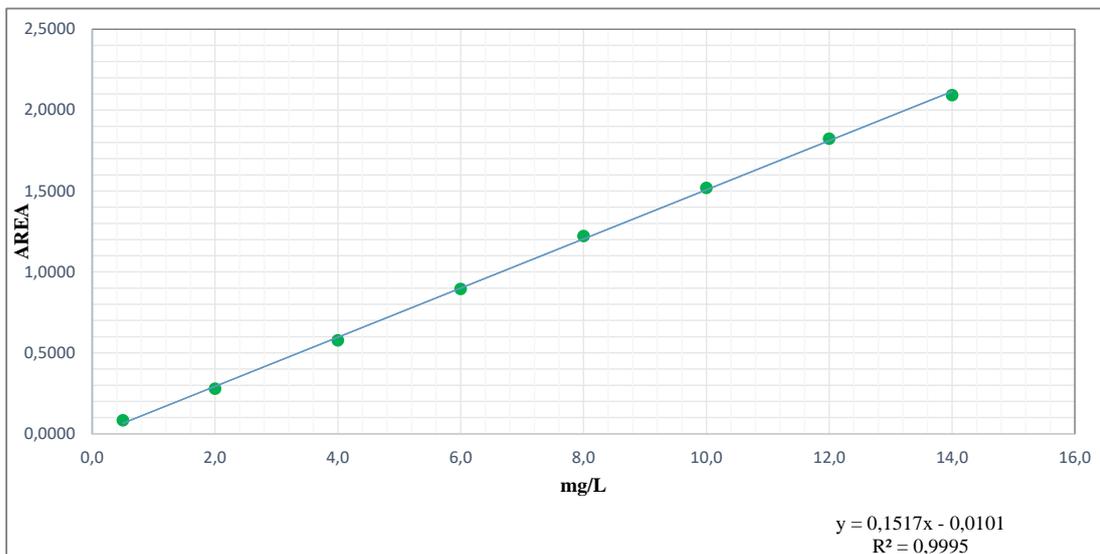
ANEXO Q: ANÁLISIS FINAL DEL SUELO



MUESTRAS FINALES DE SUELO LISTAS PARA SER LLEVADAS AL ESPECTROFOTÓMETRO



ANEXO R: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL SUELO FINAL



Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

ABSORBANCIA OBTENIDA EN EL SUELO FINAL

Muestra	Dilución Factor	Ordenadas (Abs)	Concentración (mg/L)	W-muestra (g)	V-extracto (mL)	Concentración mg/kg
REP 1_50 ppm	1,00	0,167	1,17	5,00	100	23,5
REP 2_50ppm	1,00	0,154	1,09	5,00	100	21,7
REP 1_100 ppm	1,00	0,35	2,38	5,00	100	47,7
REP 2_100ppm	1,00	0,338	2,31	5,00	100	46,1
REP 1_150 ppm	1,00	0,541	3,65	5,00	100	73,0

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

ANEXO S: BITÁCORA DE MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LA PLANTA

TALLO		N° repetición	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
BLANCO	Materia orgánica 75%, Cascajo 25%	Rep 1	13,7	18,2	25,7	28,7	33,4	38,1	41,3	45,9
			15,4	24,5	36,8	39,7	47,1	53,7	59,6	65,3
			10,9	19,4	28,7	40,5	50,7	61	66,1	66,8
			16,7	21,4	33,2	44,7	53,2	65,1	69,3	70
			8,5	19,7	30	39,6	46,1	53,7	56,1	57,3
			11,6	23,4	32,3	42,1	50,7	64,5	68,5	68,9
			16,3	28,6	36,7	44,3	53,7	68	72,3	73,1
			19,7	31,7	42,8	49,7	56,2	70,1	76,4	77,1
			14,5	29,4	35	46,9	58,7	72,4	75,1	76,1
	15,8	30,5	36,7	47,1	59,7	69,7	74,3	74,9		
	Materia orgánica 50%, Cascajo 50%	Rep 2	10,6	23,1	18,7	28	36,4	49,3	55,1	58,4
			13,2	22	30,9	42,6	50,9	64,7	66,1	67
			15,9	24,8	34,1	47,9	59,4	63	64,9	65,1
			9,8	20,3	29,3	41	53,8	59,9	62,1	62,8
			8,6	19,9	36,7	49,1	60,5	72,5	74,3	75
			17,4	28,1	40,1	51,1	63,2	69,7	73,1	73,5
			16,3	29,4	43,7	53,7	59,1	65,2	68,2	68,2
			13,9	22,8	34	47,1	67,1	70	72,5	73,2
			14,1	26,7	38,4	49,5	65,3	73,1	74,1	74,7
	7,5	15,1	25,7	32,1	40,7	55,7	58	58,1		
	Materia orgánica 25%, Cascajo 75%	Rep 3	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
0			0	0	0	0	0	0	0	
0			0	0	0	0	0	0	0	

