



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LA CAPACIDAD BIOACUMULADORA DE CROMO HEXAVALENTE EN *Lactuca sativa L.* (LECHUGA) y *Beta vulgaris var. cicla* (ACELGA) EN ETAPA TEMPRANA DE CRECIMIENTO

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: LESLIE MICAELA NÚÑEZ SÁNCHEZ

DIEGO ARMANDO SILVA MERCHÁN

DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Leslie Micaela Núñez Sánchez & Diego Armando Silva Merchán

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

Nosotros, LESLIE MICAELA NÚÑEZ SÁNCHEZ y DIEGO ARMANDO SILVA MERCHÁN, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados de este 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 Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de Octubre del 2022



.....
Leslie Micaela Núñez Sánchez

C.I. 180399134-6

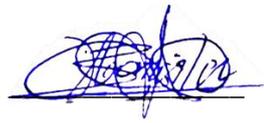
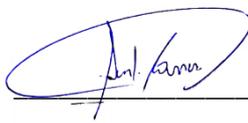


.....
Diego Armando Silva Merchán

C.I. 180480945-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación. **EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LA CAPACIDAD BIOACUMULADORA DE CROMO HEXAVALENTE EN *Lactuca sativa L.* (LECHUGA) y *Beta vulgaris var. cicla* (ACELGA) EN ETAPA TEMPRANA DE CRECIMIENTO** realizado por los señores: **LESLIE MICAELA NÚÑEZ SÁNCHEZ** y **DIEGO ARMANDO SILVA MERCHÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paulina Fernanda Bolaños Logroño, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-10-28
Ing. Juan Carlos González García MSc, PhD. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-10-28
Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-10-28

DEDICATORIA

A la vida por haberme permitido evolucionar en esta línea de tiempo.

A mis padres, Ángel Silva y María Isabel Merchán por brindarme su apoyo y confianza incansable en todo momento, ustedes han formado parte de este logro ayudándome a superar incontables obstáculos a lo largo de este camino. A mis hermanos Verónica, Eduardo, Diana por acompañarme en este viaje de vida, gracias por estar pendientes dentro de mi crecimiento académico y personal. A mi novia Lineth, gracias por brindarme acompañamiento incondicional en gran parte de la carrera universitaria y la realización de este proyecto, gracias por estar siempre a mi lado mi amor. Por último, pero no menos importante a mi compañera de tesis, Leslie, gracias infinitas por hacer posible esto, por tu paciencia y sabiduría, lo hemos logrado juntos!

Diego

“No mido el éxito de una persona por lo alto que escala, sino por lo rápido que se levanta al caerse” (George S. Patton).

Este trabajo lo dedico a Dios y a mis padres Edgar Núñez y Cecilia Sánchez quienes han sido la luz y guía en mi continuo caminar convirtiéndose así en un pilar fundamental, además de ser un ejemplo de lucha y perseverancia para cumplir mis metas y objetivos propuestos en la vida. A mi hermana Jéssica Núñez quien con su enseñanza y apoyo a lo largo de mis estudios me ha mostrado el valor de perseguir los sueños. Por eso gracias infinitas por su dedicación, hoy soy y seré el reflejo de sus esfuerzos y tendré la satisfacción de recompensarlos siendo una persona de bien, cumpliendo su más anhelado sueño, el convertirme en una futura profesional. Además, a mi compañero de tesis Diego por su dedicación y aporte de conocimientos para lograr esta investigación.

Leslie

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por la formación impartida y brindarnos la oportunidad de haber vivido esta experiencia abundante de momentos inmemorables.

Un sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, Ing. Juan Carlos González García, por todo el apoyo, conocimiento y tiempo dedicado, además de sus relevantes consejos que han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Gracias Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz por su acompañamiento como asesor y seguimiento a lo largo del proceso. Al Dr. Víctor Alberto Lindao Córdova por su paciencia y orientación en el desarrollo técnico a lo largo de esta presente investigación.

Diego & Leslie

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Marco conceptual.....	4
1.1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Bases teóricas.....	5
1.2.1. Contaminación por cromo en suelos.....	5
1.2.2. Contaminación por cromo en Ecuador.....	5
1.2.3. Taxonomía de <i>Lactuca sativa L.</i>.....	6
1.2.4. Taxonomía de <i>Beta vulgaris var. cicla</i>.....	6
1.2.5. El Cromo.....	7
1.2.5.1. Generalidades.....	7
1.2.6. Metales pesados.....	8
1.2.7. Tolerancia a metales pesados.....	8
1.2.8. Propiedades Físicoquímicas del Cromo.....	9
1.3. Bioacumulación de cromo VI.....	9
1.4. Presencia de metales en planta y suelo.....	9
1.5. Bioensayos.....	10
1.5.1. Características de los Bioensayos.....	11
1.5.2. Bioensayos en plantas.....	11
1.5.3. Ventajas del uso de las plantas en los bioensayos.....	12
1.6. Fitotoxicidad en plantas.....	12
1.6.1. Estructura de las semillas.....	13
1.6.2. Fases del Proceso de Germinación.....	14
1.7. Índice de Germinación.....	15
1.8. Porcentaje de germinación relativo de semillas.....	16

1.9.	Crecimiento relativo de la radícula	16
1.10.	Normativa Ecuatoriana.....	16
1.10.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	16
1.10.2.	<i>Código Orgánico de Organización Territorial Autónomo Descentralizado (COOTAD)</i>	17
1.10.3.	<i>Ley Orgánica de Salud</i>	17
1.10.4.	<i>Ley de Gestión Ambiental</i>	17
1.10.5.	<i>Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua</i>	18
1.10.6.	<i>Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados</i>	18

CAPÍTULO II 19

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	19
2.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	19
2.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	19
2.1.2.	<i>Diseño de la investigación</i>	19
2.2.	Ubicación de la investigación	22
2.3.1.	<i>Etapa I: Germinación</i>	22
2.3.1.1.	<i>Preparación de diferentes concentraciones de dicromato de potasio para el riego</i>	22
2.3.1.2.	<i>Siembra en cajas Petri</i>	24
2.3.2.	<i>Etapa II: Crecimiento temprano en invernadero</i>	29
2.3.2.1.	<i>Diseño de recipientes en la etapa II</i>	29
2.3.2.2.	<i>Adaptación del sustrato</i>	30
2.3.3.	<i>Análisis en laboratorio de las especies</i>	34
2.3.4.	<i>Análisis de la etapa de germinación</i>	38
2.3.5.	<i>VARIABLES DE CONTROL EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO</i>	39

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
3.1.	Etapa I Germinación: <i>Lactuca sativa L.</i>	41
3.1.1.	<i>Número de semillas germinadas</i>	41
3.2.	Etapa I Germinación: <i>Beta vulgaris var. cicla</i> (Acelga)	43
3.2.1.	<i>Número de semillas germinadas</i>	43
3.3.	Análisis de la varianza ADEVA	44

3.3.1.	<i>Porcentaje de Germinación</i>	44
3.3.2.	<i>Longitud radicular: Lactuca sativa L</i>	48
3.3.3.	<i>Longitud radicular: Beta vulgaris var. cicla</i>	49
3.3.4.	<i>Análisis de varianza ADEVA</i>	49
3.4.	Índice de Germinación	54
3.5.	Etapa II Crecimiento temprano en invernadero	56
3.5.1.	<i>Concentración Planta</i>	56
3.5.2.	<i>Concentración suelo</i>	59
3.6.	Ancho Foliar y Altura de <i>Lactuca sativa L</i> y <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	64
3.6.1.	<i>Ancho Foliar: Lactuca sativa L</i>	65
3.6.2.	<i>Ancho Foliar: Beta vulgaris var. Cicla</i>	66
3.6.3.	<i>Altura de la planta: Lactuca sativa L</i>	67
3.6.4.	<i>Altura de la planta: Beta vulgaris var. Cicla</i>	68
3.7.	VARIABLES DE CONTROL EN EL INVERNADERO	69
3.7.1.	<i>Seguimiento de temperatura y humedad relativa</i>	69
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación botánica del género <i>Lactuca sativa L</i>	6
Tabla 2-1:	Clasificación botánica del género <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	7
Tabla 3-1:	Compuestos de cromo según su estado de oxidación	7
Tabla 4-1:	Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola	18
Tabla 5-1:	Criterios de calidad de suelo	18
Tabla 1-2:	Diseño completamente al azar (DCA).....	19
Tabla 2-2:	Localización de la investigación	22
Tabla 3-2:	Preparación de diluciones de (K ₂ Cr ₂ O ₇).....	23
Tabla 4-2:	Diseño de recipientes	29
Tabla 5-2:	Análisis de las especies	34
Tabla 6-2:	Seguimiento y control de temperatura y humedad relativa	40
Tabla 1-3:	Número de semillas germinadas de <i>Lactuca sativa L</i>	41
Tabla 2-3:	Porcentaje de germinación relativa de <i>Lactuca sativa L</i>	42
Tabla 3-3:	Porcentaje de Longitud radicular de <i>Lactuca sativa L</i>	42
Tabla 4-3:	Índice de Germinación de <i>Lactuca sativa L</i>	42
Tabla 5-3:	Número de semillas germinadas de <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	43
Tabla 6-3:	Porcentaje de germinación relativa de <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	43
Tabla 7-3:	Porcentaje de Longitud radicular de <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	44
Tabla 8-3:	Índice de Germinación de <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	44
Tabla 9-3:	Análisis de Varianza para el porcentaje de germinación	45
Tabla 10-3:	Prueba DMS al 5% para porcentaje de germinación por especies.....	45
Tabla 11-3:	Prueba Tukey al 5% para porcentaje de germinación por concentración	46
Tabla 12-3:	Prueba Tukey al 5% para porcentaje de germinación en la interacción especies*concentraciones	47
Tabla 13-3:	Medición longitud radicular a los 5 días. <i>Lactuca sativa L</i>	48
Tabla 14-3:	Medición longitud radicular a los 5 días. <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	49
Tabla 15-3:	Análisis de varianza para longitud radicular	50
Tabla 16-3:	Prueba DMS al 5% para Longitud radicular por especies	50
Tabla 17-3:	Prueba de Tukey al 5% para Longitud radicular por concentraciones.....	51
Tabla 18-3:	Prueba Tukey al 5% para longitud radicular en la interacción especies*concentraciones	52
Tabla 19-3:	Análisis de Varianza para índice de germinación	54
Tabla 20-3:	Prueba DMS al 5% para índice de germinación por especies	55
Tabla 21-3:	Prueba de Tukey al 5% para índice de germinación por concentraciones	55

Tabla 22-3: Análisis de Varianza para concentración de Cromo hexavalente en planta	56
Tabla 23-3: Prueba DMS al 5% para concentración de Cromo hexavalente en planta por especies	57
Tabla 24-3: Prueba de Tukey al 5% para concentración de Cromo hexavalente en planta por concentración.....	58
Tabla 25-3: Análisis de Varianza para concentración de Cromo hexavalente en suelo	59
Tabla 26-3: Prueba DMS al 5% para concentración de Cromo hexavalente en suelo por especies	60
Tabla 27-3: Prueba Tukey al 5% para concentración de Cromo hexavalente en suelo por concentraciones.....	61
Tabla 28-3: Prueba Tukey al 5% para concentración de Cromo hexavalente en suelo en la interacción especies*concentraciones	62
Tabla 29-3: Seguimiento del ancho foliar. Especie <i>Lactuca sativa L</i>	65
Tabla 30-3: Seguimiento del ancho foliar. Especie <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	66
Tabla 31-3: Seguimiento de la altura en las plantas. Especie <i>Lactuca sativa L</i>	67
Tabla 32-3: Seguimiento de la altura en las plantas. Especie <i>Beta vulgaris var. Cicla</i>	68
Tabla 33-3: Promedio Temperatura Diaria (°C) en el interior del invernadero	69
Tabla 34-3: Seguimiento de la humedad relativa (%) en el interior del invernadero	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Organismos modelos utilizados para bioensayos.....	10
Figura 2-1:	Bioensayos con <i>Cucumis sativus</i>	12
Figura 3-1:	Fitotoxicidad por cromo en <i>Lactuca sativa L.</i>	13
Figura 4-1:	Partes de la semilla.....	14
Figura 5-1:	Fases del proceso de germinación	15
Figura 1-2:	Solución madre.....	23
Figura 2-2:	Diluciones de cromo hexavalente	24
Figura 3-2:	Concentraciones de Cromo hexavalente	24
Figura 4-2:	Diseño de siembra con concentraciones de Cromo VI	25
Figura 5-2:	Esterilización de cajas Petri y materiales a utilizar	25
Figura 6-2:	Semillas certificadas de <i>Lactuca sativa L.</i>	26
Figura 7-2:	Semillas certificadas de <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	26
Figura 8-2:	Colocado de papel filtro en las cajas Petri.	26
Figura 9-2:	Riego a las cajas con cada concentración.	27
Figura 10-2:	Colocación de semillas en las cajas Petri.....	27
Figura 11-2:	Etiquetado de cajas Petri con cada tratamiento.....	27
Figura 12-2:	Cajas Petri colocadas en la incubadora a 23 °C.....	28
Figura 13-2:	Inspección de semillas transcurrido 5 días.....	28
Figura 14-2:	Medición longitudinal de radícula e hipocótilo	28
Figura 15-2:	Diseño de recipientes en la Etapa II	29
Figura 16-2:	Montaje de recipientes.....	30
Figura 17-2:	Sustrato HAWITA.....	30
Figura 18-2:	Preparación del sustrato.....	31
Figura 19-2:	Distribución del sustrato en vasos	31
Figura 20-2:	Colocación de los vasos en bandejas	31
Figura 21-2:	Riego del sustrato	32
Figura 22-2:	Adición de cromo VI en el sustrato	32
Figura 23-2:	Identificación de las especies	33
Figura 24-2:	Dosificación de cromo VI	33
Figura 25-2:	Observación de cambios en las especies.....	34
Figura 26-2:	Lavado de muestras	35
Figura 27-2:	Maceración de plantas.....	35
Figura 28-2:	Homogenización de muestras.....	36
Figura 29-2:	Filtrado de muestras	36

Figura 30-2: Tamizado del suelo.....	37
Figura 31-2: Estándares de cromo hexavalente.....	37
Figura 32-2: Espectrofotómetro de UV.....	38
Figura 1-3: Semillas germinadas: <i>Beta vulgaris var. Cicla</i>	54
Figura 2-3: Índice de bioacumulación de plantas verdes.....	63
Figura 3-3: Efecto LOAEL en acelga y lechuga.....	64
Figura 4-3: Efecto NOAEL en acelga y lechuga.....	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Porcentaje de germinación por especies.....	46
Gráfico 2-3:	Prueba de Tukey por concentración (%GRS)	47
Gráfico 3-3:	Prueba de Tukey interacción especies*concentraciones	48
Gráfico 4-3:	Longitud radicular por especies	51
Gráfico 5-3:	Prueba de Tukey por concentraciones (Longitud radicular).....	52
Gráfico 6-3:	Prueba de Tukey interacción especies*concentraciones,Longitud radicular	53
Gráfico 7-3:	Índice de germinación por especies	55
Gráfico 8-3:	Prueba de Tukey índice de germinación por concentraciones	56
Gráfico 9-3:	Índice de germinación en planta por especies	58
Gráfico 10-3:	Prueba de Tukey en planta por concentración.....	59
Gráfico 11-3:	Concentración Cromo VI en suelo por especies.....	60
Gráfico 12-3:	Prueba de Tukey en suelo por concentración	61
Gráfico 13-3:	Prueba de Tukey en suelo interacción especies*concentraciones	63
Gráfico 14-3:	Variación de temperatura en el interior del invernadero	70
Gráfico 15-3:	Variación de humedad relativa en el interior del invernadero	73

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN
- ANEXO B:** SEMILLAS DE LECHUGA Y ACELGA (8PPM)
- ANEXO C:** MEDICIÓN DE LA ALTURA FOLIAR Y ANCHO FOLIAR
- ANEXO D:** DOSIFICACIÓN SEGÚN LA CONCENTRACIÓN (2, 4, 6, 8 PPM)
- ANEXO E:** ACELGA (0, 2, 4, 6 Y 8 PPM)
- ANEXO F:** LECHUGA (0, 2, 4, 6 Y 8 PPM)
- ANEXO G:** HOMOGENIZACIÓN DE MUESTRAS (SUELO Y PLANTA) EN SHAKER
- ANEXO H:** ESTÁNDARES ESTABLECIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN (0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,25 PPM)
- ANEXO I:** MEDICIÓN DE ABSORBANCIAS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO UV – VISIBLE
- ANEXO J:** DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS (DILUCIONES DE CROMO VI)
- ANEXO K:** UBICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN
- ANEXO L:** REGISTRO DEL ANCHO FOLIAR. ESPECIE *LACTUCA SATIVA L*
- ANEXO M:** REGISTRO DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS. ESPECIE *LACTUCA SATIVA L*
- ANEXO N:** REGISTRO DEL ANCHO FOLIAR. ESPECIE *BETA VULGARIS VAR. CICLA*
- ANEXO O:** REGISTRO DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS. ESPECIE *BETA VULGARIS VAR. CICLA*
- ANEXO P:** SEGUIMIENTO DE TEMPERATURA (°C) EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO
- ANEXO Q:** SEGUIMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA (%) EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO
- ANEXO R:** CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN
- ANEXO S:** RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS DE CROMO HEXAVALENTE MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VISIBLE EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la capacidad de la *Lactuca sativa L.* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) para bioacumular cromo hexavalente Cr+6. Para ello, se probaron cinco tratamientos a diferentes concentraciones (2, 4, 6, y 8) ppm a partir de K₂Cr₂O₇ y un control de 0ppm cada uno con seis repeticiones; y se aplicó un diseño completamente aleatorio bifactorial. La germinación se realizó en cajas petri basándose en un protocolo establecido en un periodo de 120 horas y el crecimiento temprano en el invernadero, donde se utilizó recipientes térmicos como macetas. Para esta fase se realizó el acondicionamiento del sustrato, seguido de la siembra de semillas y posteriormente la dosificación (40 mL) de cada tratamiento durante un periodo de dos meses. Las muestras se analizaron a través de espectrofotometría UV y para la comparación estadística de datos se utilizó el software InfoStat 2020. Como resultado, el porcentaje relativo de germinación (%GRS) a 8 ppm fue 90 % en lechuga y un 30% en acelga; la del testigo fue de 100% y 71,67 % respectivamente; por lo cual las semillas de acelga presentaron una alta sensibilidad al metal. Además, en la longitud radicular a los 8 ppm se registró un valor de 3,68cm para la acelga y para la lechuga un 2,58cm al mismo tratamiento, siendo esta la que indicó mayor sensibilidad en su desarrollo. Con respecto al índice de germinación (IG) la lechuga registró un 68,33% y la acelga un 50,97% por lo que se concluye que ambas especies presentaron una fitotoxicidad moderada. Se recomienda analizar por separado las partes de la planta con la finalidad de determinar si el Cromo VI es acumulado en hojas y raíces para así estimar la concentración exacta fitoextraída por las plantas.

Palabras clave: <CROMO HEXAVALENTE>, <LECHUGA (*Lactuca sativa L.*)>, <ACELGA (*Beta vulgaris var. cicla*)>, <BIOACUMULACIÓN>, <GERMINACIÓN>, <SUELO>, <PLANTA>.



2201-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

In this research, the capacity of *Lactuca sativa* L. (lettuce) and *Beta vulgaris* var. *cicla* (chard) to bioaccumulate hexavalent chromium Cr+6. For this, five treatments were tested at different concentrations (2, 4, 6, and 8) ppm from K₂Cr₂O₇ and a control of 0 ppm each with six repetitions applying a completely randomised bifactorial design. Germination was carried out in Petri dishes based on a protocol established in 120 hours and early growth in the greenhouse, where thermal containers were used as pots. In this stage, the conditioning of the substrate was carried out, followed by the sowing of seeds and, later, the dosage (40 mL) of each treatment for two months. The samples were analysed through UV spectrophotometry; InfoStat 2020 was used to compare data statistically. As a result, the relative percentage of germination (%GRS) at eight ppm was 90% in lettuce and 30% in chard; that of the control was 100% and 71,67%, respectively the chard seeds presented a high sensitivity to metal. In addition, in the root length at eight ppm, a value of 3,68 cm was recorded for chard and 2,58 cm for lettuce at the same treatment, indicating the most significant sensitivity in its development. Regarding the germination index (IG), lettuce registered 68,33% and chard 50,97%, so it is concluded that both species presented moderate phytotoxicity. It is recommended to analyse the parts of the plant separately to determine if Chromium VI is accumulated in leaves and roots to estimate the exact Phyto concentration extracted by the plants.

Keywords: <HEXAVALENT CHROMIUM>, <LETTUCE (*Lactuca sativa* L)>, <CHAD (*Beta vulgaris* var. *cicla*)>, <BIOACCUMULATION>, <GERMINATION>, <SOIL>, <PLANT>.



Ing. Paul Obregón.Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

Con el incremento de las actividades antropogénicas como la fabricación de colorantes y pigmentos, la deposición de residuos industriales y domésticos, relaves mineros, lodos de depuradora, producción de fertilizantes inorgánicos, agroquímicos y pesticidas (Cortés et al., 2017, p.44) se han generado una gran variedad de agentes químicos, ocasionando problemas a la salud humana y a los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los efectos de estos contaminantes dependen de la concentración en la que se encuentren, su persistencia y biodisponibilidad, causando desde efectos no letales hasta la muerte de poblaciones enteras (Castañedo et al., 2019, p.128).

Como lo menciona (Sobrero, 2010, p.10) en las últimas décadas se ha observado un considerable aumento de los niveles de metales pesados en diferentes compartimentos ambientales, dentro de los que se encuentran aquellos con una densidad mayor a 5g/cm^3 como el cromo, cadmio, mercurio, cobre, aluminio, zinc, entre otros. Con respecto al cromo, no se halla libre en la naturaleza sino de manera combinada funcionando químicamente con distintos estados de oxidación (bivalente, trivalente y hexavalente) siendo este último de gran importancia por su alto poder tóxico.

Los derivados del cromo VI son de origen antropogénico, provenientes en su gran mayoría de las curtiembres donde las concentraciones de cromo VI pueden variar entre 1 a 77 mg L^{-1} del elemento (Giardina et al., 2012, p.76), en Ecuador alrededor del 80% de la industria de la curtiembre efectúa sus actividades en la provincia de Tungurahua, convirtiéndose en un foco generador de contaminación ambiental (Silva & Salinas, 2022, p.72) depositándose en el suelo, aguas superficiales, medios acuáticos y en un pequeño grado se puede bioacumular en organismos vivos (plantas y animales).

Además de la presencia de contaminantes metálicos en el agua de riego en los sistemas agrícolas de producción, puede ser un factor de riesgo para la salud de los consumidores de vegetales cultivados, ya que, pueden ser bioacumulados por las plantas y animales para posteriormente pasar a los seres humanos a través de la alimentación. La acelga adapta a varias condiciones climáticas, resiste a la época de invierno y los calores del verano, hortaliza de clima frío, tolera temperaturas muy bajas y altas la temperatura óptima para su germinación es de 10 a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para su desarrollo de 15 a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a *Lactuca sativa L.* es una planta herbácea anual de gran adaptabilidad a distintos climas, entre una temperatura óptima de 15 a los $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, se adapta bien a todo tipo de suelos siendo los más idóneos aquellos ricos en materia orgánica y es muy sensible al exceso de humedad (Japon, s.f., pp. 1-20). La lechuga se considera una planta acumuladora que tiene la capacidad de asimilar el cromo e introducirlo a su sistema comenzando en la raíz, luego transferirlo y concentrarlo en el tallo y las hojas (Hincapié & Puerto, 2019, p.43).

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se conoce que la caracterización y medición de tóxicos no es suficiente para asegurar la ausencia de efectos indeseables, ya que pueden existir posibles transformaciones modificando su efecto nocivo (Castillo, 2004, p.314), de ahí la importancia del uso de bioensayos ecotoxicológicos para la evaluación de la toxicidad estableciendo relaciones con la concentración–respuesta bajo condiciones controladas en terreno o en el laboratorio (Castañedo et al., 2019, p.156).

Respecto a las especies herbáceas *Beta vulgaris var. cicla*, y *Lactuca sativa L.* existen ciertos estudios sobre la importancia de utilizarlas como bioacumuladoras, puesto que pueden estabilizar a los metales pesados, almacenándolos en los tejidos foliares y las raíces, debido a la presencia de grupos funcionales tanto en los exudados del vegetal que ayudan en dicho proceso. Entre las alternativas que mejores resultados evidencian en cuanto a suelos y agua respecta, se encuentra la aplicación de técnicas biológicas en procesos de biorremediación siendo una de las tecnologías que no representan daños al medio ambiente y que además son relativamente menos costosas en relación a las técnicas físico – químicas.

Al hacer uso de estas especies se pretende conocer su comportamiento y capacidad de acumulación frente al cromo hexavalente ya que son particularmente sensibles para realizar bioensayos, ambas representan ser indicadoras del efecto de compuestos tóxicos y buenas acumuladoras de metales pesados en sus tejidos, son de fácil y rápida germinación lo que representa la posibilidad de realizar bioensayos en un tiempo relativamente corto.

Por su parte, basados en información con respecto a las especies, se ha encontrado que estas aprovechan su capacidad de absorción, acumulación, metabolización, volatilización y estabilización de contaminantes presentes en el suelo, agua o sedimentos, lo cual representa una alternativa eficiente en el tratamiento de la contaminación con metales pesados. Se considerada como una de las tecnologías mayormente utilizadas, siendo cada vez más aplicadas y sus resultados permiten determinar un sin número de ventajas en comparación con los métodos fisicoquímicos que son los mejor recomendados. Cabe mencionar que el país se han desarrollado pocos estudios de evaluaciones toxicológicas con metales pesados en especies vegetales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar en laboratorio la capacidad bioacumuladora de cromo hexavalente en *Lactuca sativa L.* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) en etapa temprana de crecimiento.

Objetivos Específicos

- Cultivar en laboratorio *Lactuca sativa L.* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga).
- Aplicar distintas concentraciones de cromo hexavalente sobre los cultivos de *Lactuca sativa L.* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) y verificar sus efectos toxicológicos.
- Registrar el comportamiento de los cultivos expuestos al cromo hexavalente en cada una de las especies, y su nivel de tolerancia al contaminante.
- Determinar la acumulación de cromo (VI) en *Lactuca sativa L.* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) al finalizar los ensayos de exposición.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Marco conceptual

1.1.1. Antecedentes de la investigación

En el país se han desarrollado muy pocos estudios de evaluación toxicológica en especies vegetales, encontrándose investigaciones internacionales en su gran mayoría; con lo cual se establece que ambas especies poseen una aceptada cantidad de bioensayos. A lo largo de la historia los suelos han sido ampliamente contaminados y afectados mayormente por actividades antropogénicas, así mismo se ha puesto en práctica numerosas técnicas para intentar subsanarlos, dentro de estos se encuentran los mecanismos convencionales, que están relacionados con los tratamientos biológicos, físicos y térmicos. Por su parte, los mecanismos no convencionales hacen uso en su gran mayoría de tecnologías avanzadas como la oxidación, la nanotecnología, la biorremediación, entre otras (Martínez & Casallas, 2018, p.29).

En una investigación realizada por Bautista et al. (2013, p.48) sobre los efectos de cadmio y cromo en la germinación de semillas y elongación de raíces en lechuga, espinaca y acelga a concentraciones de (25, 35 y 50 $\mu\text{M L}^{-1}$) mostraron una respuesta de susceptibilidad diferencial a Cd y Cr, donde el cromo mostró menos efectos negativos, disminuyendo la germinación en un 29% en acelgas, 6% en lechuga y 34% en espinacas, en comparación con el control.

En el análisis preliminar de la fitotoxicidad del Pb de la zona urbana de Cuenca, se evaluó su toxicidad en cuatro especies, mediante el bioensayo de germinación y enlongación de raíz e hipocótilo en semillas de *Lactuca sativa L.*, *Beta vulgaris*, *Brassica oleracea itálica*, *Allium cepa* y *Raphanus sativus*, se expusieron a diferentes diluciones de la suspensión acuosa. Los resultados mostraron que el efecto tóxico del Pb dependió de la concentración y de las especies tomadas para este estudio, evidenciando diferentes grados de fitotoxicidad (García-Alvear & Abad-Terán, 2015, p.9).

Guzmán (2015, p.12) determinó el efecto del plomo en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento en el frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y el maíz (*Zea mays L.*), se empleó un sistema compuesto por recipientes inundados para exponer las plantas al metal, mediante bioensayos se determinó que la concentración de 5g/L⁻¹ de plomo afectó el proceso de imbibición en ambos cultivos, siendo más notorio en el frijol. Además, se pudo evidenciar que el porcentaje de germinación se redujo notablemente en el frijol, pero no se afectó en las semillas de maíz, con

esto el crecimiento de los órganos vegetales en ambas especies en presencia del plomo se redujo significativamente.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Contaminación por cromo en suelos

El cromo es utilizado generalmente en procesos metalúrgicos y de manufactura, producción de acero inoxidable; estos procesos generan contaminantes que son vertidos a ríos aledaños generando afectaciones sociales y ecológicas debido a las altas concentraciones de cromo en los cuerpos de agua. Así mismo, entre las actividades más relevantes esta la agricultura, en la que se hace uso de pesticidas, herbicidas entre otros agroquímicos que se disgregan y generan una contaminación peligrosa en la matriz del suelo (Garcia & Milly, 2018, p.29).

1.2.2. Contaminación por cromo en Ecuador

Dentro de los metales más importantes por sus diversos usos en el área industrial se encuentra el cromo, ya que se genera a partir de desechos de la industria del curtido de cuero, acero inoxidable, aleaciones, pinturas, cemento, pigmentos de impresora y cromado. La contaminación ocasionada en el suelo y agua es el resultado de la descarga incontrolada de contaminantes que contienen cromo, como resultado de la creciente actividad antropogénica, lo que aumenta el contenido del mismo en el medio ambiente resultando perjudicial para la salud (Cifuentes y Novillo, 2016, p.70).

En Ecuador la mayoría de las tenerías se encuentran en la provincia de Tungurahua, seguida de Guayas, Cuenca y Pichincha. La contaminación se origina porque en las curtiembres solo reacciona el 80% del cromo de la piel y el 20% restante se excreta en las aguas residuales sin ningún tratamiento preventivo. El principal problema radica en que el contaminante ingresa a los efluentes contaminando las fuentes de agua que en la mayoría son usadas para riego agrícola (Dheri, 2007; citado en Cifuentes y Novillo, 2016, p.70).

El tratamiento con altas concentraciones de cromo puede reducir el crecimiento y el rendimiento de las plantas en relación con los cambios nutricionales, tanto en la absorción como en el transporte de varios elementos esenciales.

1.2.3. Taxonomía de *Lactuca sativa* L.

Científicamente se la conoce con otros nombres que son: *Lactuca capitata*, *Lactuca integrifolia*, *Lactuca esculenta*, *Lactuca sativa* var. *asparagina*, *Lactuca integrata*, *Lactuca scariola* var. *sativa*, entre otros. Existe nombres comunes que son: lechuga o lechuga común (en español), lettuce (en inglés) (Saavedra, 2017, p.3).

La lechuga es una especie que crece en climas templados ya sea en cultivos hidropónicos o en cultivo protegido en suelo, su cultivo requiere de una alta intensidad lumínica para que las hojas crezcan mejor en cuanto a volumen (Valadez, 1997; citado en Martínez, 2019, p.13). Necesita suelos que posean un alto contenido de materia orgánica y humedad, tomando en cuenta que mantengan un buen drenaje (Rodríguez, 2018; citado en Cabrera, 2021).

Tabla 1-1: Clasificación botánica del género *Lactuca sativa* L

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>sativa</i>

Fuente: (Saavedra, 2017).

1.2.4. Taxonomía de *Beta vulgaris* var. *cicla*

La *Beta vulgaris* var. *cicla* forma parte de la división de las plantas con flores dicotiledóneas, dentro de la familia de las Asteraceae. Particularmente, la distribución de esta especie es extensa, pero principalmente es propia de zonas áridas y semiáridas templadas y subtropicales.

Puede desarrollarse en clima templado – húmedo, aunque la mayoría vegeta bien con temperaturas medias. A pesar de que presenta limitada variedad, algunas son resistentes al frío, en etapa de crecimiento, pero en presencia de hojas son muy susceptibles a padecer heladas, provocando floración prematura (Ayala-Luna et al., 2021, p.13).

Tabla 2-1: Clasificación botánica del género *Beta vulgaris var. cicla*

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Chenopodiaceae
Género	<i>Beta</i>
Especie	<i>Beta vulgaris</i>

Fuente: (Benítez de Rojas et al., 2006).

1.2.5. El Cromo

1.2.5.1. Generalidades

El cromo (Cr) es un oligoelemento metálico que forma parte del grupo VIB de la tabla periódica, entre el grupo de elementos de transición interna, presenta una masa atómica igual a 51,996 g/mol. De manera química, el cromo se presenta en diversos estados de oxidación, que va desde (-2) hasta (+6). Particularmente, los estados de oxidación que se consideran más estables son el trivalente Cr^{+3} y el hexavalente Cr^{+6} . Sin embargo, químicamente la forma con mayor estabilidad es el cromo (+3), siendo el cromo (+6) el más tóxico para el organismo (Palazón et al., 2015, p.53).

Aproximadamente, se estima que la producción global de cromo es de 8 085 000 ton/año, siendo el 11% producida en América Latina, mayormente por parte de Brasil (829 000 ton/año) y Cuba (32 000 ton/año). El cromo hexavalente prevalece bajo condiciones de oxidación en comparación con el cromo trivalente que predomina bajo condiciones de reducción. Así mismo, en soluciones acuosas el Cr(VI) es capaz de formar especies adicionales, dependiendo exclusivamente del pH de la solución, se encuentra principalmente: cromatos, CrO_7^{-2} ; CrO_4^{-2} y ácidos H_2CrO_4 ; $HCrO_4^-$ (Pacheco & Rincón, 2019, p.7).

Tabla 3-1: Compuestos de cromo según su estado de oxidación

COMPUESTO	FÓRMULA	ESTADO DE OXIDACIÓN
Oxido cromoso	CrO	2+
Hidróxido cromoso	Cr(OH) ₂	2+
Tetraóxido crómico	CrO ₂	4+

Pentóxido crómico	CrO ₅	5+
Oxido crómico	Cr ₂ O ₃	3+
Hidróxido crómico	Cr ₂ O ₃ xH ₂ O	3+
Cromitas	(Cr ₂ O ₄) ₂	3+
Anhídrido crómico	CrO ₃	6+
Cromatos	(CrO ₄) ²⁻ y (Cr ₂ O ₇) ²⁻	6+

Fuente: (Téllez et al., 2004).

1.2.6. Metales pesados

Se encuentran en bajas concentraciones en la naturaleza y son de causa geogénica o antropogénica, es decir de formación geológica de la zona, y en el segundo caso se dan generalmente por diferentes actividades industriales. Los compuestos de Cromo son un grupo de sustancias químicas que poseen propiedades beneficiosas, entre las que se encuentra la resistencia a la corrosión, durabilidad y dureza por lo que son comúnmente utilizados en el sector industrial, minería y agrícola; los metales pesados afectan directamente al suelo y cuerpos de agua cercanos, lo que representa una contaminación al ambiente por su alto nivel de toxicidad y abundancia en el medio (García & Milly, 2018, p.26).

1.2.7. Tolerancia a metales pesados

Entre las características más relevantes al momento de realizar cualquier tipo de evaluación toxicológica en especies vegetales es preciso conocer la tolerancia que tienen estas a los diferentes contaminantes, que en toxicología se lo establece como la capacidad para resistir la bioacumulación en su estructura vegetal elevados niveles de compuestos tóxicos. Al mismo tiempo, la tolerancia de las plantas a los metales pesados (contaminantes), está controlada por parte de la admisión celular, como por la resistencia misma de los metales en cuanto han penetrado en las células (Ignacio & Ríos, 2019).

A su vez, las plantas adoptan ciertos mecanismos para resistir los efectos toxicológicos provocados por los metales pesados, basándose generalmente en los siguientes componentes:

- Nivel de tolerancia de las enzimas vegetales hacia los metales pesados.

- Flujo activo de metales desde las células hacia el exterior.
- Bajo transporte por la membrana celular.
- Nivel de tolerancia por parte de la membrana celular hacia los metales.
- Conformación de enlaces entre la pared celular y los metales.
- Almacenamiento excesivo de metales en tejidos.

1.2.8. Propiedades Fisicoquímicas del Cromo

En su forma elemental el cromo se caracteriza por ser duro y quebradizo, expone una coloración blanquecina y brillo relevante, propio de los metales, al ser suave y dúctil, generalmente es empleado en aleaciones a elevadas temperaturas, es resistente a agentes químicos (resistencia a la corrosión), por tal razón es considerablemente utilizado en la generación de acero inoxidable (Giardina et al., 2012, p.76).

1.3. Bioacumulación de cromo VI

Rubio (2016, p.78) define como el aumento de la concentración de un químico en la cadena biológica alimenticia a través del tiempo en comparación con la concentración del químico en el medio ambiente. En toxicología, es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos que llegan a concentraciones que sobrepasan las concentraciones consideradas como normales en el medio ambiente. Así mismo, en función de cada especie, esta acumulación puede ser de origen abiótico (suelo, aire, agua), o bióticas (organismos vivos). Entre las principales vías de acceso en que una sustancia química ingresa a un organismo vivo se encuentran la respiratoria, la digestiva y dérmica (Liang et al., 2015, pp.1-15).

1.4. Presencia de metales en planta y suelo

Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales, incluido el hombre (Alm., 2003, p. 5).

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino

también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema. En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos (García and Dorronsoro., 2005, pp. 19-56).

Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno. Unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados (Chinmayee et al., 2012, p. 1554).

1.5. Bioensayos

Los bioensayos son técnicas para la evaluación de efectos tóxicos agudos o crónicos provenientes de sustancias químicas conocidas, así como muestras ambientales con una composición desconocida. Dichas pruebas tienen como objetivo medir el efecto de uno o más contaminantes sobre las especies, exponiendo a los organismos de ensayo a concentraciones crecientes de un agente tóxico para determinar algún cambio que ocurra en un cierto período de tiempo (Silva et al., 2007, p.136), esto puede incluir una variedad de efectos como benéficos, negativos, incluso la toxicidad o muerte del organismo evaluado (Ávila-Cervantes et al., 2019, p.34).

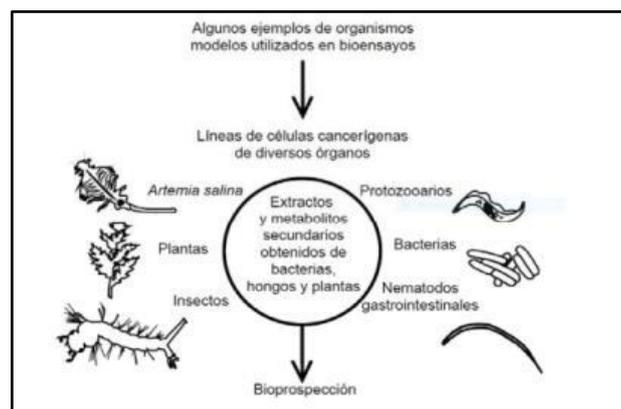


Figura 1-1. Organismos modelos utilizados para bioensayos

Fuente: (Ávila et al., 2019, p.36).

1.5.1. Características de los Bioensayos

Existe una variedad de bioensayos disponibles según los objetivos de la investigación que se desea alcanzar. Para realizar un bioensayo, es importante identificar lo siguiente:

- Qué sustancia será evaluada, qué sustrato será utilizado, qué organismo se probará, y qué tipo de respuesta podría ser detectada, por ejemplo (efecto antimicrobiano, antihelmíntico o de toxicidad, entre otros) (Ávila et al., 2019,p.34).
- Los bioensayos a menudo se usan como el primer paso para determinar si es apropiado investigar si una sustancia se puede usar en plantas, animales o humanos. Estas pruebas permiten calcular la concentración necesaria para confirmar el efecto, por ejemplo, al evaluar la letalidad o mortalidad de un organismo. Es decir, se estima la concentración requerida para matar el 50% del organismo, conocido como concentración letal 50% (LC50) o concentración efectiva 50% (EC50%) este último también puede aplicarse cuando se esperan respuestas positivas como reproducción o producción de alguna sustancia (Ávila Cervantes et al., 2019, p.35).
- Estos ensayos de toxicidad son cada vez más utilizados en la evaluación de la toxicidad potencial de muestras ambientales, debido a su rapidez, eficacia, bajo costo y complementan la caracterización química en un ecosistema.

1.5.2. Bioensayos en plantas

Los bioensayos en plantas están siendo investigadas cada vez más para el diagnóstico ecotoxicológico, ya que son excelentes herramientas para evaluar los riesgos ambientales; con el fin de evaluar el comportamiento de las mismas para ser utilizadas como indicadores biológicos de contaminación ambiental. Especialmente se realizan en semillas de especies vasculares debido a que presentan mayor sensibilidad al evaluar el crecimiento de la raíz que se puede usar como un método cuantitativo en la investigación. Para los ensayos de germinación y elongación de las radículas e hipocótilos se deber tomar en cuenta que se obtendrá como resultado el número de semillas germinadas y el promedio del crecimiento de las raíces, para medir la inhibición de los parámetros analizados en relación con el testigo (Pentreath et al., 2015,pp.13-15).

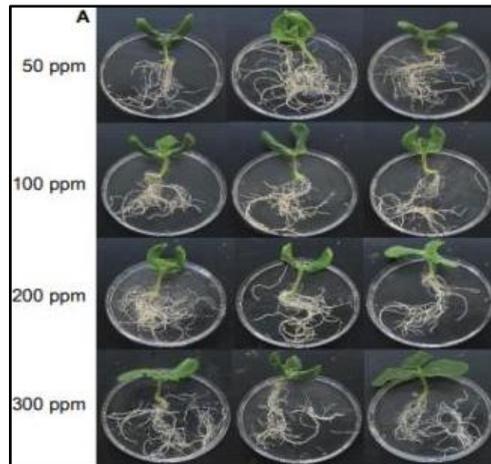


Figura 2-1. Bioensayos con *Cucumis sativus*

Fuente: (Ortega, I., 2017).

1.5.3. Ventajas del uso de las plantas en los bioensayos

Como parte integral del ecosistema, las plantas superiores al ser eucariotas se utilizan ampliamente para proporcionar herramientas de trabajo eficientes para medir entornos de advertencia de peligro. Algunas de las características se mencionan las siguientes (Torres, 2003).

- Las plantas son más sensibles al estrés ambiental que otros sistemas de prueba disponible.
- Se caracterizan por su bajo coste de mantenimiento y la posibilidad de varios parámetros como la tasa de germinación, elongación radicular, medida de la biomasa o actividad enzimática (Torres, 2003).
- Fácil de manipular y almacenar (Ortega, 2017, p.2) .
- Bajo costo (Torres, 2003).
- Buena adecuación con otros sistemas de prueba (Torres, 2003).
- Constituyen excelentes modelos para estimar la salud de los suelo (Ortega, 2017, p.2).
- Las plantas vasculares han sido recomendadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA), ambas de los Estados Unidos, debido a su buena sensibilidad, en comparación con semillas de otras especies de plantas terrestres (Wang, 1991; citado en Prieto et al., 2009, p.34).

1.6. Fitotoxicidad en plantas

Hace referencia a los efectos tóxicos que afectan a las especies vegetales susceptibles, ya que diferentes factores del suelo pueden determinar la biodisponibilidad de un compuesto químico, y

por ende la magnitud del efecto tóxico de la planta como por ejemplo el contenido de materia orgánica, pH del suelo y su solubilidad química (Sánchez y Sánchez, 2009, p.54).

Como principal causa de intoxicación por metales pesados en plantas se debe a que poseen una excelente capacidad para unir moléculas orgánicas, donde los enlaces ligando-metal son perjudiciales para la célula ya que provocan destrucción celular, alteraciones en los lípidos de la membrana, sustitución de elementos esenciales y estrés oxidativo. El cromo es un metal tóxico que puede dañar las plantas que lo absorben, estas pueden presentar diferentes respuestas a estas manifestaciones de toxicidad que varían según reino y familia, además de la concentración a la cual se encuentra el metal (Orejuela, 2017, p.45).

Algunos de los efectos que se pueden manifestar están:

- Inhibe el crecimiento de las plantas.
- Daño estructural.
- Inestabilidad de las membranas celulares.
- Efectos sobre partes fisiológicas y bioquímicas (reducción del contenido de clorofila, pH bajo, cierre de estomas, fotosíntesis alterada).



Figura 3-1. Fitotoxicidad por cromo en *Lactuca sativa* L.

Fuente: (Huichi,W., 2015).

1.6.1. Estructura de las semillas

Las semillas angiospermas están formadas especialmente por un embrión y reservas nutritivas las cuales se almacenan en tejidos especiales. La cubierta dura de la semilla protege a la planta que hay en su interior frente a las condiciones físicas y pérdida de humedad (Sánchez y Sánchez, 2009, p.33).