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

TALLO		N° repetición	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
50 PPM	Materia orgánica 75%, Cascajo 25%	Rep 1	9,8	15,9	24,8	30,5	38,6	43,1	48,7	50,7
			8,7	16,7	23,9	29,7	40,5	45,6	49,2	51,1
			6,4	13,9	22,6	31,2	39,7	46,3	48,6	50,3
			10,5	18,7	28,1	35,9	44	49,2	52,3	54,9
			11,8	15,8	29,7	36,4	42,3	47,5	55,1	58,7
			9,7	16,1	29,3	34,1	41,9	49,6	56,4	58,6
			8,9	14,5	23,5	30,9	40,2	50,7	54,7	54,9
			13,7	19,7	30,4	38,6	46,2	51,3	55	59,7
			15,7	20,7	32,6	40,1	48,3	56,2	59,1	60,2
	16,7	21,3	33,9	40,9	47,1	55,6	60,3	61,9		
	Materia orgánica 50%, Cascajo 50%	Rep 2	7,5	14,9	26,1	33,3	42,3	50,3	53,7	55,1
			5,7	8,6	19,7	28,1	35,7	41,6	43,7	44,5
			12,4	16,8	27,9	32,4	40,8	47,2	50,3	54,7
			0	0	0	0	0	0	0	0
			8,8	15,4	26,9	31,2	41,5	51,9	54,4	56,2
			0	0	0	0	0	0	0	0
			10,6	17,5	29	35,7	43,8	51,7	53,6	55,1
			13	19,3	33,4	42,8	50,7	60,1	62,5	62,9
			8,1	14,7	25,1	33,9	42,9	49,7	56,2	60,8
	Materia orgánica 25%, Cascajo 75%	Rep 3	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0
0			0	0	0	0	0	0	0	

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

TALLO		N° repetición	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
100 PPM	Materia orgánica 75%, Cascajo 25%	Rep 1	7,7	15,8	25,1	32,4	41	49,7	54,2	56,8
			6,9	10,9	18,5	26,9	32,8	43,7	48,5	51,1
			8,5	16,2	24,6	30	38,5	46,1	49,7	50
			7,6	15,7	25,9	32,6	41,7	51,6	55,2	56,1
			9,1	18,9	29,5	36,7	42,1	49,3	53,2	54,2
			6,6	12,8	20,3	30,8	39,7	42,7	45,1	46,3
			8,9	16,8	24	30,5	40,6	48,2	51,2	51,9
			0	0	0	0	0	0	0	0
			8,8	17,4	25,2	32,2	40,5	48,7	50,8	52,4
	9,5	17,9	27,4	37,5	44,9	48,1	53,9	54,5		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	8,9	17,8	28,9	37,2	46,6	54,3	56,8	57,1		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	6,4	16,1	26,7	35,1	44,4	47,2	53,4	54		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	9,4	19,5	28,7	36	43,1	47,8	48,9	51,2		
	5,9	15,7	25,6	34,2	43,7	48,2	50,1	51,5		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	8,8	18,1	29,2	38,7	46,3	50,8	53,2	53,4		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	0	0	0			

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.

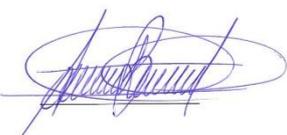
TALLO		REPETICION	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
150 PPM	Materia orgánica 75%, Cascajo 25%	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	4,8	8	14,8	24,7	32,5	37,2	41,7	41,9
		4	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	7,8	11,6	20,7	27,5	34,1	39,6	45,6	45,9
		6	0	0	0	0	0	0	0	0
		7	8,9	12,5	20,9	27,1	37,9	42,1	43,6	43,9
		8	0	0	0	0	0	0	0	0
		9	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	6,2	8,6	15,3	23,8	33,6	35,8	38,4	39,4
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	

Realizado por: Núñez, N.; Tipantuña, K., 2023.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 01/05/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Natividad de los Angeles Núñez Lozano Katerin Daniela Tipantuña Lema
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
 Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, MSc. Director del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce, MSc. Asesora del Trabajo de Integración Curricular