Dentro de las partes fundamentales de la semilla se encuentran:

- **La radícula:** Parte del embrión en emerger primero, una vez fuera se convierte en una raíz verdadera, formando filamentos absorbentes y raíces secundarias.
- **Plúmula:** Yema que se encuentra al lado opuesto de la radícula.
- **El hipocótilo:** Espacio entre la radícula y la plúmula que posteriormente se convierte en el tallo de la planta.
- **Cotiledones:** Realiza las funciones de primeras hojas o almacén de alimento, y a veces realiza ambas funciones al mismo tiempo (Huichi Caceres, 2015).
- **Endospermo:** También conocido como albumen, es la fuente de almacenamiento de alimentos en la semilla, en ocasiones esta reserva se encuentra contenida en los cotiledones en el caso de las dicotiledóneas.
- **Epispermo:** Es la cubierta más externa de la semilla, la cual previene la pérdida de agua (Monroy Morocho, 2017, pp.25-26).

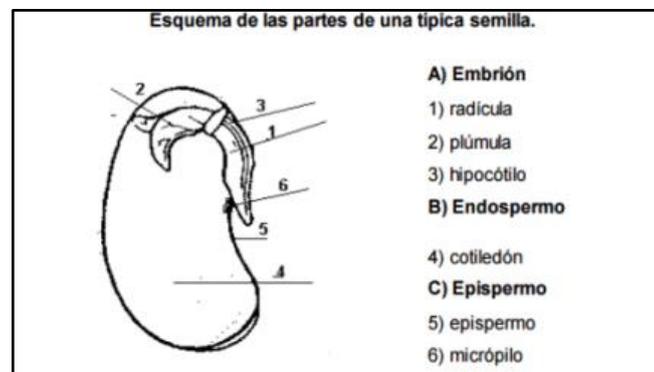


Figura 4-1. Partes de la semilla

Fuente: (Monroy,L., 2017, p.26).

1.6.2. Fases del Proceso de Germinación

El proceso de germinación consiste en el cambio de reposo de la semilla y comenzar su actividad metabólica (Monroy, 2017, p.36). Con la germinación de la planta se da la ruptura del revestimiento seminal, provocado por factores externos a la planta como la humedad y la temperatura (Sánchez & Sánchez, 2009, p.34). Para la formación de la planta el proceso se compone de tres etapas:

- **Fase de hidratación:** Durante esta etapa el agua entra en el interior de la semilla ocasionando el hinchamiento de la misma, por lo que existe una fuerte absorción de agua por parte de los diversos tejidos que componen la semilla, incluido un aumento de la actividad respiratoria. Durante este proceso se activan una serie de acciones metabólicas necesarias para las posteriores etapas.
- **Fase de germinación:** Existen conversiones metabólicas necesarias dentro de la semilla, lo cual resulta en una conversión de macromoléculas de reserva en moléculas solubles más simples y disponibles para el crecimiento adecuado de las plántulas. Durante esta etapa el agua disminuye incluso llega a detenerse.
- **Fase de crecimiento:** Representa la última fase del proceso de germinación, donde la semilla presenta cambios notables en su estructura, principalmente con la elongación de la radícula. Tan pronto como la radícula quebranta la cubierta de la semilla comienza el crecimiento de las plántulas, lo que conduce a un proceso complejo que implica un gran gasto de energía al movilizar las reservas de nutrientes de las semillas (Infoagro, [sin fecha]).

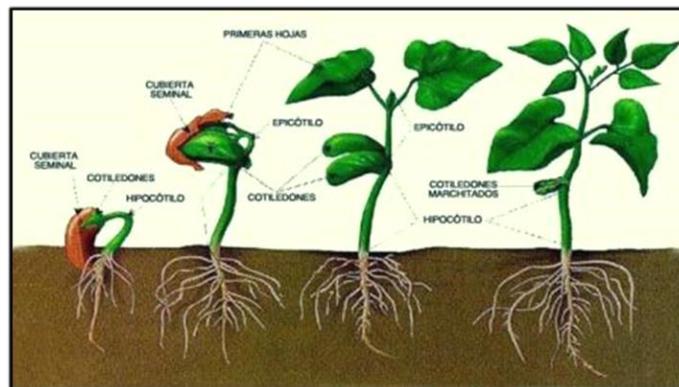


Figura 5-1. Fases del proceso de germinación

Fuente: (Monroy,L., 2017, p.26).

1.7. Índice de Germinación

El IG manifiesta el producto de la germinación relativa de las semillas por el crecimiento relativo de la radícula. Representa un indicador de la interacción de los factores que promueven o inhiben la germinación; además de los respectivos factores que favorecen o impiden el crecimiento de la radícula. El índice expresa tanto el porcentaje de semillas germinadas como el porcentaje de crecimiento que alcanza la radícula durante el bioensayo (Rodríguez et al., 2014, pp.311-313).

1.8. Porcentaje de germinación relativo de semillas

El GRS representa el porcentaje de semillas germinadas en el agua de los diferentes sitios de estudio con respecto a aquellas germinadas en el testigo (Rodríguez et al., 2014, pp.311-313).

1.9. Crecimiento relativo de la radícula

El CRR representa el porcentaje de crecimiento de la radícula de las semillas expuestas a las aguas de los diferentes sitios de estudio con respecto a aquellas del testigo (Rodríguez et al., 2014, pp.311-313).

1.10. Normativa Ecuatoriana

1.10.1. Constitución de la República del Ecuador

Establece en el Art. 22 – 27 “El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”. Asimismo, en el Art. 276, inciso 4, precisa “recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (Asamblea Constituyente, 2008, pp.52-135).

El Art. 397, “ menciona que en caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental”. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a: literal 2 “Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales” (Asamblea Constituyente, 2008, p.178).

El Art. 411 en su sección sexta AGUA, establece que “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad

y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua” (Asamblea Constituyente, 2008, p.182).

1.10.2. Código Orgánico de Organización Territorial Autónomo Descentralizado (COOTAD)

En el Artículo 136 señala que “los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado”(CODIGO ORGANICO, 2014, pp.70-71).

1.10.3. Ley Orgánica de Salud

Contempla por su parte en el Art. 3 que “la salud es el completo estado de bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Es un derecho humano inalienable, indivisible, irrenunciable e intransigible, cuya protección y garantía es responsabilidad primordial del Estado; y, el resultado de un proceso colectivo de interacción donde Estado, sociedad, familia e individuos convergen para la construcción de ambientes, entornos y estilos de vida saludables” (Congreso Nacional, 2015, p.2).

1.10.4. Ley de Gestión Ambiental

En el Art. 40 establece que “toda persona natural o jurídica que, en el curso de sus actividades empresariales o industriales estableciere que las mismas pueden producir o están produciendo daños ambientales a los ecosistemas, está obligada a informar sobre ello al Ministerio del ramo o a las instituciones del régimen seccional autónomo”. La información se presentará a la brevedad posible y las autoridades competentes deberán adoptar las medidas necesarias para solucionar los problemas detectados. En caso de incumplimiento de la presente disposición, el infractor será sancionado con una multa de veinte a doscientos salarios mínimos vitales generales. De igual forma establece esta ley en el Art. 41 que, “con el fin de proteger los derechos ambientales individuales o colectivos, concédase acción pública a las personas naturales, jurídicas o grupo humano para denunciar la violación de las normas de medio ambiente, sin perjuicio de la acción de amparo constitucional previsto en la Constitución Política de la República” (Congreso Nacional, 2015, p.7)

1.10.5. Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua

En la revisión del anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA); Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, en su tabla 3 de los criterios de calidad de aguas de uso agrícola se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la norma.

Tabla 4-1: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1

Fuente: Tomado del Ministerio del Ambiente (2008).

1.10.6. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados

Esta norma establecida por la Ley de Gestión Ambiental, en conjunto con el Reglamento de la Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental precisa los criterios de calidad en cuanto a la detección de un contaminante en el suelo, teniendo en cuenta que los valores pueden variar por aspectos geológicas naturales de áreas no desarrolladas dependiendo la influencia de actividades industriales o urbanas generalizadas.

Tabla 5-1: Criterios de calidad de suelo

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cadmio	Cd	mg/kg	0,5
Cobalto	Co	mg/kg	10
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/kg	20

Fuente: Ministerio del Ambiente (2017).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y diseño de la investigación

2.1.1. Tipo de investigación

- El presente trabajo es de tipo investigativo y descriptivo dado que se detallan los efectos toxicológicos y la acumulación en ambas especies ocasionado por la exposición al Cromo (VI) a distintas concentraciones desde la etapa de germinación hasta la etapa temprana de crecimiento.
- Explicativa en la medida en que se distinguen las causas por las cuales ocurren los efectos del Cromo (VI) en cada una de las especies durante el proceso de investigación.
- Mixto, pues implica tanto el enfoque cuantitativo en el análisis de datos de tipo numérico obtenidos durante los ensayos realizados en laboratorio de ambas especies, así como cualitativo mediante la observación de cual especie presenta mayor sensibilidad frente a la exposición de Cromo hexavalente.

2.1.2. Diseño de la investigación

El tipo de diseño de la investigación es un DCA bifactorial.

Tabla 1-2: Diseño completamente al azar (DCA).

ETAPA DE GERMINACIÓN	
Componente	Característica
Agente	Diferentes concentraciones de Cromo (VI)
Concentraciones	5 concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 ppm)

Objeto de estudio y Variables respuesta	Efectos ecotoxicológicos: <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento relativo de la radícula (%CRR) • Porcentaje de Germinación Relativa (%GRS) • Índice de germinación (%IG)
Población de estudio	Total de semillas expuestas a Cromo (VI)
Elección de la muestra	Muestreo no probabilístico por conveniencia
Muestra	10 semillas por cada incidencia establecida
Tamaño de la muestra	6 repeticiones de cada concentración
Unidades experimentales	60
Técnica de recolección de datos	Escala e inventario

ETAPA TEMPRANA DE CRECIMIENTO

Especie (L, A)	Concentraciones (mg/l) (A, B, C, D, E)	Repeticiones
2	5	6
		LV1
		LV2
		LV3
	A	LV4
		LV5
		LV6
<i>Lactuca sativa L.</i>		LV1
		LV2
		LV3
(Asteraceae)	B	LV4
		LV5
		LV6
		LV1
		LV2
		LV3
	C	LV4
		LV5
		LV6

		LV1
		LV2
	D	LV3
		LV4
		LV5
		LV6
		LV1
		LV2
		LV3
	E	LV4
		LV5
		LV6
		AV1
		AV2
		AV3
	A	AV4
		AV5
		AV6
		AV1
		AV2
		AV3
	B	AV4
<i>Beta vulgaris var. cicla</i>		AV5
		AV6
(Chenopodiaceae)		AV1
		AV2
		AV3
	C	AV4
		AV5
		AV6
		AV1
		AV2
		AV3
	D	AV4
		AV5
		AV6

	AV1
	AV2
	AV3
E	AV4
	AV5
	AV6

A = 0 mg/l; B = 2 mg/l; C = 4 mg/l; D = 6 mg/l; E = 8 mg/l.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.2. Ubicación de la investigación

El presente trabajo de investigación se lo desarrolló en dos etapas, como primera fase se realizó la germinación de las especies vegetales en estudio (*Lactuca sativa L.* y *Beta vulgaris var. Cicla*) en el Laboratorio de Biotecnología, ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ciencias.

Para la segunda fase relacionada a la etapa de crecimiento en etapa temprana, se efectuó en el Invernadero de Horticultura perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales, mismo que se encuentra en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tabla 2-2: Localización de la investigación

LOCALIZACIÓN	COORDENADAS	
	X	Y
Laboratorio de Biotecnología (Facultad de Ciencias)	758245,5	9816921,1
Invernadero Horticultura (Facultad de Recursos Naturales)	758121,9	9816982,7

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.3.1. Etapa I: Germinación

2.3.1.1. Preparación de diferentes concentraciones de dicromato de potasio para el riego

Para preparar las diluciones se utilizó dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) al 99% de pureza y agua destilada, se realizó el proceso que se detalla a continuación:

Tabla 3-2: Preparación de diluciones de ($K_2Cr_2O_7$)

Materiales	Equipos	Reactivos
- Vasos de precipitación	- Incubadora	- Agua destilada
- Pipetas graduadas		- Dicromato de potasio
- Balones de aforo		
- Cajas Petri		
- Pera de absorción		
- Pinzas quirúrgicas		
- Vidrio reloj		
- Papel filtro		

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Procedimiento:

1. Se cumplió con el protocolo de ingreso al laboratorio, para la posterior preparación de las diluciones.
2. Se realizó los cálculos para determinar la cantidad de dicromato de potasio a utilizar, a continuación se pesó 0,28 g en un vidrio reloj y se lo llevó a la estufa a 105°C por 1 hora.
3. Se preparó una solución madre de 100 ppm, a partir de dicha solución se llevó a diferentes concentraciones como se muestra en la gráfica 1-2. Se probaron 4 concentraciones diferentes para cada tratamiento (2, 4, 6, 8 mg/L), las cuales fueron determinadas en base a bibliografía en la que se muestran valores de hasta 10 mg/L para Cr^{+6} (Sobrero & Ronco, 2004, p. 44). Además, se aplicó un control negativo utilizando agua destilada (0 ppm), y un control positivo a la máxima concentración (8 ppm).



Figura 1-2. Solución madre

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

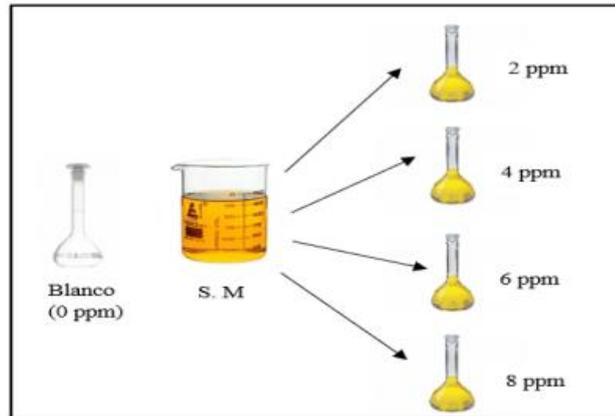


Figura 2-2. Diluciones de cromo hexavalente

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

4. Se etiquetaron 5 botellas una por cada concentración de Cromo VI.



Figura 3-2. Concentraciones de Cromo hexavalente

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.3.1.2. Siembra en cajas Petri

En la prueba de germinación se trabajó con series de 6 repeticiones por cada tratamiento, con lo cual se dispuso del siguiente protocolo de siembra que se detalla a continuación en la Figura 7-2.

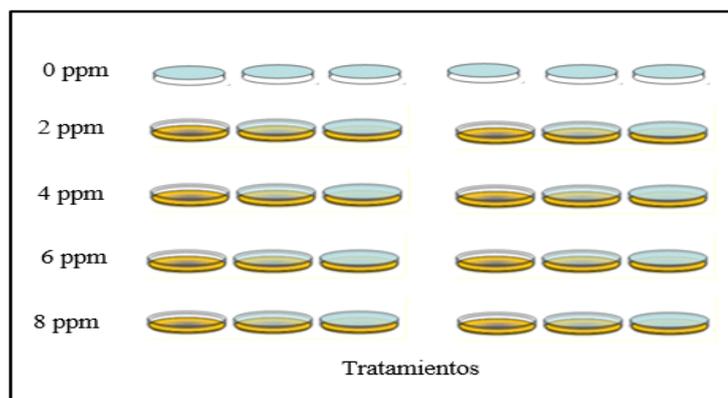


Figura 4-2. Diseño de siembra con concentraciones de Cromo VI

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

- **Protocolo:**

1. Las cajas Petri de 90 mm de diámetro junto con el material de laboratorio a utilizar (pipetas) en el autoclave.



Figura 5-2. Esterilización de cajas Petri y materiales a utilizar

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2. En cuanto a las semillas de ambas especies *Lactuca sativa L.* y *Beta vulgaris var. cicla*, se trabajó con semillas certificadas con la finalidad de procurar una correcta trazabilidad a lo largo de la prueba de germinación y a la vez esta sea homogénea.

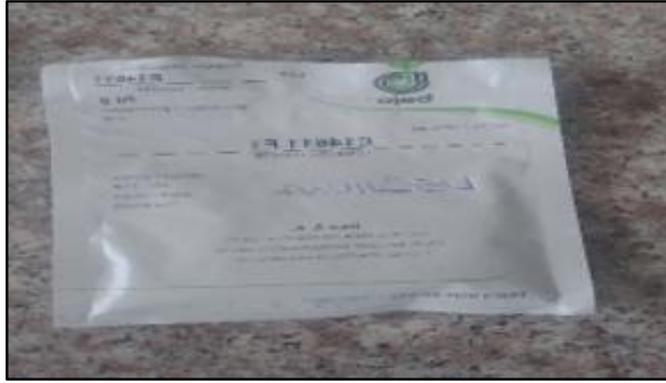


Figura 6-2. Semillas certificadas de *Lactuca sativa L.*

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.



Figura 7-2. Semillas certificadas de *Beta vulgaris var. cicla*

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3. Se colocó papel filtro en la base de cada una de las cajas Petri.



Figura 8-2. Colocado de papel filtro en las cajas Petri.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

4. Una vez colocado el papel filtro en la base de cada caja, se saturó con 5 mL de cada concentración del Cromo VI, con la ayuda de pinzas quirúrgicas se acomodó el papel para evitar la formación de bolsas de aire en su interior.



Figura 9-2. Riego a las cajas con cada concentración.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

5. Con la ayuda de las pinzas se colocó por caja 10 semillas de la especie vegetal correspondiente. Se estimó dicho número de semillas para que puedan desarrollarse en suficiente espacio radículas e hipocótilos.

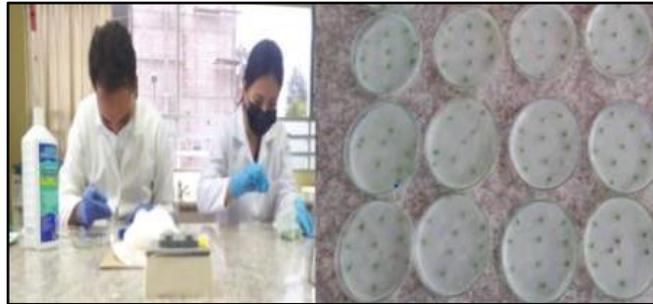


Figura 10-2. Colocación de semillas en las cajas Petri

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

6. Se etiquetó cada caja con los datos correspondientes de cada tratamiento (nombre de la especie, concentración y número de repetición).



Figura 11-2. Etiquetado de cajas Petri con cada tratamiento

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

7. Se llevó a la incubadora a una temperatura de 22 ± 3 °C, en un entorno de obscuridad por un periodo de 120 horas (5 días).



Figura 12-2. Cajas Petri colocadas en la incubadora a 23 °C

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

8. Se revisaron las semillas al transcurrir dicho tiempo, en busca de signos subletales de fitotoxicidad, crecimiento de radículas e hipocótilos.



Figura 13-2. Inspección de semillas transcurrido 5 días

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

9. Finalmente se registró el número de semillas germinadas y no germinadas, además con la ayuda de una regla milimétrica se realizó las mediciones longitudinales de radícula e hipocótilo.



Figura 14-2. Medición longitudinal de radícula e hipocótilo

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.3.2. Etapa II: Crecimiento temprano en invernadero

2.3.2.1. Diseño de recipientes en la etapa II

Para el crecimiento temprano de las especies *Lactuca sativa L.* y *Beta vulgaris var. Cicla* se lo realizó en condiciones de invernadero, con el fin de mantener un ambiente adecuado de temperatura y humedad para el desarrollo correcto de las plantas. Para esta fase se realizó 6 repeticiones por cada tratamiento en vasos térmicos de poliestireno de 8 onzas, de acuerdo al siguiente protocolo.

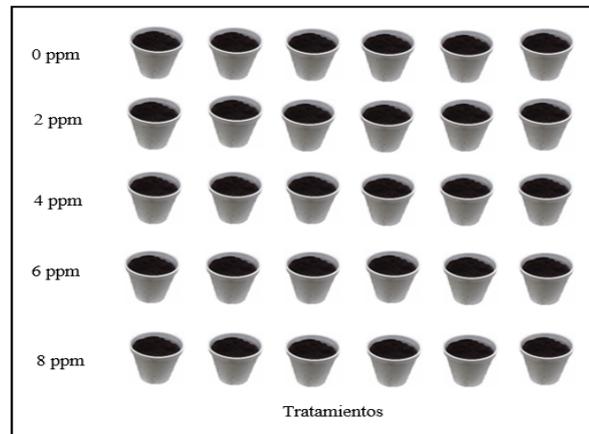


Figura 15-2. Diseño de recipientes en la Etapa II

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 4-2: Diseño de recipientes

Materiales	Equipos	Reactivos
- Vasos térmicos de 8 onzas	- Higrómetro digital	- Cromo hexavalente
- Bandejas plásticas		
- Cinta adhesiva		
- Semillas certificadas de <i>Lactuca sativa L.</i> y <i>Beta vulgaris var. Cicla</i>		
- Jeringas		
- Sustrato		
- Fertilizante		

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.3.2.2. Adaptación del sustrato

1. Se realizó 5 orificios en la base de cada uno de los vasos, para eliminar el agua excedente y la planta posea aireación. Además se colocaron sobre bandejas con cascajo para evitar el derrame de las sustancias.



Figura 16-2. Montaje de recipientes

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2. Se obtuvo el sustrato que servira como medio para el crecimiento de las especies. El sustrato utilizado fue de la marca certificada HAWITA, el cual esta compuesto de 80% turba rubia estructura fina y 20% turba negra estructura fina (Agripec, [sin fecha]), con una composición de Fertilizante NPK, Oligoelementos y AquaFlow adecuado para la propagación de plantines de hortalizas y plantas ornamentales gracias a su estructura fina (HAWITA, [sin fecha]).

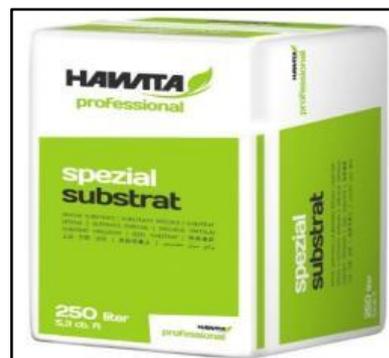


Figura 17-2. Sustrato HAWITA

Fuente: HAWITA.

3. Se procedió a mezclar 10 kg de sustrato con fertilizante para enriquecerlo, para esto se utilizó media libra de fertilizante Nitrofoska 15.15.15 granulado. Posteriormente se humedeció con agua hasta que todos los elementos esten incorporados.



Figura 18-2. Preparación del sustrato

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

4. Una vez mezclado el sustrato se procedió a colocar en cada uno de los vasos.



Figura 19-2. Distribución del sustrato en vasos

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

5. Finalmente se colocó 4 vasos por cada bandeja.



Figura 20-2. Colocación de los vasos en bandejas

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

6. Se humedeció el sustrato aproximadamente con 80 ml de agua pasando un día para mantener la humedad del mismo, preferiblemente en horas donde la intensidad del sol no sea muy fuerte. La adaptación se lo realizó durante un período de tres semanas , para que se liberen todos los nutrientes contenidos en el fertilizante que al ser granulado toma más tiempo en desintegrarse.



Figura 21-2. Riego del sustrato

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

7. Se adicionó aproximadamente 40 ml de cada concentración de cromo VI en el sustrato, posteriormente se dejó un tiempo de una semana de adaptación antes de realizar la siembra de la semilla.



Figura 22-2. Adición de cromo VI en el sustrato

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

8. Después de la adaptación del sustrato, se sembró las semillas de cada una de las especies *Lactuca sativa L.* y *Beta vulgaris var. Cicla.*; Además, se identificó cada una de las repeticiones en base a códigos para una mejor identificación.



Figura 23-2. Identificación de las especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

9. Se realizaron dosificaciones pasando cada dos días las concentraciones de cromo VI (40ml) con la ayuda de jeringas. Este proceso se lo llevó a cabo hasta que las plantas lleguen a la etapa temprana de crecimiento (aproximadamente 60 días).



Figura 24-2. Dosificación de cromo VI

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

10. Se registró en bitácoras (ANEXO L, M, N, O, P, Q) los cambios presentados por las especies durante la experimentación, así como valores de temperatura y humedad con ayuda del higrómetro.



Figura 25-2. Observación de cambios en las especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.3.3. Análisis en laboratorio de las especies

Al término de la etapa temprana de crecimiento de las plantas de lechuga y acelga se realizó los respectivos análisis para la determinación de cromo VI, a partir de muestras húmedas de cada especie, conjuntamente con el suelo; para lo cual se realizó el siguiente procedimiento.

Tabla 5-2: Análisis de las especies

Materiales	Equipos	Reactivos
- Erlenmeyers de 250 ml.	- Espectrofotómetro de UV	- CromVer 3
- Embudos	SPECTRONIC 2OD marca	- Ácido sulfúrico
- Pipetas	MILTON ROY	
- Mortero y pistilo	- Shaker	
- Pera de absorción	- Balanza	
- Probetas	- Estufa	
- Picetas		
- Papel filtro		
- Parafilm		

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Procedimiento:

1. Se procedió a lavar cada una de las muestras con agua destilada hasta que la planta quede completamente limpia, posteriormente se las secó con papel absorbente.



Figura 26-2. Lavado de muestras

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2. Con ayuda del mortero se maceró cada una de las plantas y se pesó 1gr por cada muestra.



Figura 27-2. Maceración de plantas

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3. Se colocó cada muestra etiquetada en un erlenmeyer de 250 ml, agregando 100 ml de agua destilada y una gota de ácido sulfúrico, cubriendo los recipientes con parafilm. Las muestras se llevaron al Shaker por un tiempo de 4 horas, temperatura ambiente (25°C) y a 100 rpm para lograr el proceso de digestión y se homogenicen.



Figura 28-2. Homogenización de muestras

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

4. Se filtró 20 ml de cada una de las muestras hasta que no presenten una coloración turbia, con ayuda de la pipeta se tomó 10 ml para la muestra blanco y el restante para el análisis en el equipo etiquetándolas correctamente.



Figura 29-2. Filtrado de muestras

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

5. De igual manera se analizó el suelo, para lo cual se lo seco en la estufa a 70°C de un día a otro, se tamizó y pesó 1gr de muestra. Se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente para su análisis.



Figura 30-2. Tamizado del suelo

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

6. Para el análisis de las muestras en el espectrofotómetro de UV, se prepararon 5 estándares de 0,25 ppm, 0,5 ppm, 0,75 ppm, 1,0 ppm y 1,25 ppm a partir de una solución de 10 ppm de cromo hexavalente, con el fin de obtener valores que el equipo pueda identificar para la construcción de la curva de calibración (ANEXO R) . Se analizó a una longitud de onda de 540 nm propia del cromo VI.



Figura 31-2. Estándares de cromo hexavalente

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

7. El equipo se calibró con una muestra blanco (muestras filtradas) a una transmitancia de 100.0 y absorbancia de 00.0. Más adelante se analizaron las muestras de planta y suelo de ambas especies colocando el reactivo CromaVer3, obteniendo así valores de absorbancia para el posterior cálculo de la concentración.



Figura 32-2. Espectrofotómetro de UV

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

2.3.4. *Análisis de la etapa de germinación*

Para esta etapa de la investigación fue necesario realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos, se utilizó tres fórmulas que dieron como resultado: Porcentaje del índice de germinación de las semillas (%IG), se empleó la ecuación (1). Porcentajes de longitud radicular (%CRR), se obtuvieron con la ecuación (2). Porcentaje de germinación relativa de las semillas (%GRS), mediante la ecuación (3).

2.3.4.1. *Porcentaje del índice de germinación (%IG)*

$$\% \text{ IG} = \frac{\text{GRS} \times \text{CRR}}{100} \quad \text{Ec.(1)}$$

2.3.4.2. *Porcentaje de longitud radicular (%CRR)*

$$\% \text{ CRR} = \frac{\text{Longitud promedio de la raíz con la muestra de agua problema}}{\text{Longitud promedio de la raíz en agua dura (testigo)}} \times 100 \quad \text{Ec.(2)}$$

2.3.4.3. *Porcentaje de germinación relativa de las semillas (%GRS)*

$$\% \text{ GRS} = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de agua problema}}{\text{Número de semillas germinadas en agua dura (testigo)}} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

2.3.5. Variables de control en el interior del invernadero

- Temperatura

Las hortalizas de manera general son consideradas muy sensible en cuanto a los requerimientos ambientales que requieren, el mayor factor limitante es el clima, debido a que las semillas necesitan una temperatura entre 2 – 3°C para germinar, siendo la temperatura óptima de 20 a 25°C.

Sin embargo, este tipo de cultivo tolera mejor las temperaturas elevadas a comparación de las bajas. Siendo así que como temperatura máxima soporta los 30°C y como mínima hasta los -6°C. Asimismo, requiere que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Los rangos de temperatura en los que la planta dispone de un crecimiento óptimo es entre 15 - 18°C, con temperatura en invernadero máxima de 21°C a 24°C y mínima de 7°C. Consecuentemente, las plantas en etapa temprana de crecimiento son más tolerantes al frío, pero ya en etapa de cosecha pueden verse afectadas si el frío es demasiado fuerte, es decir que temperaturas bajas no permiten un buen crecimiento lo que en consecuencia se obtiene productos pequeños y hojas poco desarrolladas (Romero et al., 2003, pp. 33-40).

- Humedad relativa

Particularmente para *Lactuca sativa L*, el sistema radicular es muy corto en relación con la parte aérea, lo que la hace más sensible cuando existe ausencia de humedad a pesar de que es capaz de soportar períodos cortos de sequía. La humedad relativa para la lechuga se encuentra en un rango no mayor al 60 y 80% por lo que si existen las condiciones ambientales son ideales se recomienda su cultivo al aire libre. Por su parte, la humedad relativa para *Beta vulgaris var. cicla*, es igual de exigente respecto de *Lactuca sativa L*, en etapa temprana de crecimiento un alto índice de humedad genera problemas al favorecer la presencia de enfermedades como el moho blanco causado particularmente por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* (Gutiérrez et al., 2013, pp. 8-12).

2.3.5.1. Seguimiento de temperatura y humedad relativa

En la etapa de crecimiento temprano de las especies en el lapso de 60 días se llevó un control de la temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con el propósito de crear el ambiente idóneo para las plantas, en la tabla 6-2 se detalla dicho control.

Tabla 6-2: Seguimiento y control de temperatura y humedad relativa

Seguimiento	Periodicidad	Variable	Equipo
Registro diario (a lo largo de 60 días)	Triplemente (Mañana Mediodía Tarde)	– Temperatura – Humedad relativa	Higrómetro

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Etapa I Germinación: *Lactuca sativa L*

3.1.1. Número de semillas germinadas

El número de semillas germinadas, se verificó a los 5 días de haber empezado la parte experimental de la investigación, para lo cual se tomó en cuenta las diferentes concentraciones de Cromo VI, registrándose los siguientes datos:

Tabla 1-3: Número de semillas germinadas de *Lactuca sativa L*

<i>Lactuca sativa L.</i>					
Concentraciones					
Réplicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
LV1	10	9	9	9	10
LV2	10	9	10	8	8
LV3	10	9	9	10	8
LV4	10	10	10	10	9
LV5	10	10	9	8	9
LV6	10	10	9	10	10
PROMEDIO	10,00	9,50	9,33	9,17	9,00

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la Tabla 1-3 se muestra en la primera columna el número de semillas con sus respectivas replicas, en las columnas siguientes se puede observar el total de semillas germinadas en las cajas Petri (10 semillas por caja) a diferentes concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 ppm), con su respectivo promedio. Una vez obtenido estos datos se calculó los valores en base a las ecuaciones mencionadas en el apartado 2.3.4 y posteriormente se realizó el análisis ADEVA.

Tabla 2-3: Porcentaje de germinación relativa de *Lactuca sativa L*

Porcentaje de Germinación Relativa de las Semillas (%GRS)					
Concentraciones					
Réplicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
LV1	100	90	90	90	100
LV2	100	90	100	80	80
LV3	100	90	90	100	80
LV4	100	100	100	100	90
LV5	100	100	90	80	90
LV6	100	100	90	100	100
PROMEDIO	100	95	93	92	90

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 3-3: Porcentaje de Longitud radicular de *Lactuca sativa L*

Porcentaje de longitud radicular (%CRR)					
Concentraciones					
Réplicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
LV1	100	93	82	39	40
LV2	100	97	62	49	47
LV3	100	87	92	61	47
LV4	100	91	75	37	41
LV5	100	93	65	54	42
LV6	100	87	71	55	53
PROMEDIO	100	91	75	49	45

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 4-3: Índice de Germinación de *Lactuca sativa L*

Índice de Germinación (%IG)					
Concentraciones					
Réplicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
LV1	100	84	74	35	40
LV2	100	87	62	39	37
LV3	100	78	83	61	38
LV4	100	91	75	37	37
LV5	100	93	59	43	38
LV6	100	87	64	55	53
PROMEDIO	100	87	69	45	40

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.2. Etapa I Germinación: *Beta vulgaris var. cicla* (Acelga)

3.2.1. Número de semillas germinadas

Al cumplir los 5 días de haber iniciado la parte experimental, se evaluó el número de semillas germinadas para lo cual se tomó en cuenta las diferentes concentraciones de Cromo VI, registrándose los siguientes datos:

Tabla 5-3: Número de semillas germinadas de *Beta vulgaris var. cicla*

<i>Beta vulgaris var. cicla</i>					
Concentraciones					
Réplicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
AV1	6	4	4	2	4
AV2	7	5	6	6	2
AV3	8	6	8	2	3
AV4	5	4	2	3	3
AV5	8	7	6	4	3
AV6	9	8	3	6	3
PROMEDIO	7,17	5,67	4,83	3,83	3

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la Tabla 5-3 se muestra en la primera columna el número de semillas con sus respectivas replicas, en las columnas siguientes se puede observar el total de semillas germinadas en las cajas Petri (10 semillas por caja) a diferentes concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 ppm), con su respectivo promedio. Una vez obtenido estos datos se calculó los valores en base a las ecuaciones mencionadas en el apartado 2.3.4 y posteriormente se realizó el análisis ADEVA.

Tabla 6-3: Porcentaje de germinación relativa de *Beta vulgaris var. cicla*

Porcentaje de Germinación Relativa de las Semillas (%GRS)					
Concentraciones					
Réplicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
AV1	100	67	67	33	67
AV2	100	71	86	86	29
AV3	100	75	100	25	38
AV4	100	80	40	60	60
AV5	100	88	75	50	38
AV6	100	89	33	67	33
PROMEDIO	100	78	67	53	44

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 7-3: Porcentaje de Longitud radicular de *Beta vulgaris var. cicla*

Porcentaje de longitud radicular (%CRR)					
Concentraciones					
Replicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
AV1	100	95	78	36	31
AV2	100	78	36	52	53
AV3	100	98	77	60	42
AV4	100	86	40	40	38
AV5	100	68	87	36	30
AV6	100	99	77	38	37
PROMEDIO	100	88	66	44	39

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 8-3: Índice de Germinación de *Beta vulgaris var. cicla*

Índice de Germinación (%IG)					
Concentraciones					
Replicas	0ppm	2ppm	4ppm	6ppm	8ppm
AV1	100	63	52	12	20
AV2	100	56	31	45	15
AV3	100	74	77	15	16
AV4	100	69	16	24	23
AV5	100	60	65	18	11
AV6	100	88	26	25	12
PROMEDIO	100	68	44	23	16

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.3. Análisis de la varianza ADEVA

Los resultados obtenidos se analizaron en el programa InfoStat versión 2020.

3.3.1. Porcentaje de Germinación

En el análisis de varianza para porcentaje de germinación, se encontraron diferencias altamente significativas para especies y concentraciones, para la interacción especies*concentraciones se encontraron diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 17,84% (Tabla 9-3).

Tabla 9-3: Análisis de Varianza para el porcentaje de germinación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Especies	30375,00	1	30375,00	191,04	<0,0001	**
Concentraciones	4790,00	4	1197,50	7,53	0,0001	**
Especies*Concentraciones	1850,00	4	462,50	2,91	0,0306	*
Error	7950,00	50	159,00			
Total	44965,00	59				
C.V. (%)	17,84					

p-valor > a 0,05 y > a 0,01 = ns

p-valor < a 0,05 y > a 0,01 = *

p-valor < a 0,05 y < a 0,01 = **

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

El p-valor del análisis de varianza para porcentaje de germinación en especies*concentraciones fue de 0,0306 que representa un valor menor al 0,05 y mayor a 0,01 (Tabla 9-3) por lo cual se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, ya que existen diferencias significativas en la germinación para ambas especies en las diferentes concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 ppm). El coeficiente de variación fue de 17,84%, según lo menciona, (CIBERTEC, 2014, p.11) cuándo el $10\% \leq CV \leq 30\%$ existe una variabilidad aceptable, es decir que los datos obtenidos son relativamente homogéneos, por lo que la media es representativa; además, Gordón-Mendoza & Camargo-Buitargo (2015, p. 56), indican que cuando el CV supera el 30% los datos deben ser descartados debido a la baja precisión, por lo tanto el valor del CV obtenido es aceptable.

Tabla 10-3: Prueba DMS al 5% para porcentaje de germinación por especies

Especies	Medias	Grupo
Lechuga	94,00	A
Acelga	49,00	B

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de DMS al 5% de probabilidad, se obtuvieron dos grupos, en el grupo “A” con 94 %, se ubicó la lechuga, siendo la especie con mayor porcentaje de germinación por especies y en el grupo “B” con 49% se encontró la acelga (Gráfico 1-3).

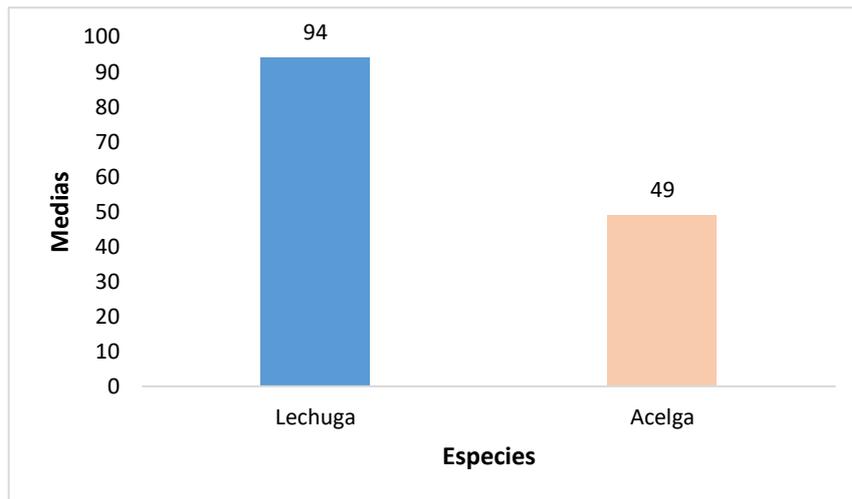


Gráfico 1-3. Porcentaje de germinación por especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 11-3: Prueba Tukey al 5% para porcentaje de germinación por concentración

<u>Concentraciones</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
0	85,83	A
2	75,83	A B
4	70,83	B C
6	65,00	B C
8	60,00	C

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para porcentaje de germinación por concentración, existieron cuatro grupos. Se tomó en consideración los extremos entre el grupo del más al menos favorable, donde en el grupo “A” con 85,83% se encontró la concentración 0 ppm, y en el grupo “C” con 60% se ubicó la concentración de 8 ppm de Cromo hexavalente. (Gráfico 2-3).

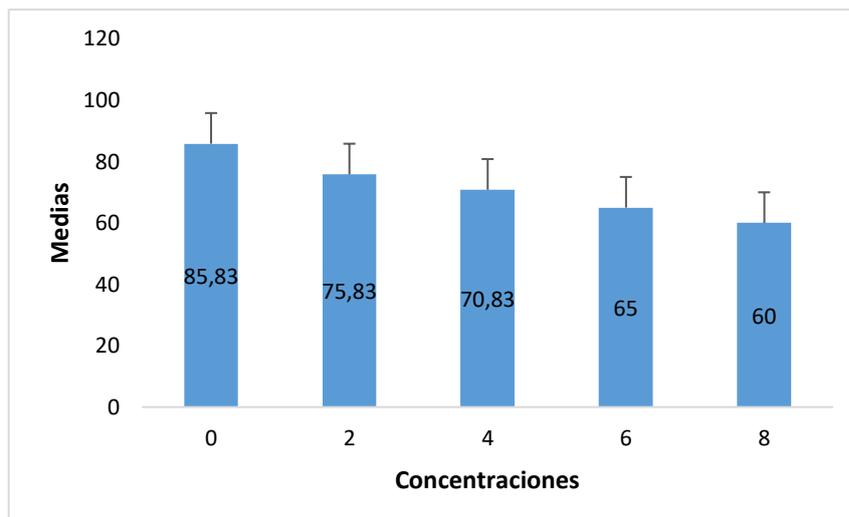


Gráfico 2-3. Prueba de Tukey por concentración (%GRS)

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 12-3: Prueba Tukey al 5% para porcentaje de germinación en la interacción especies*concentraciones

<u>Especies</u>	<u>Concentraciones</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
Lechuga	0	100,00	A
Lechuga	2	95,00	A B
Lechuga	4	93,33	A B
Lechuga	6	91,67	A B
Lechuga	8	90,00	A B
Acelga	0	71,67	B C
Acelga	2	56,67	C D
Acelga	4	48,33	C D E
Acelga	6	38,33	D E
<u>Acelga</u>	<u>8</u>	<u>30,00</u>	<u>E</u>

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para porcentaje de germinación en la interacción especies*concentraciones (Tabla 12-3), se encontraron siete grupos. Se tomó en consideración los extremos entre el grupo del más al menos favorable, en el grupo “A” con 100% de germinación se situó la lechuga con concentración 0 ppm y en el grupo “E” con 30% se ubicó la acelga con una concentración de 8 ppm de cromo hexavalente. Es preciso detallar que la lechuga con una concentración de 0 ppm reflejó una total germinación a comparación de la acelga a una misma concentración con 71,67%, infiriendo que se debe al tipo de variedad de cada especie, ya que de acuerdo a la descripción del empaque del producto muestra un 85% de germinación para la acelga, mientras que para la lechuga (crespa) el porcentaje de germinación es de 99,9%. Por otra parte,

se evidenció que en la lechuga el GRS en los tratamientos de (2,4,6 y 8 ppm) no se obtuvo mucha variación en cuanto a las medias, en cambio la acelga en los tratamientos de (2,4,6 y 8 ppm) las medias presentaron una mayor variación entre ellas, para ambos casos la germinación fue mayor en los respectivos controles (0 ppm) (Gráfico 3-3); esto se evidencia en el estudio de Bautista et al. (2013, p.48) donde menciona que el cromo afectó en mayor medida la germinación de las semillas de acelga a la más baja, media y mayor concentración en tratamientos de 25, 35 y 50 $\mu\text{M L}^{-1}$, mientras se observó una diferencia de porcentaje representativa.

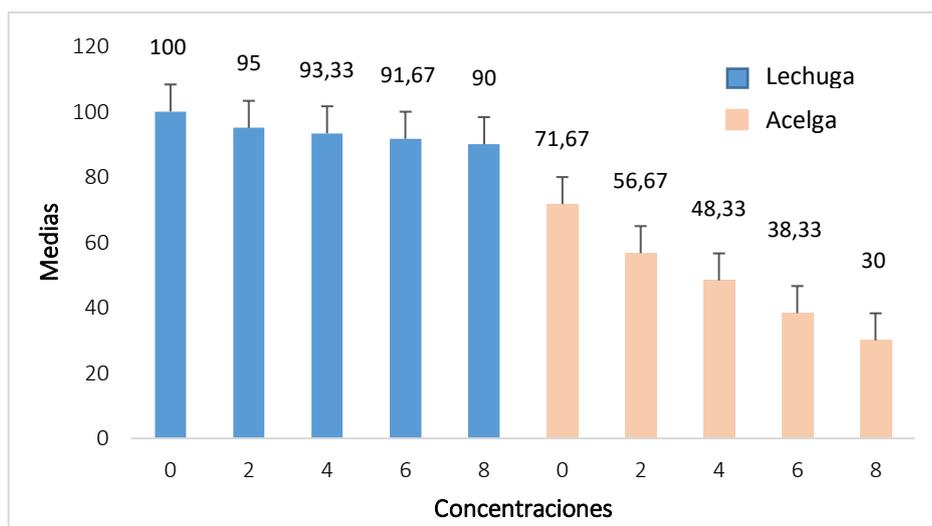


Gráfico 3-3. Prueba de Tukey interacción especies*concentraciones

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.3.2. Longitud radicular: *Lactuca sativa L*

La longitud de semillas germinadas se verificó a los 5 días de haber comenzado la parte experimental, registrando los resultados obtenidos por cada concentración de Cromo VI.

Tabla 13-3: Medición longitud radicular a los 5 días. *Lactuca sativa L*

Longitud radicular (cm)					
Concentraciones					
Replicas	0 ppm	2 ppm	4 ppm	6 ppm	8 ppm
LV1	5,74	5,33	4,71	2,22	2,31
LV2	5,8	5,6	3,58	2,84	2,7
LV3	5,34	4,62	4,92	3,26	2,51
LV4	5,94	5,4	4,48	2,19	2,42
LV5	6,02	5,61	3,93	3,27	2,54
LV6	5,63	4,89	3,99	3,07	2,98

PROMEDIO	5,75	5,24	4,27	2,81	2,58
-----------------	------	------	------	------	------

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la Tabla 13-3 constan los valores promedio de la longitud radicular en centímetros de cada replica con su respectiva concentración utilizada, para determinar su diferencia significativa se procedió a realizar un análisis de varianza ADEVA.

3.3.3. Longitud radicular: *Beta vulgaris var. cicla*

La longitud de semillas germinadas se verifico a los 5 días de haber comenzado la parte experimental, registrando los resultados obtenidos por cada concentración de Cromo VI.

Tabla 14-3: Medición longitud radicular a los 5 días. *Beta vulgaris var. cicla*

Longitud radicular (cm)					
Concentraciones					
Replicas	0 ppm	2 ppm	4 ppm	6 ppm	8 ppm
AV1	10,09	9,6	7,83	3,65	3,1
AV2	9,9	7,74	3,55	5,18	5,24
AV3	9,45	9,28	7,3	5,7	4
AV4	8,9	7,64	3,57	3,6	3,4
AV5	9,82	6,72	8,57	3,58	2,94
AV6	9,2	9,15	7,1	3,47	3,41
PROMEDIO	9,56	8,36	6,32	4,20	3,68

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la Tabla 14-3 constan los valores promedio de la longitud radicular en centímetros de cada replica con su respectiva concentración utilizada, para determinar su diferencia significativa se procedió a realizar un análisis de varianza ADEVA.

3.3.4. Análisis de varianza ADEVA

3.3.4.1. Longitud radicular

En el análisis de varianza para longitud radicular, se encontró diferencias altamente significativas para especies y concentraciones, para la interacción especies*concentraciones se encontraron diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 20,01 (Tabla 15-3).

Tabla 15-3: Análisis de varianza para longitud radicular

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Especies	83,64	1	83,64	74,14	<0,0001	**
Concentraciones	188,98	4	47,24	41,88	<0,0001	**
Especies*Concentraciones	15,61	4	3,90	3,46	0,0143	*
Error	56,41	50	1,13			
Total	344,64	59				
<u>C.V.(%)</u>	<u>20,01</u>					

p-valor > a 0,05 y > a 0,01 = ns

p-valor < a 0,05 y > a 0,01 = *

p-valor < a 0,05 y < a 0,01 = **

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

El p-valor del análisis de varianza para longitud radicular en especies*concentraciones fue de 0,0143 que representa un valor menor al 0,05 y mayor a 0,01 (Tabla 15-3) por lo cual se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, ya que existieron diferencias significativas en el crecimiento de la radícula para ambas especies en las diferentes concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 ppm). El coeficiente de variación fue de 20,01%, según lo menciona (CIBERTEC, 2014, p.11) cuando el $10\% \leq CV \leq 30\%$ existe una variabilidad aceptable, es decir que los datos obtenidos son relativamente homogéneos, por lo que la media es representativa; además, Gordón-Mendoza & Camargo-Buitargo (2015, p. 56), indican que cuando el CV supera el 30% los datos deben ser descartados debido a la baja precisión, por lo tanto el valor del CV obtenido es aceptable.

Tabla 16-3: Prueba DMS al 5% para Longitud radicular por especies

Especies	Medias	Grupo
Acelga	6,49	A
Lechuga	4,13	B

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de DMS al 5% para la longitud radicular por especies, se obtuvieron dos grupos, en el grupo “A” con 6,49 cm, se ubicó la acelga, siendo la especie con mayor crecimiento radicular y en el grupo “B” con 4,13 cm se encontró la lechuga (Gráfico 4-3). Cabe mencionar que de acuerdo con Bautista et al.(2013, p.20), se considera como criterio de germinación una longitud radicular $\geq 5\text{mm}$ (0,5 cm), por cuanto las dos especies presentaron dicho requerimiento.

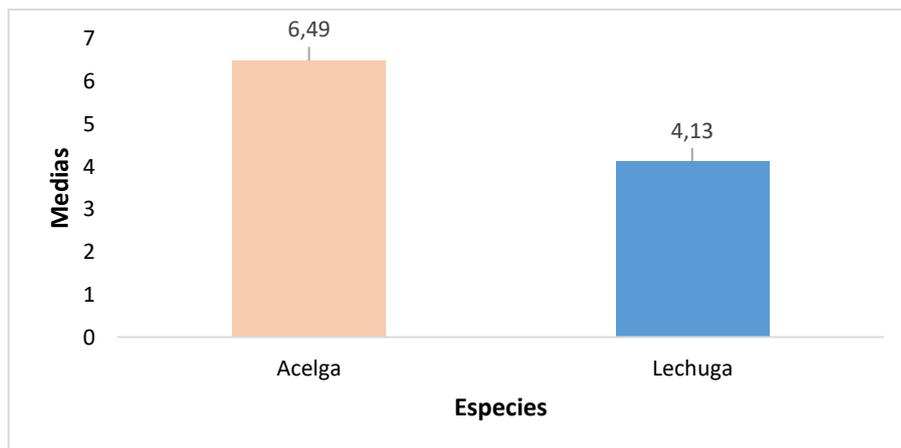


Gráfico 4-3. Longitud radicular por especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 17-3: Prueba de Tukey al 5% para Longitud radicular por concentraciones

<u>Concentraciones</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
0	7,65	A
2	6,80	A
4	5,46	B
6	3,50	C
8	3,13	C

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para longitud radicular por concentraciones existieron tres grupos. Se tomó en consideración los extremos entre el grupo del más al menos favorable, en el grupo “A” con 7,65 y 6,80 cm se encontraron las concentraciones 0 y 2 ppm de Cromo hexavalente, en el grupo “C” con 3,50 y 3,13 cm se ubicaron las concentraciones de 6 y 8 ppm de Cromo hexavalente (Gráfico 5-3).

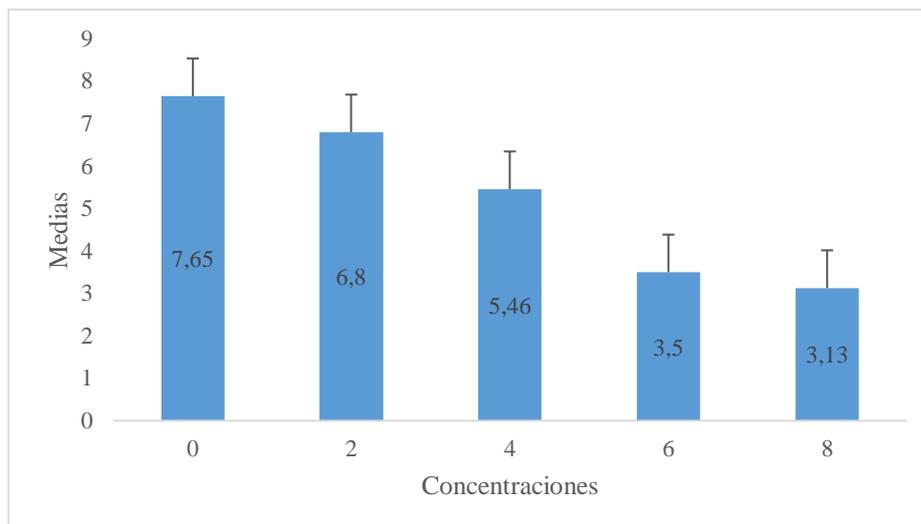


Gráfico 5-3. Prueba de Tukey por concentraciones (Longitud radicular)

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 18-3: Prueba Tukey al 5% para longitud radicular en la interacción especies*concentraciones

<u>Especies</u>	<u>Concentraciones</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
Acelga	0	9,56	A
Acelga	2	8,36	A B
Acelga	4	6,65	B C
Lechuga	0	5,75	C D
Lechuga	2	5,24	C D E
Lechuga	4	4,27	D E F
Acelga	6	4,20	D E F
Acelga	8	3,68	E F
Lechuga	6	2,81	F
<u>Lechuga</u>	<u>8</u>	<u>2,58</u>	<u>F</u>

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para longitud radicular en la interacción especies*concentraciones existieron ocho grupos. Se tomó en consideración los extremos entre el grupo del más al menos favorable, en el grupo “A” con 9,56 cm se encontró la acelga con concentración 0 ppm de Cromo hexavalente, siendo la de mayor extensión radicular; en el grupo “F” con 2,81 y 2,58 cm se ubicaron la lechuga con una concentración de 6 y 8 ppm de Cromo hexavalente, siendo las de menor extensión radicular. Por lo tanto se puede decir que a partir de la concentración 0 ppm (control) al aumentar las concentraciones se produjo una disminución mayor en las longitudes radiculares (Gráfico 6-3), como se evidencia en los resultados de (Vargas, 2009, p.70), con concentraciones de 1,3,5,8 y 10 ppm de vanadio se produjo una disminución de la radícula a la mayor concentración. En este caso la acelga presentó mayor longitud radicular a comparación de

le lechuga aun cuando en la germinación se observó lo contrario. Como menciona Mañas (2015, p,38), puede ocurrir que exista una buena germinación, pero el crecimiento radicular posterior sea defectuoso lo que indicaría que existen componentes en el metal con cierto nivel de fitotoxicidad que impidan el correcto desarrollo del vegetal.

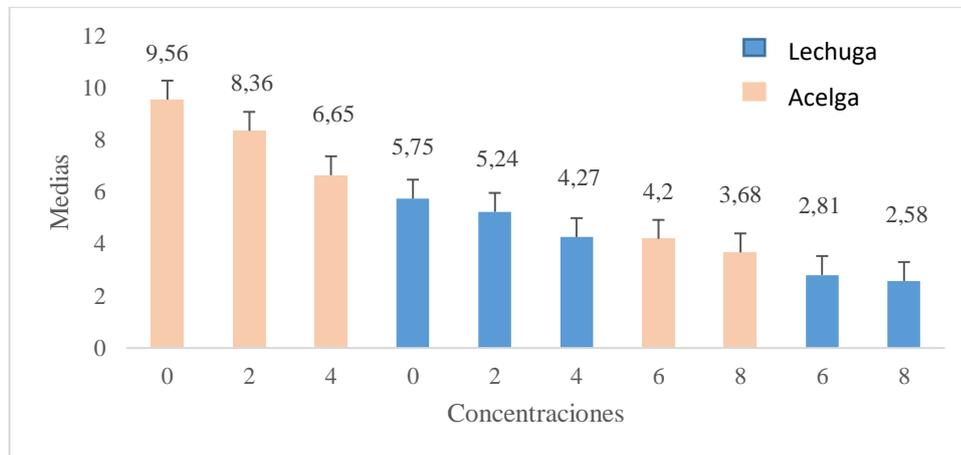


Gráfico 6-3. Prueba de Tukey interacción especies*concentraciones, Longitud radicular
Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la figura 1-3 se pudo evaluar de manera más detallada como se dió el proceso de germinación de las semillas de la especie *Beta vulgaris var. cicla*, a las diferentes concentraciones que fueron sometidas. Se pudo observar la diferencia longitudinal en el crecimiento de la radícula en los tratamientos; en la concentración 0 ppm (control) y 2 ppm se apreció un pronto desarrollo de la radícula siendo a simple vista y a comparación de las demás semillas las de mayor longitud. Por su parte, para las concentraciones 4, 6 y 8 ppm se evidenció un corto desarrollo de la radícula, esto concuerda con (Sobrero, 2010, p.58), quien menciona que la radícula es más sensible frente a soluciones metálicas de Cu, Cr, y Cd.



Figura 1-3. Semillas germinadas: *Beta vulgaris* var. *Cicla*.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.4. Índice de Germinación

En el análisis de varianza para el índice de germinación, se encontró diferencias altamente significativas para especies y concentraciones, para la interacción especies*concentraciones no se encontraron diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 19,17% (Tabla 19-3).

Tabla 19-3: Análisis de Varianza para índice de germinación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Especies	4524,02	1	4524,02	34,60	<0,0001	**
Concentraciones	42994,40	4	10748,60	82,20	<0,0001	**
Especies*Concentraciones	1187,07	4	296,77	2,27	0,0747	ns
Error	6538,17	50	130,76			
Total	55243,65	59				
C.V.(%)	19,17					

p-valor > a 0,05 y > a 0,01 = ns

p-valor < a 0,05 y > a 0,01 = *

p-valor < a 0,05 y < a 0,01 = **

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

El p-valor del análisis de varianza para el índice de germinación en especies*concentraciones fue de 0,0747 que representa un valor mayor al 0,05 y mayor a 0,01 (Tabla 19-3) por lo cual se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, ya que no existieron diferencias significativas en el IG para ambas especies en las diferentes concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 ppm). El coeficiente de variación fue de 19,17%, según lo menciona (CIBERTEC, 2014, p.11), cuando el $10\% \leq CV \leq 30\%$ existe una variabilidad aceptable, es decir que los datos obtenidos son relativamente homogéneos, por lo que la media es representativa; además, Gordón-Mendoza &

Camargo-Buitargo (2015, p. 56), indican que cuando el CV supera el 30% los datos deben ser descartados debido a la baja precisión, por lo tanto el valor del CV obtenido es aceptable.

Tabla 20-3: Prueba DMS al 5% para índice de germinación por especies

<u>Especies</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
Lechuga	68,33	A
Acelga	50,97	B

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de DMS al 5%, se obtuvieron dos grupos, en el grupo “A” con 68,33%, se ubicó la lechuga. Siendo el mayor índice de germinación por especies y en el grupo “B” con 50,97% se encontró la acelga (Gráfico 7-3). De acuerdo al criterio de Emino y Warman (2004, p. 347) establecen que el IG entre el 50 – 80% presenta una fitotoxicidad moderada, en cuanto a los valores obtenidos tanto para la lechuga como para la acelga se encuentra bajo el criterio mencionado, ya que el IG al relacionar el porcentaje de germinación como el crecimiento radicular.

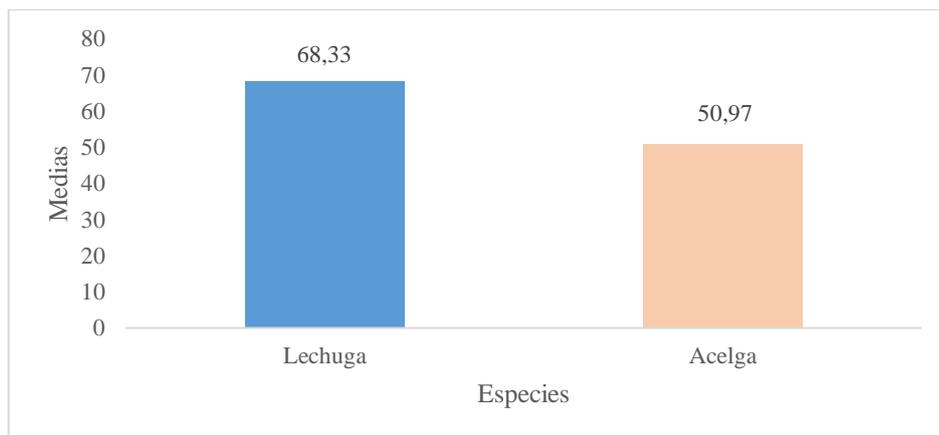


Gráfico 7-3. Índice de germinación por especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 21-3: Prueba de Tukey al 5% para índice de germinación por concentraciones

<u>Concentraciones</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
0	100,00	A
2	77,50	B
4	58,33	C
6	34,08	D
8	28,33	D

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para índice de germinación por concentraciones existieron cuatro grupos. Se tomó en consideración los extremos entre el grupo del más al menos favorable, en el grupo “A” con 100,00% se encontraron las concentraciones 0 ppm de Cromo hexavalente, en el grupo “D” con 34,08 y 28,33% se ubicaron las concentraciones de 6 y 8 ppm de cromo hexavalente (Gráfico 8-3).

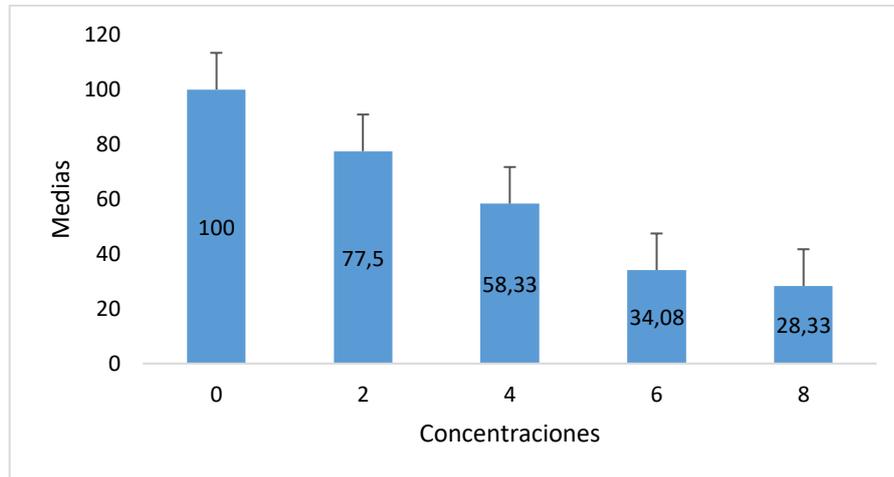


Gráfico 8-3. Prueba de Tukey índice de germinación por concentraciones

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.5. Etapa II Crecimiento temprano en invernadero

3.5.1. Concentración Planta

En el análisis de varianza para concentración de Cromo VI en planta, se encontraron diferencias altamente significativas para especies y concentraciones, para la interacción especies*concentraciones no se encontraron diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 39,89%.

Tabla 22-3: Análisis de Varianza para concentración de Cromo hexavalente en planta

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Especies	0,01	1	0,01	29,43	<0,0001	**
Concentraciones	0,05	4	0,01	37,41	<0,0001	**
Especies*concentraciones	3,2e-03	4	7,9e-04	2,45	0,0583	ns
Error	0,02	50	3,2e-04			
Total	0,08	59				
C.V.(%)	39,89					

p-valor > a 0,05 y > a 0,01 = ns

p-valor < a 0,05 y > a 0,01 = *

p-valor < a 0,05 y < a 0,01 = **

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

El p-valor del análisis de varianza para concentración en planta entre especies*concentraciones fue de 0,0583 que representa un valor mayor al 0,05 y mayor a 0,01 (Tabla 22-3) por lo cual se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, ya que no existieron diferencias significativas en cuanto a la concentración de Cromo VI en las plantas (0, 2, 4, 6, 8 ppm). El coeficiente de variación fue de 39,89%, según lo menciona (CIBERTEC, 2014, p.11), cuando el $33\% \leq CV \leq 50\%$ existe una variabilidad excesiva pero tolerable, es decir que los datos obtenidos son relativamente heterogéneos, por lo que la media no es representativa; además, Gordón-Mendoza & Camargo-Buitargo (2015, p. 56), indican que cuando el CV supera el 30% los datos deben ser descartados debido a la baja precisión, por lo tanto el valor del CV obtenido es alto debido a que durante el ensayo se utilizaron testigos con una concentración de 0 ppm (agua) lo que influyó en los valores de las medias.

Tabla 23-3: Prueba DMS al 5% para concentración de Cromo hexavalente en planta por especies

<u>ESPECIES</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
Lechuga	0,06	A
Acelga	0,03	B

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de DMS al 5% para concentración de Cromo VI en planta por especies, se obtuvieron dos grupos, en el grupo “A” con 0,06 ppm de Cromo hexavalente se ubicó la lechuga y en el grupo “B” con 0,03 ppm se encontró la acelga (Gráfico 9-3). Según los datos obtenidos se pudo determinar que la lechuga fue la especie que más acumuló aunque en cantidades mínimas de Cromo hexavalente, a diferencia de la acelga lo que evidenció que la lechuga tiene una mayor capacidad de bioacumulación, contrastando lo que menciona Vig et al, (2003, p.128) a la capacidad que tienen las plantas para bioacumular metales y otros contaminantes, lo cual depende de la especie vegetal (reinos y familias) así como la naturaleza propia del metal en cuestión. Por lo que la sensibilidad de las especies vegetales pueden ser atribuidos a factores genéticos y fisiológicos.

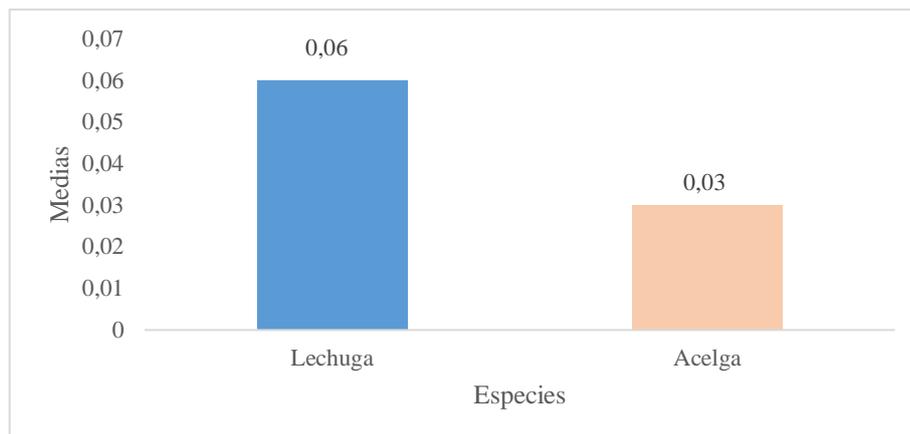


Gráfico 9-3. Índice de germinación en planta por especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 24-3: Prueba de Tukey al 5% para concentración de Cromo hexavalente en planta por concentración.

<u>CONCENTRACIONES</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupos</u>
8	0,08	A
6	0,07	A
4	0,04	B
2	0,03	B
0	0,00	C

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para concentración de Cromo VI en planta por concentración, existieron tres grupos. Se tomó en consideración los extremos entre grupos, en el grupo “A” con 0,08 y 0,07 ppm se encontraron las concentraciones de 8 y 6 ppm de cromo hexavalente, en estos tratamientos se acumuló en mayor cantidad el metal para ambas especies, en el grupo “B” con 0,04 y 0,03 ppm se ubicó las concentraciones de 2 y 4, mientras que en el grupo “C” con 0,00 ppm se ubicó la concentración 0 ppm de Cromo hexavalente. Según (Ayeni et al., 2010, p. 194), menciona que las concentraciones típicas de metales pesados encontradas en hortalizas de hoja es de 0.02 ppm (Gráfico 10-3).

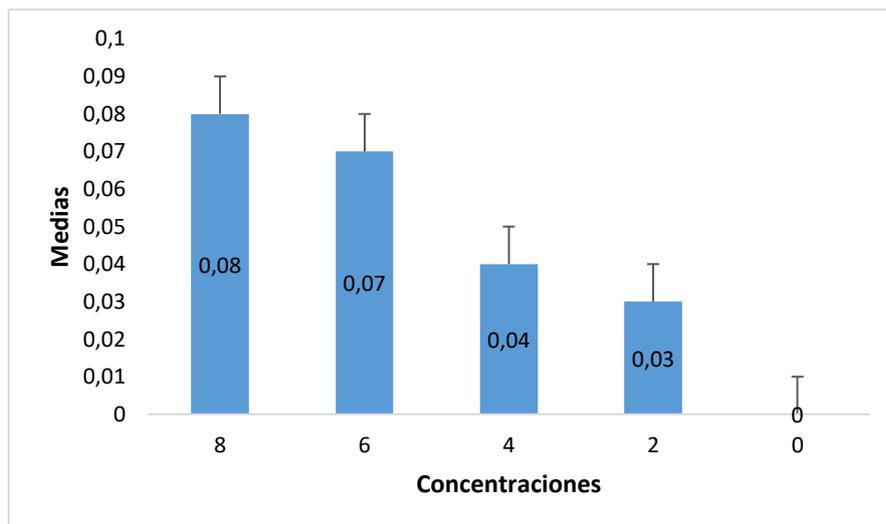


Gráfico 10-3. Prueba de Tukey en planta por concentración

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Es importante mencionar que no existió una interacción especie*concentración debido a que el p valor fue $> 0,05$ y $> 0,01$, siendo el p valor igual a 0,0583, lo que demuestra que las medias no son distantes entre sí. Como se menciona en de Christou et al.(2021, p.4), en concentraciones de Cromo VI en productos agrícolas (hortalizas de hojas verdes; lechuga, acelga, espinaca) se obtuvieron valores de 0,0025 y 0,00052 mg/L. Estos valores están por debajo de los obtenidos en esta investigación, lo que sustenta que se puede acumular cantidades mínimas en concentraciones bajas.

3.5.2. Concentración suelo

En el análisis de varianza para concentración de Cromo VI en suelo, se encontraron diferencias altamente significativas para especies, concentraciones y la interacción especies*concentraciones, con un coeficiente de variación de 35,47% (Tabla 25-3).

Tabla 25-3: Análisis de Varianza para concentración de Cromo hexavalente en suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Especies	0,01	1	0,01	54,27	<0,0001	**
Concentraciones	0,04	4	0,01	56,70	<0,0001	**
Especies*concentraciones	4,2e-03	4	1,0e-03	5,61	0,0008	**
Error	0,01	50	1,9e-04			
Total	0,07	59				
C.V.(%)	35,47					

p-valor $> 0,05$ y $> 0,01$ = ns

p-valor $< 0,05$ y $> 0,01$ = *

p-valor $< 0,05$ y $< 0,01$ = **

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

El p-valor del análisis de varianza para concentración en suelo entre especies*concentraciones fue de 0,0008 que representa un valor menor al 0,05 y mayor a 0,01 (Tabla 25-3) por lo cual se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, ya que existieron diferencias altamente significativas en cuanto a la concentración de Cromo VI en el suelo (0, 2, 4, 6, 8 ppm). El coeficiente de variación fue de 35,47%, según lo menciona (CIBERTEC, 2014, p.11), cuando el $33\% \leq CV \leq 50\%$ existe una variabilidad excesiva pero tolerable, es decir que los datos obtenidos son relativamente heterogéneos, por lo que la media no es representativa; además Gordón-Mendoza & Camargo-Buitargo (2015, p. 56) indican que cuando el CV supera el 30% los datos deben ser descartados debido a la baja precisión, por lo tanto el valor del CV obtenido es alto debido a que durante el ensayo se utilizaron testigos con una concentración de 0 ppm (agua) lo que influyó en los valores de las medias.

Tabla 26-3: Prueba DMS al 5% para concentración de Cromo hexavalente en suelo por especies

<u>ESPECIES</u>	<u>Medias</u>	<u>Grupo</u>
Lechuga	0,05	A
Acelga	0,03	B

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de DMS al 5% para concentración de Cromo VI en suelo por especies, se obtuvieron dos grupos, en el grupo “A” con 0,05 ppm de Cromo hexavalente se ubicó el suelo de la lechuga y en el grupo “B” con 0,03 ppm se encontró el suelo de la acelga (Gráfico 11-3). Estos valores obtenidos contrastan con el comportamiento mencionado en la prueba DMS al 5% para concentración de Cromo hexavalente en planta por especies en la tabla 14 -3.

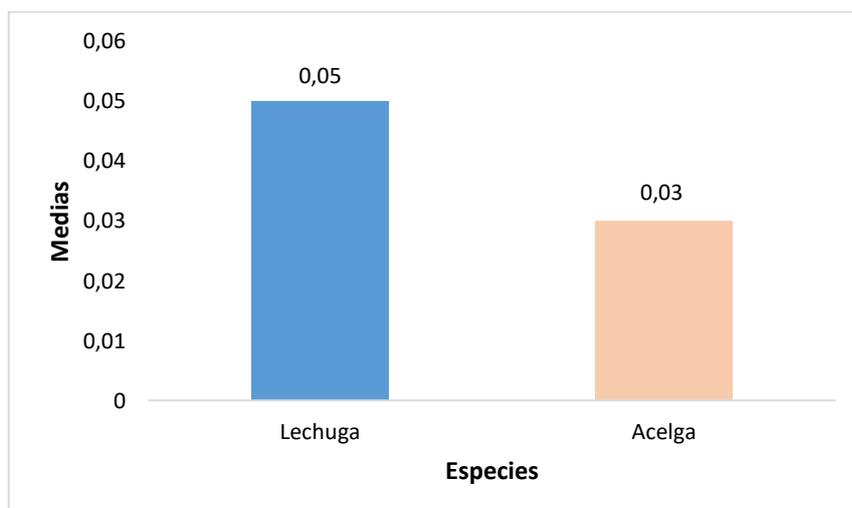


Gráfico 11-3. Concentración Cromo VI en suelo por especies

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 27-3: Prueba Tukey al 5% para concentración de Cromo hexavalente en suelo por concentraciones

CONCENTRACIONES	Medias	Grupo
8	0,08	A
6	0,05	B
4	0,03	C
2	0,03	C
0	0,00	D

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para concentración de Cromo VI en suelo por concentración, existieron cuatro grupos. Se tomó en consideración los extremos entre grupos, en el grupo “A” con 0,08 ppm se encontró la concentración de 8 ppm de Cromo hexavalente y en el grupo “D” con 0,00 ppm se ubicó la concentración 0 ppm de Cromo hexavalente (Gráfico 12-3). Cuando se adiciona metales pesados a los suelos estos se redistribuyen y reparten lentamente por los componentes de la fase sólida del suelo; esta redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial seguido de reacciones lentas, lo cual depende de la especie del metal, así como de las propiedades del suelo, nivel de inducción y tiempo (Han et al., 2003; citado en Prieto et al., 2009, p.31).

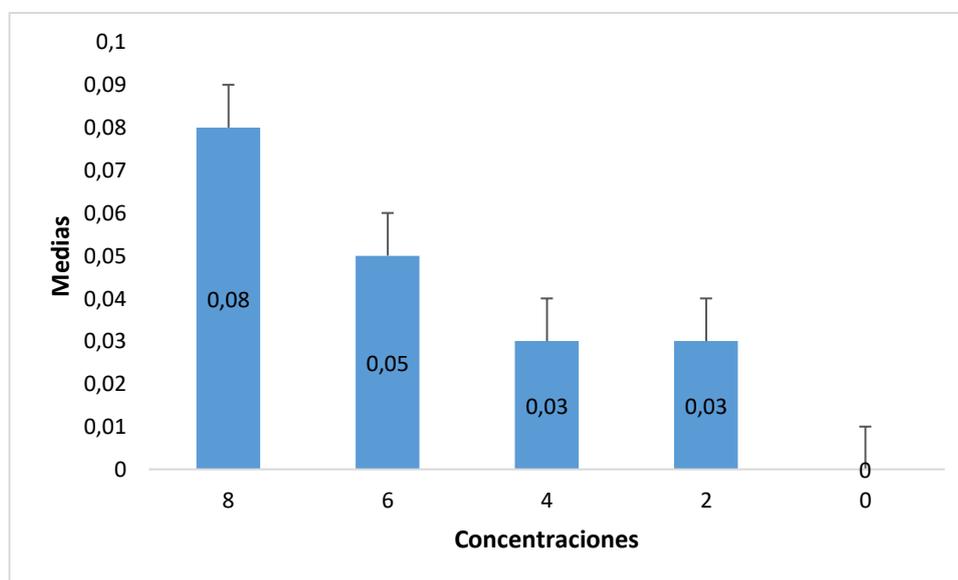


Gráfico 12-3. Prueba de Tukey en suelo por concentración

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 28-3: Prueba Tukey al 5% para concentración de Cromo hexavalente en suelo en la interacción especies*concentraciones

ESPECIES	CONCENTRACIONES	Medias	Grupos
Lechuga	8	0,10	A
Lechuga	6	0,07	B
Acelga	8	0,06	B C
Lechuga	2	0,04	C D
Lechuga	4	0,04	C D
Acelga	6	0,03	C D
Acelga	4	0,02	D E
Acelga	2	0,02	D E
Lechuga	0	0,00	E
<u>Acelga</u>	<u>0</u>	<u>0,00</u>	<u>E</u>

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para concentración de Cromo VI en suelo en la interacción especies*concentraciones, se encontraron seis grupos. Se observó el comportamiento entre grupos, en el grupo “A” con 0,10 ppm se situó el suelo de la lechuga con concentración 8 ppm, reflejando así que se acumuló en mayor medida a comparación de la acelga a la misma concentración con un valor de 0,06 ppm; en las concentraciones de 6 ppm la lechuga acumuló 0,07 ppm, mientras que la acelga acumuló 0,03 ppm; en cuanto a las concentraciones de 2 y 4 ppm para ambas especies se encontró un mismo valor para sus medias de 0,04 y 0,02 ppm y en el grupo “E ” con 0,00 ppm se ubicaron el suelo de la acelga y la lechuga con una concentración de 0 ppm de Cromo VI (Gráfico 13-3).

Según Orroño (2002; citado en Calderón, 2019), describe que en metales como Cd, Cr y Ni, las concentraciones acumuladas en raíces y la parte aérea de la planta se puede encontrar variaciones significativas. Lo que indicaría que el proceso de acumulación se controla metabólicamente. Además, esta bien documentado que el Cromo absorbido por las plantas se acumula principalmente dentro de las raíces lo que muestra un bajo potencial de transporte, debido a que varios estudios mostraron que la acumulación de este metal en diferentes partes de la planta sigue el orden de: raíces > tallos > hojas > frutos (Park, 2020, p.4). Lo que indicaría el motivo por el cual en la concentración planta por especies no hubo interacción con las concentraciones debido a que los valores de las medias no fueron significativas.

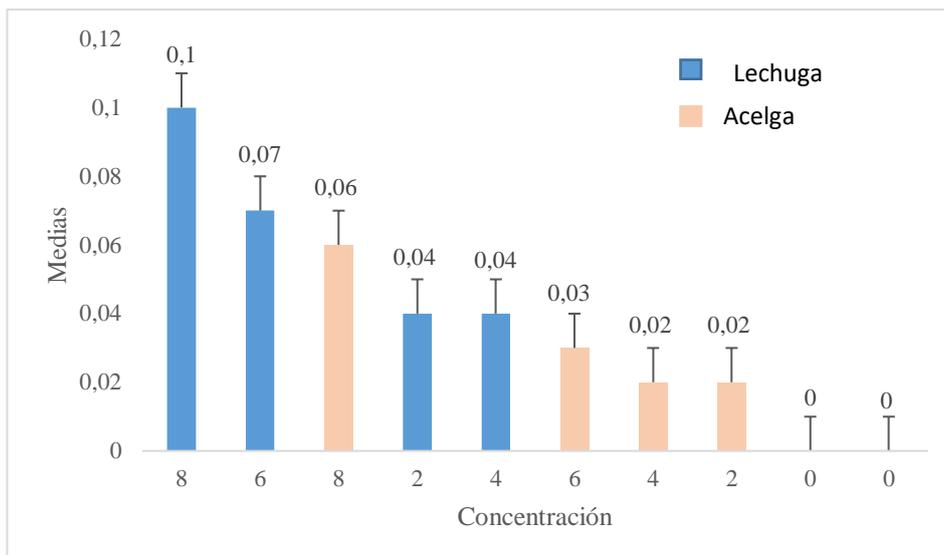


Gráfico 13-3. Prueba de Tukey en suelo interacción especies*concentraciones

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Adicionalmente, ciertos autores mencionan el grado de bioacumulación de ciertos metales presentes en el suelo para las plantas verdes, como se muestra en la figura 2-3 donde se puede observar que el grado de acumulación del Cromo es ligera; lo que se puede inferir que los resultados obtenidos presentan cierta relación con lo mencionado al obtener concentraciones bajas (Kabata-Pendfías, 2000; citado en Prieto et al., 2009, p.36).

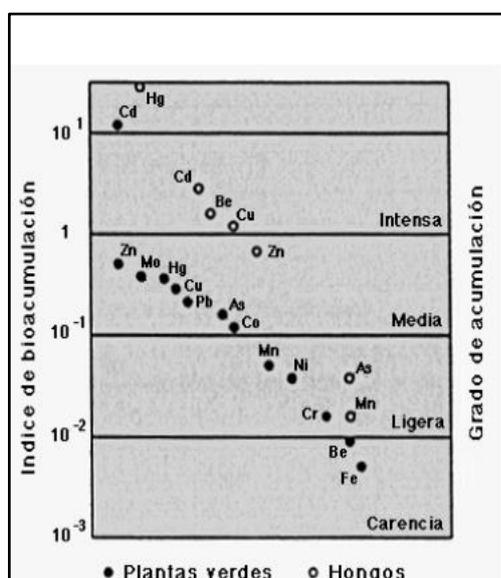


Figura 2-3. Índice de bioacumulación de plantas verdes

Fuente: (Kabata-Pendfías, 2000; citado en Prieto et al., 2009, p.36).

Aunque no hubo una concentración de cromo hexavalente relevante en cada uno de los tratamientos al finalizar el ensayo, si se observaron algunos efectos toxicológicos en las estructuras físicas de ciertas plantas, como es el caso de la acelga donde las hojas presentaron

despigmentaciones y una especie de quemadura en las puntas de determinadas hojas, así como la lechuga presentó tanto en el nervio principal como nervios secundarios una especie de engrosamiento de estos a partir de la concentración de 6ppm para ambas especies; por lo que se represento como la dosis que puede causar efectos adversos detectables (LOAEL) (Figura 3-3), mientras que hasta la concentración de 4ppm no se observaron efectos adversos y se represento como (NOAEL) (Figura 4-3) para ambos casos. Es esencial señalar que existen pocos estudios acerca de la forma como el cromo entra y es acumulado por las plantas, sin embargo, puede presentarse como parte de los efectos tóxicos de metales pesados en el aparato fotosintético: la disminución en la actividad fotoquímica, daño en la estructura y en los niveles de pigmentos fotosintéticos (Ciscato et al., 1997; citado en Salvador, 2014, p.37).



Figura 3-3. Efecto LOAEL en acelga y lechuga

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.



Figura 4-3. Efecto NOAEL en acelga y lechuga

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.6. Ancho Foliar y Altura de *Lactuca sativa L* y *Beta vulgaris var. cicla*

En esta etapa fue importante establecer un seguimiento de las especies hortícolas, el mismo que fue de aproximadamente 60 días para observar los cambios tanto en el ancho foliar como en la altura de la planta frente a la exposición del Cromo VI en *Lactuca sativa L* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga).

3.6.1. Ancho Foliar: *Lactuca sativa* L

Tabla 29-3: Seguimiento del ancho foliar. Especie *Lactuca sativa* L

Concentración (ppm)	Repetición	Ancho Foliar (cm)
A	LV1	6,83
	LV2	7,27
	LV3	7,15
	LV4	6,93
	LV5	7,37
	LV6	7,27
B	LV1	7,00
	LV2	6,53
	LV3	6,97
	LV4	6,90
	LV5	7,03
	LV6	6,50
C	LV1	6,87
	LV2	6,90
	LV3	6,53
	LV4	6,73
	LV5	7,20
	LV6	7,17
D	LV1	6,90
	LV2	7,20
	LV3	7,00
	LV4	6,83
	LV5	6,97
	LV6	6,97
E	LV1	6,53
	LV2	6,90
	LV3	6,60
	LV4	6,53
	LV5	6,73
	LV6	6,90

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.6.2. Ancho Foliar: *Beta vulgaris* var. *Cicla*

Tabla 30-3: Seguimiento del ancho foliar. Especie *Beta vulgaris* var. *cicla*

Concentración (ppm)	Repetición	Ancho Foliar (cm)
A	AV1	6,73
	AV2	6,73
	AV3	6,77
	AV4	6,80
	AV5	6,50
	AV6	6,73
B	AV1	6,73
	AV2	6,83
	AV3	6,77
	AV4	6,53
	AV5	6,73
	AV6	6,57
C	AV1	6,50
	AV2	6,50
	AV3	6,73
	AV4	6,50
	AV5	6,50
	AV6	6,73
D	AV1	6,73
	AV2	6,50
	AV3	6,73
	AV4	6,73
	AV5	6,57
	AV6	6,73
E	AV1	6,73
	AV2	6,53
	AV3	6,57
	AV4	6,73
	AV5	6,53
	AV6	6,67

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.6.3. Altura de la planta: *Lactuca sativa* L

Tabla 31-3: Seguimiento de la altura en las plantas. Especie *Lactuca sativa* L

Concentración (ppm)	Repetición	Altura en las plantas (cm)
A	LV1	11,13
	LV2	11,03
	LV3	10,70
	LV4	11,20
	LV5	10,90
	LV6	11,13
B	LV1	10,37
	LV2	9,60
	LV3	9,73
	LV4	10,00
	LV5	9,50
	LV6	9,87
C	LV1	9,70
	LV2	9,83
	LV3	9,80
	LV4	9,83
	LV5	9,87
	LV6	9,23
D	LV1	9,50
	LV2	9,23
	LV3	9,40
	LV4	9,57
	LV5	9,57
	LV6	9,47
E	LV1	9,50
	LV2	9,23
	LV3	9,47
	LV4	9,23
	LV5	9,20
	LV6	9,27

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

3.6.4. Altura de la planta: *Beta vulgaris* var. *Cicla*

Tabla 32-3: Seguimiento de la altura en las plantas. Especie *Beta vulgaris* var. *Cicla*

Concentración (ppm)	Repetición	Altura en las plantas (cm)
A	AV1	8,70
	AV2	8,47
	AV3	8,83
	AV4	8,77
	AV5	8,77
	AV6	8,47
B	AV1	7,27
	AV2	7,80
	AV3	7,13
	AV4	6,87
	AV5	7,17
	AV6	6,87
C	AV1	6,83
	AV2	6,83
	AV3	7,00
	AV4	6,63
	AV5	6,87
	AV6	7,70
D	AV1	6,57
	AV2	6,47
	AV3	6,57
	AV4	6,33
	AV5	6,70
	AV6	6,70
E	AV1	6,57
	AV2	6,17
	AV3	6,10
	AV4	5,80
	AV5	6,03
	AV6	6,50

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En las Tablas 29-3, 30-3, 31-3 y 32-3 se observa los datos obtenidos al finalizar la última semana de la experimentación, el registro se realizó tres días a la semana tanto del ancho foliar como de la altura de la planta para ambas especies respectivamente (Anexo L, Anexo M, Anexo N, Anexo O). En los valores obtenidos para cada parámetro el crecimiento a los distintos tratamientos de 2, 4,6 y 8 ppm no hubo grandes cambios en el desarrollo de la lechuga y acelga en relación a sus

correspondientes blancos de 0 ppm, ya que las especies no presentaron signos de necrosis. Esto se evidencia también en el estudio de (Christou et al., 2021, p.4) realizado con plantas de lechuga y trigo sometidas a concentraciones de (0,05;0,5;1; 5 y 10 ppm) de Cromo (VI) donde menciona que las plantas en todos los tratamientos mostraron similares tasas de crecimiento y desarrollo, en relación al blanco manteniendo fenotipos idénticos durante todo el período experimental.

3.7. Variables de control en el invernadero

3.7.1. Seguimiento de temperatura y humedad relativa

Tabla 33-3: Promedio Temperatura Diaria (°C) en el interior del invernadero

Días Control	Promedio Temperatura Diaria (°C)
1	19,67
2	21,00
3	26,33
4	24,00
5	26,67
6	22,33
7	23,00
8	19,00
9	26,33
10	21,00
11	24,67
12	25,33
13	24,67
14	21,33
15	19,67
16	25,33
17	26,67
18	23,33
19	26,33
20	21,33
21	25,33
22	21,67
23	23,00
24	20,00
25	24,67
26	25,00
27	28,00
28	27,00
29	23,33
30	28,00
31	23,33
32	25,00
33	23,00
34	21,00
35	24,33
36	21,33
37	25,67
38	21,33

39	28,00
40	25,33
41	21,00
42	26,67
43	22,67
44	24,67
45	27,33
46	24,00
47	24,33
48	27,33
49	24,00
50	21,00
51	24,00
52	19,33
53	25,00
54	26,00
55	21,33
56	25,00
57	21,33
58	24,33
59	26,33
60	24,67
Promedio	23,88

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la tabla 33-3, se detalla el promedio de la temperatura diaria registrada en el interior del invernadero durante los períodos de la mañana, mediodía y tarde llevado a cabo en los 60 días de experimentación (ANEXO P). Donde se puede evidenciar que los datos varían de 19,00 °C como temperatura mínima hasta los 28,00 °C como temperatura máxima, presentando un promedio de temperatura de 23,88 °C valor que se encuentra dentro del rango; como lo menciona Saavedra (2017, p.27) la temperatura máxima a la cual la lechuga puede desarrollarse adecuadamente comprende desde los 18°C a 24 °C, así como la acelga a una temperatura ideal de 15 a 25°C (Ugás, et al., 2000; citado en Rivera, 2021, p.22).

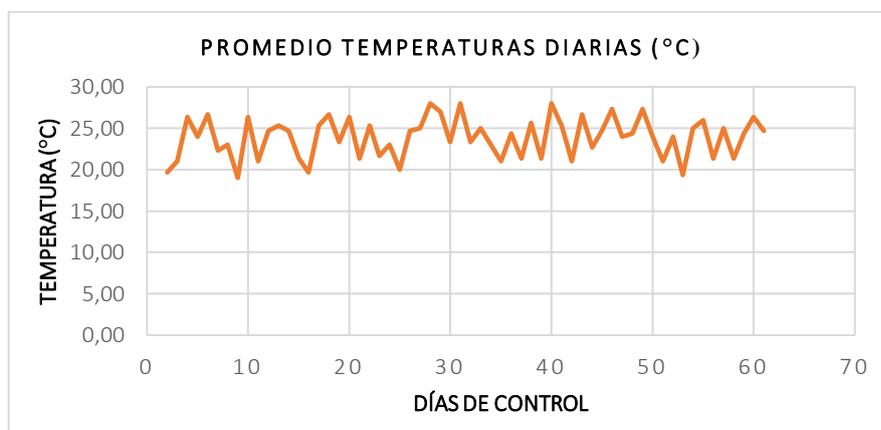


Gráfico 14-3. Variación de temperatura en el interior del invernadero

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Tabla 34-3: Seguimiento de la humedad relativa (%) en el interior del invernadero

Días Control	Promedio Humedad Relativa Diaria
1	86
2	70
3	80
4	76
5	79
6	83
7	76
8	84
9	78
10	80
11	81
12	84
13	80
14	82
15	83
16	84
17	85
18	84
19	84
20	81
21	82
22	74
23	85
24	81
25	75
26	78
27	80
28	80
29	83
30	77
31	83
32	79
33	77
34	85
35	81
36	79
37	83

38	81
39	77
40	80
41	82
42	83
43	80
44	74
45	81
46	85
47	81
48	84
49	72
50	77
51	85
52	82
53	75
54	85
55	81
56	73
57	70
58	85
59	82
60	76
Promedio	80

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

En la Tabla 34-3 se observa el promedio diario de humedad relativa (%) registrados en el interior del invernadero durante los períodos de la mañana, mediodía y tarde (ANEXO Q) llevado a cabo en los 60 días de experimentación. Como valor mínimo de humedad relativa se encuentra 70% y 86% como valor máximo, mostrando como promedio relativo de humedad 80% , el cual se encuentra dentro del rango de los requerimientos (60-80%) para mantener un crecimiento adecuado de la lechuga (Axayacatl, 2020), así como la acelga necesita entre el 60 y 90% en cultivos en invernadero (Astarian, 2000; citado en Nuñez, 2016, p.11).

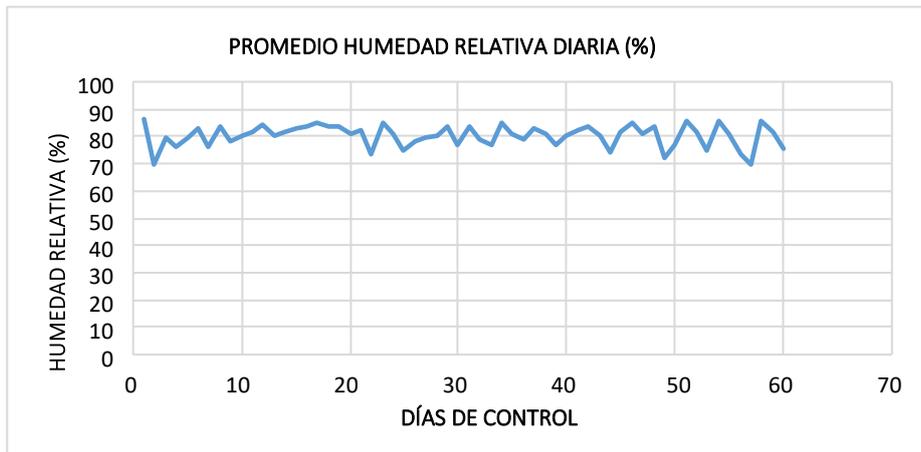


Gráfico 15-3. Variación de humedad relativa en el interior del invernadero

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

CONCLUSIONES

- Se cultivó en laboratorio las especies de lechuga y acelga en cajas petri y en invernadero el crecimiento temprano de las plantas, brindando los requerimientos ambientales y nutricionales necesarios para el crecimiento de las muestras vegetales.
- Se aplicó el cromo hexavalente a diferentes concentraciones, en el porcentaje relativo de germinación (%GRS) a la concentración de 8 ppm se obtuvo un 90 % en lechuga y un 30%, esto a comparación de sus testigos donde la germinación fue de 100% y 71,67 % respectivamente; por lo cual las semillas de acelga presentaron una alta sensibilidad al metal. Además, en la longitud radicular a los 8 ppm se registró un valor de 3,68 cm para la acelga y para la lechuga un 2,58 cm al mismo tratamiento, siendo esta la que indicó mayor sensibilidad en su desarrollo. Con respecto al IG la lechuga registró un 68,33% y la acelga un 50,97% por lo que se consideró que ambas especies presentaron una fitotoxicidad moderada.
- Se registró el comportamiento de ambos cultivos en bitácoras, donde se observó la presencia de pequeñas despigmentaciones y quemaduras en ciertas hojas de acelga, así como la lechuga presentó un engrosamiento en el nervio principal y secundario; estos cambios se evidenciaron a partir de la sexta semana para ambas especies; en cuanto al ancho foliar y altura no presentaron grandes cambios entre tratamientos. *Lactuca sativa L* (lechuga) y *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) mostraron tolerancia a los diferentes tratamientos de cromo hexavalente ya que hubo ausencia de necrosis.
- Se determinó la acumulación de cromo hexavalente en cantidades mínimas, debido a que la mayoría de la dosificación se podría haber lixiviado, sin embargo en la lechuga la concentración en planta fue de 0,06 ppm y en suelo de 0,05 ppm; en la acelga con un valor de 0,03 ppm para ambas partes. La cantidad acumulada permitió observar efectos toxicológicos en las hojas, siendo así que se determinó el efecto LOAEL a partir del tratamiento de 6ppm y NOAEL al tratamiento de 4ppm tanto en lechuga como acelga.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar por separado las partes de la planta con la finalidad de determinar si el Cromo VI es acumulado en hojas y raíces de cada especie para así estimar la concentración exacta fitoextraída por las plantas.
- Analizar el suelo antes y después de cada dosificación para tener la certeza de que existan cambios en la acumulación de Cromo VI y a la vez obtener concentraciones tanto iniciales como finales que permitan una mejor interpretación de los datos.
- Utilizar aguas residuales provenientes de curtiembres en los bioensayos para obtener mejores resultados cercanos a los valores reales.
- Trabajar con concentraciones más altas para observar el comportamiento de las especies, principalmente si existen cambios en la biomasa.
- Realizar pruebas piloto antes de la experimentación para conocer el volumen de dosificación que se debe aplicar en relación a los kg de suelo.
- Ambas especies presentaron cantidades trazas de Cromo VI tanto en la planta como en el suelo, por lo que se debe analizar el lixiviado para determinar el porcentaje del contaminante no absorbido por la planta.
- Probar un montaje experimental en cultivo hidropónico o en campo abierto, para comparar si las condiciones ambientales influyen en el comportamiento, desarrollo y absorción del Cromo VI.

BIBLIOGRAFÍA

AGROSÍNTESIS. Tipos de germinación. 2016 [en línea].[Consulta: 14 de junio 2022]. Disponible en: <https://www.agrosintesis.com/tipos-de-germanizacion/>.

ALM, E. *Implications of Microbial Heavy Metal Tolerance in the Environment*. 2003. Research University of Oklahoma, 2(1985), 1-6.

ASAMBLEA CONSTITUYENTE. Constitución Política de la República del Ecuador. [en línea]. Ecuador, 2008, pp. 52-135. [Consulta: 18 de Agosto 2022]. Disponible en: https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf

ÁVILA CERVANTES, Raúl A; et al. "Bioensayos in vitro de relevancia en las ciencias biológicas y agropecuarias". *Bioagrociencias* [en línea], 2019, (México) 12(1), pp. 34–41. [Consulta: 16 de junio 2022]. ISSN 2007- 431X. Disponible en: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/view/2968>.

AXAYACATL, Olmo. *Requerimientos climáticos de la lechuga* [blog]. (2020). [Consulta: 23 septiembre 2022]. Disponible en: <https://blogagricultura.com/requerimientos-climaticos-lechuga/>

AYALA-LUNA, M; et al. "Bioensayos in vitro de relevancia en las ciencias biológicas y agropecuarias". *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, [en línea], 2021, (Ecuador) 13(2), pp.73-83. [Consulta: 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.53591/cna.v13i2.1191>

AYENI, O; et al. Chemical, biological and physiological indicators of metal pollution in wetlands. *Scientific* (2010). *Research and Essays*, 5(15), 1938-1949.

BAUTISTA CÉSPEDES, Omar V; et al. "Cadmium and chromium effects on seed germination and root elongation in lettuce, spinach and Swiss chard". *Agronomía Colombiana* [en línea], 2013, 31(1), pp. 48–57. [Consulta: 23 septiembre 2022]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/37314>

BENÍTEZ DE ROJAS, C; et al. *Botánica sistemática: fundamentos para su estudio* [blog].[Consulta: 10 Mayo 2022]. Disponible en: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Botanica/Botanica_Sistematica/

BUENDÍA, H; et al. "FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO". Revista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos [en línea], 2014 (Lima) ISSN 113 - 121. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/alma/article/view/11873/10595>

CASTAÑEDO, Z; et al. "Bioensayo de toxicidad aguda en tres biomodelos utilizando compuestos de referencia". Revista de Toxicología [en línea], 2019 (España) vol. 36(2), pp. 128–133. [Consulta: 05 de Junio 2022]. ISSN 1697 - 0748. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/919/91967023007/91967023007.pdf>

CABRERA DÍAZ, Jose Alexander. EVALUACIÓN DE CUATRO CULTIVARES DE LECHUGA EN PARÁMETROS AGRONOMICOS SIMILARES EN LA GRANJA SANTA INES [En línea] (Trabajo de titulación) Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. 2021. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16544>.

CALDERÓN TORRES, Diana Patricia. Fitoestabilización de cromo hexavalente por *acacia melanoxylon*; una estrategia para el tratamiento de suelos contaminados [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Bogotá, Colombia. 2019. [Consulta: 2022-23-09]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/8258>

CIFUENTES MORALES, Paola.; & NOVILLO LOGROÑO, Fernando. "Uso de plantas de pepinillo (*Cucumis sativus*) para fitorremediar suelos contaminados con cromo". *Química Central* [en línea], 2017, 5(1), pp. 69–76. [Consulta: 12 de mayo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/quimica.v5i1.1220>.

CIBERTEC. *Conceptos básicos de estadística* [blog], 2014. [Consulta: 25 de septiembre 2022]. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/marrco/conceptos-bsicos-de-estadistica-33745426>

CHICAIZA CARCHI, Ruth Elizabeth. DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE TRES ACCESIONES DE ACELGA (*Helianthus annuus* L.) EN EL SECTOR QUEROCHACA, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

2017. pp. 50-55. [Consulta: 7 Junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26342>.

CHINMAYEE, M; et al. The assessment of phytoremediation potential of invasive weed *Amaranthus spinosus* L. *Applied Biochemistry and Biotechnology* [en línea], 2012, 167(6), 1550-1559. doi:10.1007/s12010-012-9657-0

CHRISTOU, Anastasis; et al. “Uptake of hexavalent chromium by *Lactuca sativa* and *Triticum aestivum* plants and mediated effects on their performance, linked with associated public health risks”. *Chemosphere* [en línea], 2021, 267, pp. 1–8. [Consulta: 21 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128912>

CODIGO ORGANICO. Código Orgánico de Organización Territorial. *Ministerio de Finanzas del Ecuador*. [en línea]. Ecuador, 2014, pp. 70-71. [Consulta: 10 Septiembre 2022]. Disponible en: https://www.finanzas.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/09/CODIGO_ORGANIZACION_TERRITORIAL.pdf

CONGRESO NACIONAL. Ley Orgánica de Salud (Ley 67). *Registro Oficial Suplemento 423 de 22-dic.-2006 Última modificación: 18-dic.-2015, 67*. [en línea]. Ecuador, 2015, p.2. [Consulta: 12 Septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf>

CONGRESO NACIONAL. Ley de Gestión Ambiental, Codificación 2004. Ecuador, 2015, p.7. [Consulta: 11 Septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>

CORTÉS, L; et al. "Evaluación de la toxicidad de metales pesados en dos suelos agrícolas de Colombia mediante bioensayos". *Revista de la Universidad Nacional de Colombia, Plamira*. [en línea], 2017 (Colombia), vol. 22(2), pp. 43–53. [Consulta: 9 de Junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.943>.

ESPINOZA NARVÁEZ, Gloria Sandra.; & MERA CÓRDOBA, Geny Alejandra. Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Manizales, Colombia. 2015 pp. 32-36. [Consulta: 17 de Junio 2022]. Disponible en:

https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2250/Espinosa_Gloria_Mera_Genny_tesisdefinitiva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GARCÍA-ALVEAR, N.; & **ABAD-TERÁN, M.** "Análisis preliminar de la fitotoxicidad del material particulado sedimentable de la zona urbana de Cuenca". *Maskana* [en línea], 2015 vol.6(1), pp. 95-105. [Consulta: 23 de Junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18537/mskn.06.01.08>.

GARCÍA, I., & DORRONSORO, C. Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos*. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada, Granada. 2005 pp. 19-56. [Consulta: 23 de Septiembre 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000117&pid=S0120-2812201100030000100026&lng=

GIARDINA, Ernesto B; et al. " FITOTOXICIDAD DEL CROMO SOBRE *Phaseolus vulgaris* L". *Agronomía y Ambiente* [en línea], 2012, 32(1-2), pp. 75-80. [Consulta: 05 de abril 2022]. Disponible en: <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/7/4>.

GUZMÁN, Gustavo. "Efecto del plomo sobre la imbibición, germinación y crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. y *Zea mays* L.". *Revista de Biotecnología Vegetal* [en línea], 2015, (Valle del Cauca-Colombia), 12(2), pp. 83-98, [Consulta: 13 Abril 2022]. Disponible en: <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/114/472>.

HERNÁNDEZ RUIZ, Esmeralda. Estudio de bioacumulación y efectos adversos del cromo, en dos especies de rotíferos dulceacuícolas. (Trabajo de titulación) (Maestría) [en línea] Universidad Autónoma de Aguascalientes, Departamento de Química, México. 2015. pp. 1-15. [Consulta: 04 de Junio 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056><https://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827><https://semisupervised.3254828305/semisupervised.ppt><http://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005><http://dx.doi.org/10.1016/j.ceb>.

HINCAPIÉ GUERRA, Alexandra,; & PUERTO GONZÁLEZ, Natalia. Evaluación de la reducción del cromo total en muestras de suelos aledaños al Río Cauca por medio de un proceso químico y biológico [en línea]. (Trabajo de titulación) Universidad El Bosque, Colombia. 2019. p. 43 [Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12495/2830>.

HUICHI CACERES, William. ENSAYO DE TOXICIDAD EN SEMILLAS DE LECHUGA (LACTUCA SATIVA L.) CON CROMO (VI) y COBRE (II). [en línea], 2015. AQP, Perú: [Consulta: 23 de septiembre 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/WilliamEdgarHuichiCa2/universidad-nacionaldesanagustin>.

INFOAGRO. *El proceso de la germinación de semillas* [blog], sin fecha. [Consulta: 24 de junio 2022]. Disponible en: https://infoagro.com/documentos/el_proceso_germinacion_semillas__etapas.asp.

IGNACIO, L., & RÍOS, D. L. "USO DE LACTUCA SATIVA COMO ESPECIE DIAGNÓSTICO EN SEDIMENTOS ENMENDADOS CON COMPOST". Revista Universidad de Buenos Aires [en línea], 2019 (Argentina) V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU), pp. 12-14. [Consulta: 18 de Junio 2022]. ISBN: 978-987-96296-7-3 Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77635/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

JAPON, J. "LA LECHUGA". *Hojas Divulgadoras* [en línea], (sin fecha), (Madrid) 10(77), pp. 1-20. [Consulta: 1 de Junio 2022]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf.

MAÑAS RODRÍGUEZ, María Paula. "Análisis de fitotoxicidad de aguas residuales procedentes de estaciones depuradoras de la provincia de Albacete". *Sabuco: Revista de estudios albacetenses* [en línea], 2017, 12, pp.13-41. [Consulta: 21 septiembre 2022]. ISSN 1577-2969. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6607041>

MARTÍNEZ BARRENO, Byron Alberto. "EVALUACION DEL BIOSOL GENERADO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, COMO BIOFERTILIZANTE EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*)" [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cevallos, Ecuador. 2019. pp. 1-63. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29476>.

MONROY MOROCHO, Lorena Marisol. Caracterización del material particulado PM10 y su efecto fitotóxico en las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*), rábano (*Raphanus sativus*) y brócoli (*Brassica oleracea itálica*) (Trabajo de titulación).[en línea] Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Ambiental. Cuenca, Ecuador. 2017. pp.1-104. [Consulta: 16 de junio 2022]. Disponible en:

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26297>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Texto unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI Anexo 2.* [en línea]. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, 2017. [Consulta: 02 Julio 2022]. Disponible en: https://www.efficacitas.com/efficacitas_es/assets/Anexo%202.pdf

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Revision del anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislacion secundaria del ministerio del ambiente.* Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, 2018. [Consulta: 02 Julio 2022]. Disponible en: <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>

NUÑEZ VELASCO, Cinthia Alejandra. Evaluación de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) con tres niveles de fertilizante foliar (Vigor Top) en ambiente protegido [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 2016. pp. 1-70. [Consulta: 2022-23-09]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/10511>

OREJUELA ROMERO, Jennifer Alexandra. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae) CULTIVADA HIDROPÓNICAMENTE PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS CON PRESENCIA DE CROMO (VI) (Trabajo de titulación) [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador. 2017. pp.1-141.[Consulta: 14 de mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7036>.

ORTEGA SANZ, Irene. Bioensayos con *Cucumis sativus* para el estudio de la toxicidad de suelos contaminados con metales (Trabajo Fin de Grado) [en línea] Universidad del País Vasco, Facultad de Ciencia y Tecnología. Leioa, España. 2017. p.1-24. [Consulta: 17 de junio 2022]. Disponible en: https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26378/TFG_Ortega_Sanz_Irene.pdf;jsessionid=E2812A18EA3F14AECFB59729C8E053F2?sequence=1.

PACHECO PÁEZ, H. Y.; & RINCÓN CASTRO, L. A. Uso del óxido de grafeno como adsorbente en la remoción de cromo en una matriz acuosa con características de agua residual producto de la actividad de curtido (Trabajo de titulación) (tercer grado). [en línea] Universidad de la Salle, *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*, Ecuador, 2019, pp.1-46. [Consulta: 09 de Junio 2022] Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/>

PALAZÓN BRU, I; et al. "Procedimiento de validación de un método para cuantificar cromo en suero por espectroscopía de absorción atómica con atomización electrotérmica". *Revista del Laboratorio Clínico* [en línea], 2015 (España) 8(1), pp. 52-57. [Consulta: 16 de Junio 2022]. ISSN 1888 - 4008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.labcli.2014.12.003>

PARK, Jin Hee. "Contrasting effects of Cr (III) and Cr (VI) on lettuce grown in hydroponics and soil: Chromium and manganese speciation". *Environmental Pollution* [en línea], 2020, 266, pp.1–7. [Consulta: 21 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115073>

PENTREATH, Vivien; et al. "Bioensayo de toxicidad aguda con plantas nativas para evaluar un derrame de petróleo". *Revista de Salud Ambiental* [en línea], 2015, 15(1), pp. 13–20. [Consulta: 02 de junio 2022]. ISSN 1697-2791. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5865654>

PRIETO MÉNDEZ, Judith; et al. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea], 2009, (México) 10(1), pp. 29–44. [Consulta: 12 de junio 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>.

RAWAT, L; et al. "Inhibitory effect of leachate from *Beta vulgaris* var. *cicla* on germination and growth of Kharif crops and weeds". *Acta Ecologica Sinica* [en línea], 2013 (China) vol.33(5), pp. 245-252. [Consulta: 04 de Junio 2022]. ISSN 1872 - 2032. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.07.003>.

RIVERA AREVALO, Ronny Jordy. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE ACELGA CULTIVAR FORDHOOK GIANT, BAJO DIFERENTES DISTANCIAS DE SIEMBRA EN LA GRANJA SANTA INÉS [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. 2021. pp.1-51. [Consulta: 2022-23-09]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/17490>

SAAVEDRA, Gabriel. "Manual de producción de Lechuga". *Instituto de Investigaciones Agropecuarias* [en línea], 2017, (Chile) (374), pp. 9–149. [Consulta: 23 septiembre 2022]. ISSN 0717 - 4829. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6703>

SALVADOR GAMBOA, Mary Elizabeth. EFECTO DEL CROMO HEXAVALENTE (VI) EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Avena sativa L.* "avena." [En línea] Trabajo de titulación. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Biológicas. Trujillo, Perú. 2014. pp.4-38. [Consulta: 2022-10-03]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4364>

SÁNCHEZ ORTIZ, Karen Andrea.; & SÁNCHEZ MELO, Lina María. Determinación de la concentración de inhibición media (CE50-120) del bario, hierro y manganeso mediante bioensayos de toxicidad acuática sobre semillas de lechuga (*lactuca sativa L.*) (Trabajo de grado) [en línea] Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 2009. pp. 1-220. [Consulta: 16 de mayo 2022]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/61.

SOBRERO, María Cecilia. ESTUDIO DE LA FITOTOXICIDAD DE METALES PESADOS Y DEL HERBICIDA GLIFOSATO EN AMBIENTES ACUÁTICOS. BIOENSAYOS CON PLANTAS VASCULARES COMO ORGANISMOS DIAGNÓSTICO [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis doctoral) Universidad Nacional de la Plata. 2010. p. 3 [Consulta: 03 de Junio 2022]. Disponible en: http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/tesis/tesis_1106.pdf.

SILVA, Jeannette; et al. "ESTANDARIZACION DEL BIOENSAYO DE TOXICIDAD AGUAD CON DIPLODON CHILENSIS USANDO UN TOXICO DE REFERENCIA". *Gayana(Concepc.)* [en línea], 2007, 71(2), pp. 135–141. [Consulta: 13 de junio 2022]. ISSN 0717-6538. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382007000200001>.

SILVA, M.; & SALINAS, D. "La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana". *Revista Científica UISRAEL* [en línea], 2022 (Ecuador) vol. 9, pp. 72. [Consulta: 19 de Mayo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022>.

TÉLLEZ, J; et al. "Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres". *Revista de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia* [en línea], 2004 (Colombia), 52(1), p.50. [Consulta: 04 de Junio 2022]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/39062/1/43297-201075-1-PB.pdf>

TORRES RODRÍGUEZ, Marina Teresa. "Empleo de los ensayos con plantas en el control de contaminantes tóxicos ambientales". *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* [en línea], 2003,41(2-3). [Consulta: 11 mayo 2022]. ISSN 1561-3003. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032003000200009&lng=es&nrm=iso.

VARGAS, L. C. P. *Determinación De La Concentración De Inhibición Media (Ce50) De Cromo Para La Semilla Lactuca Sativa Mediante Ensayos De Toxicidad.* 133. [en línea], 2009 (Ecuador), p.70. [Consulta: 23 de Septiembre 2022]. Disponible en: <http://www.repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14908/T41.09 P658d.pdf?...1>

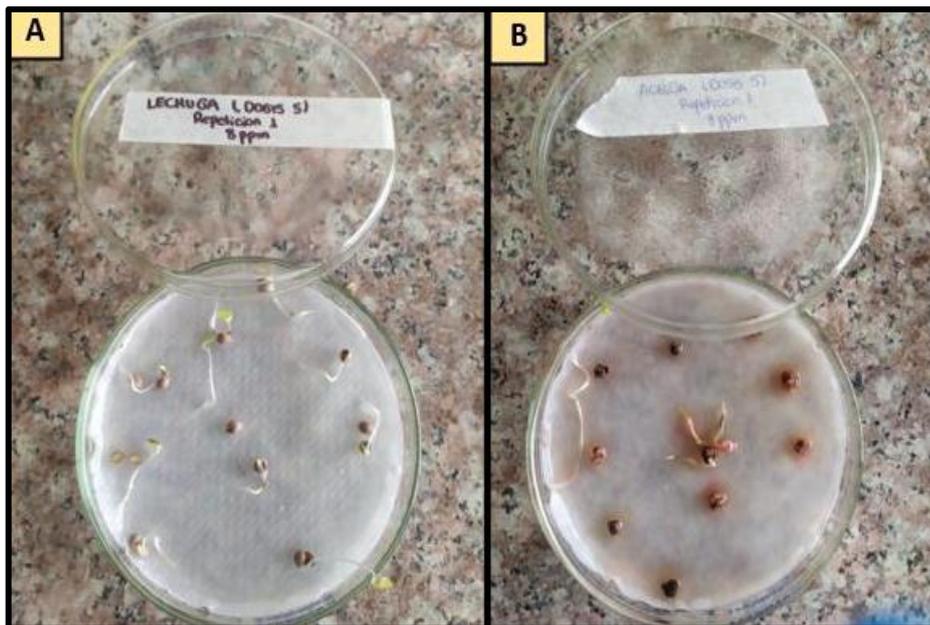
VIG, K; et al. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: A review. *Advances in Environmental Research*, 2003, 8(1), 121-135. doi: 10.1016/S1093-0191(02)00135-1

ANEXOS

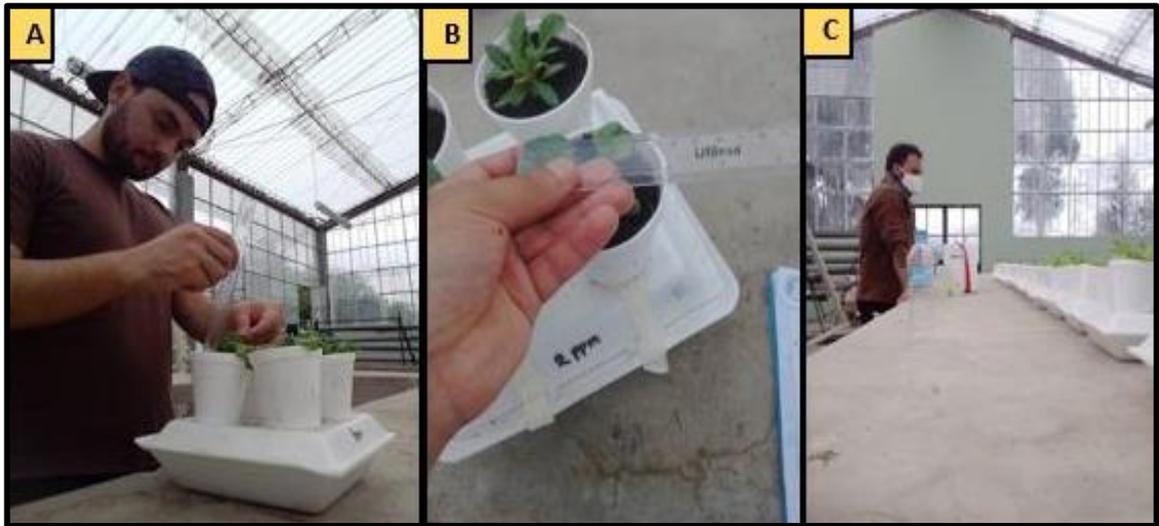
ANEXO A: PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN



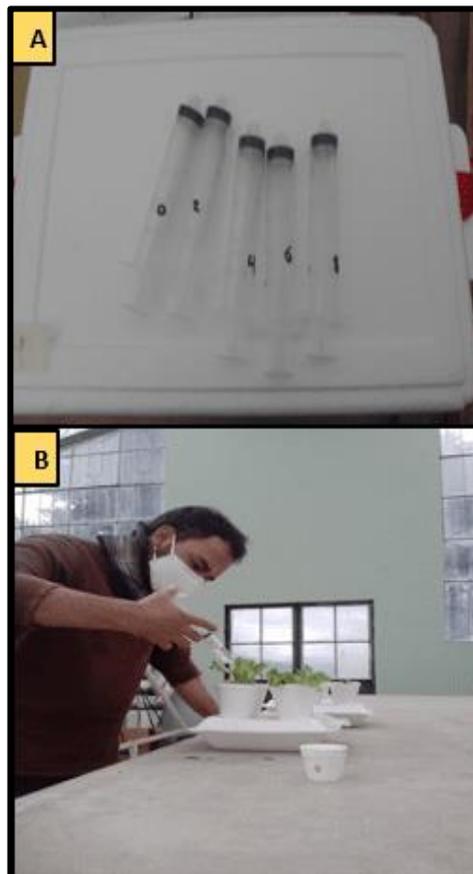
ANEXO B: SEMILLAS DE LECHUGA Y ACELGA (8PPM)



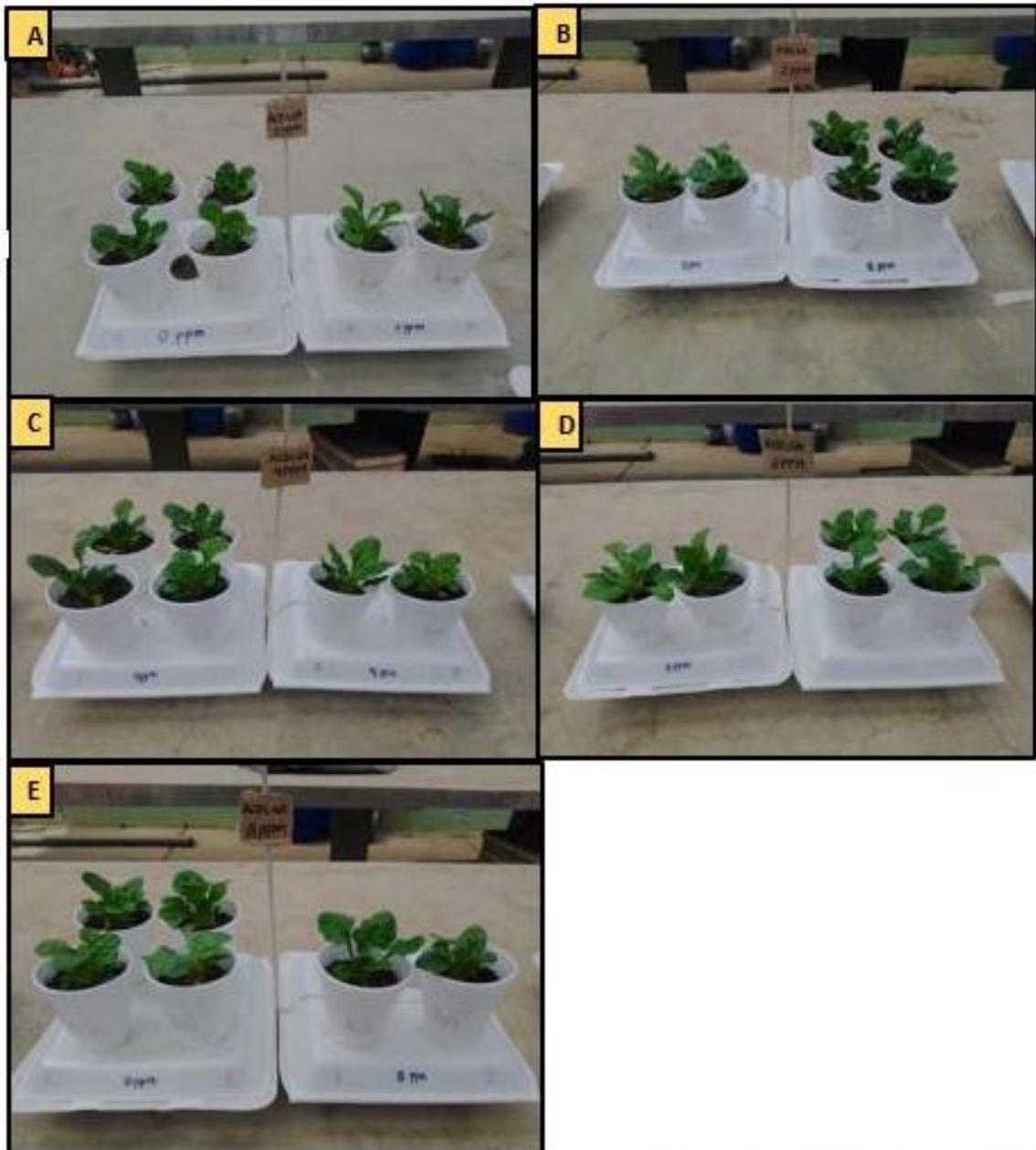
ANEXO C: MEDICIÓN DE LA ALTURA FOLIAR Y ANCHO FOLIAR



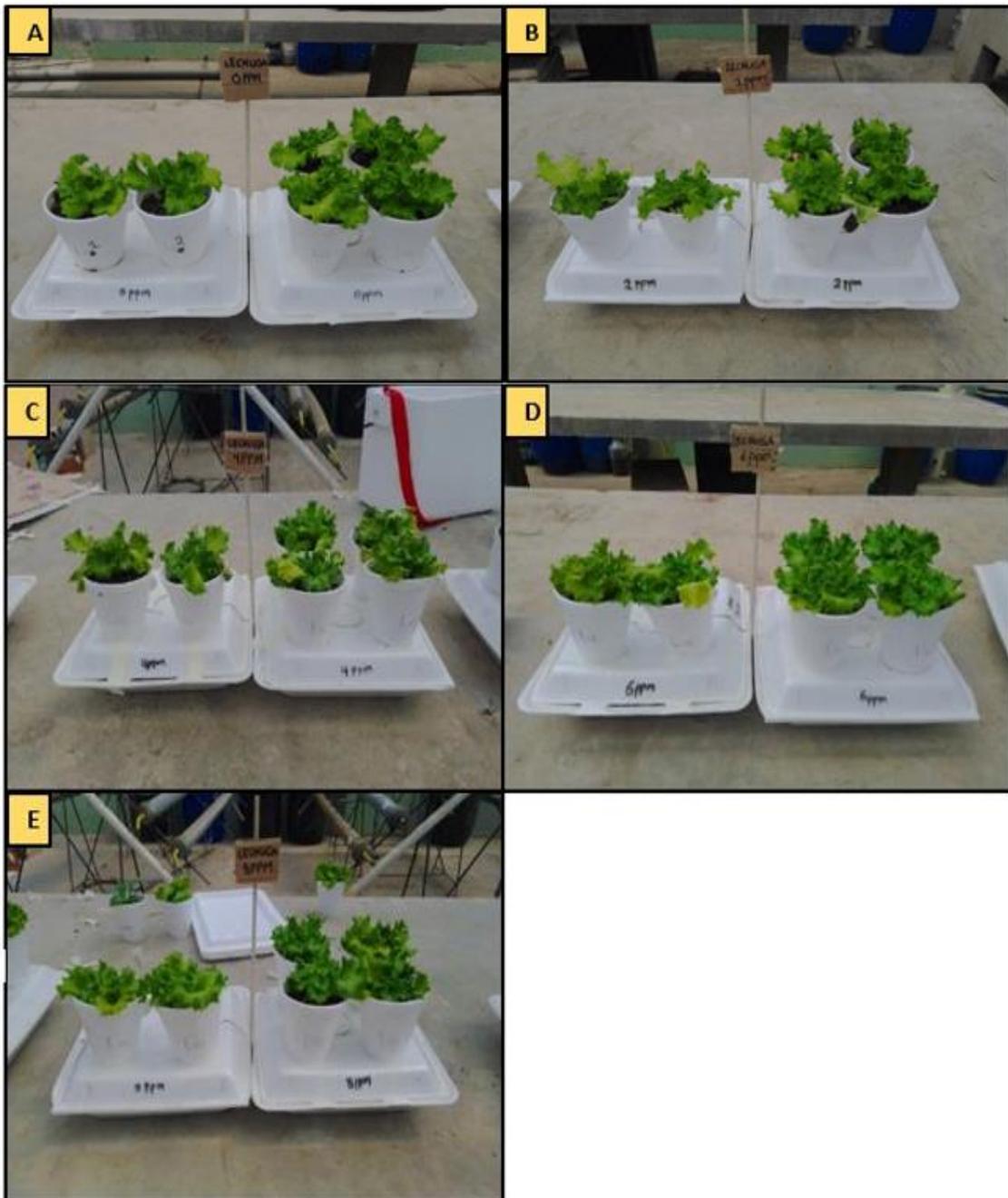
ANEXO D: DOSIFICACIÓN SEGÚN LA CONCENTRACIÓN (2, 4, 6, 8 PPM).



ANEXO E: ACELGA (0, 2, 4, 6 Y 8 PPM)



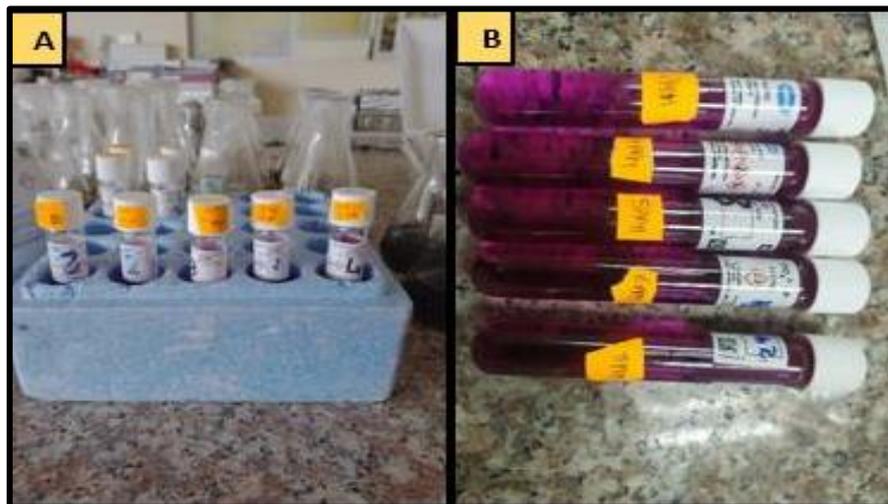
ANEXO F: LECHUGA (0, 2, 4, 6 Y 8 PPM)



ANEXO G: HOMOGENIZACIÓN DE MUESTRAS (SUELO Y PLANTA) EN SHAKER



ANEXO H: ESTÁNDARES ESTABLECIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN (0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,25 PPM).



ANEXO I: MEDICIÓN DE ABSORBANCIAS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO UV – VISIBLE



ANEXO J: DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS (DILUCIONES DE CROMO VI).



ANEXO K: UBICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Google Earth, 2022

ANEXO L: REGISTRO DEL ANCHO FOLIAR. ESPECIE *LACTUCA SATIVA L*

Concentración	Repetición	Semana 1			Promedio	Semana 2			Promedio	Semana 3			Promedio	Semana 4			Promedio
		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3	
A	LV1	0,7	1	1,3	1,00	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,5	2,8	2,53	3	3,3	3,5	3,27
	LV2	0,5	0,8	1,3	0,87	1,6	1,8	2,2	1,87	2,4	2,7	3	2,70	3,4	3,6	3,8	3,60
	LV3	0,4	0,6	1	0,67	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	2,8	2,57	3,2	3,5	3,8	3,50
	LV4	0,4	0,7	1,3	0,80	1,5	1,8	2	1,77	2,3	2,6	2,8	2,57	3,3	3,5	3,8	3,53
	LV5	0,5	0,8	1,3	0,87	1,5	1,8	2,2	1,83	2,5	2,8	3,2	2,83	3,5	3,7	4	3,73
	LV6	0,4	0,8	1,2	0,80	1,5	1,7	2,1	1,77	2,4	2,6	3	2,67	3,3	3,5	3,8	3,53
B	LV1	0,4	0,7	1	0,70	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,5	2,8	2,53	3,1	3,4	3,7	3,40
	LV2	0,6	0,8	1,3	0,90	1,6	1,8	2,2	1,87	2,5	2,7	3	2,73	3,2	3,5	3,8	3,50
	LV3	0,3	0,6	0,8	0,57	1,3	1,6	2	1,63	2,3	2,5	2,8	2,53	3,1	3,4	3,7	3,40
	LV4	0,5	0,8	1,3	0,87	1,6	1,8	2,4	1,93	2,6	2,8	3	2,80	3,3	3,5	3,8	3,53
	LV5	0,6	0,8	1,4	0,93	1,6	1,8	2,3	1,90	2,5	2,7	3,1	2,77	3,3	3,5	3,7	3,50
	LV6	0,4	0,6	0,8	0,60	1,2	1,5	1,8	1,50	2,2	2,5	2,8	2,50	3,1	3,3	3,6	3,33
C	LV1	0,6	0,8	1,3	0,90	1,5	1,8	2,2	1,83	2,5	2,7	3	2,73	3,3	3,5	3,7	3,50
	LV2	0,5	0,7	1	0,73	1,3	1,5	1,7	1,50	2	2,4	2,6	2,33	2,8	3,3	3,6	3,23
	LV3	0,4	0,6	0,8	0,60	1,3	1,5	1,8	1,53	2,2	2,5	2,8	2,50	3,2	3,4	3,7	3,43
	LV4	0,5	0,8	1,3	0,87	1,5	1,8	2,3	1,87	2,5	2,7	3	2,73	3,2	3,4	3,6	3,40
	LV5	0,3	0,6	0,8	0,57	1,3	1,5	1,8	1,53	2,2	2,6	2,8	2,53	3,2	3,5	3,7	3,47
	LV6	0,5	0,7	1,4	0,87	1,6	1,8	2,3	1,90	2,5	2,8	3,1	2,80	3,3	3,6	3,8	3,57
D	LV1	0,3	0,6	0,8	0,57	1,2	1,4	1,6	1,40	1,8	2,3	2,5	2,20	2,7	3	3,4	3,03
	LV2	0,5	0,7	0,8	0,67	1,3	1,5	1,8	1,53	2,1	2,4	2,6	2,37	2,8	3,2	3,5	3,17
	LV3	0,4	0,8	1,1	0,77	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,5	2,7	2,50	3	3,3	3,6	3,30
	LV4	0,6	0,8	1,3	0,90	1,5	1,8	2,2	1,83	2,4	2,6	2,8	2,60	3,1	3,3	3,5	3,30
	LV5	0,5	0,7	1,1	0,77	1,4	1,6	1,8	1,60	2,3	2,5	2,7	2,50	3	3,3	3,5	3,27
	LV6	0,6	0,8	1,2	0,87	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,5	2,7	2,50	3	3,3	3,6	3,30

E	LV1	0,6	0,8	1,3	0,90	1,5	1,7	2	1,73	2,4	2,6	2,8	2,60	3,1	3,3	3,5	3,30
	LV2	0,4	0,6	0,8	0,60	1,2	1,4	1,7	1,43	2	2,3	2,6	2,30	2,8	3,2	3,5	3,17
	LV3	0,5	0,7	1	0,73	1,3	1,5	1,7	1,50	2,1	2,3	2,5	2,30	2,7	3	3,4	3,03
	LV4	0,3	0,6	0,8	0,57	1,2	1,5	1,8	1,50	2,1	2,5	2,7	2,43	3	3,3	3,5	3,27
	LV5	0,5	0,7	1	0,73	1,3	1,6	1,8	1,57	2,2	2,5	2,8	2,50	3,2	3,5	3,7	3,47
	LV6	0,6	0,8	1,2	0,87	1,4	1,6	1,7	1,57	2,1	2,3	2,5	2,30	2,7	3	3,4	3,03

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Concentración	Repetición	Semana 5			Promedio	Semana 6			Promedio	Semana 7			Promedio	Semana 8			Promedio
		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3	
A	LV1	3,7	4	4,3	4,00	4,5	4,7	5	4,73	5,3	5,7	6	5,67	6,4	6,8	7,3	6,83
	LV2	4,1	4,3	4,6	4,33	4,8	5,3	5,6	5,23	6	6,4	6,7	6,37	7	7,3	7,5	7,27
	LV3	4,1	4,3	4,5	4,30	4,8	5,3	5,5	5,20	5,8	6,4	6,6	6,27	7	7,3		7,15
	LV4	4	4,3	4,5	4,27	4,7	5	5,3	5,00	5,6	5,8	6,3	5,90	6,6	6,8	7,4	6,93
	LV5	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,3	5,6	5,30	6	6,4	6,7	6,37	7,1	7,4	7,6	7,37
	LV6	4,2	4,5	4,7	4,47	5	5,3	5,6	5,30	6,1	6,4	6,6	6,37	7	7,3	7,5	7,27
B	LV1	4	4,3	4,6	4,30	5	5,3	5,5	5,27	5,8	6,2	6,5	6,17	6,7	7	7,3	7,00
	LV2	4,2	4,4	4,6	4,40	5,2	4,8	5,3	5,10	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,8	6,53
	LV3	4	4,3	4,6	4,30	4,8	5,2	5,5	5,17	5,8	6,1	6,4	6,10	6,6	7	7,3	6,97
	LV4	4,2	4,4	4,6	4,40	4,8	5,1	5,4	5,10	5,6	5,8	6,3	5,90	6,6	6,8	7,3	6,90
	LV5	4	4,3	4,5	4,27	4,7	5	5,3	5,00	5,6	5,8	6,4	5,93	6,7	7	7,4	7,03
	LV6	3,8	4,2	4,4	4,13	4,6	4,8	5,3	4,90	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,7	6,50
C	LV1	4	4,3	4,5	4,27	4,8	5,2	5,4	5,13	5,6	5,8	6,3	5,90	6,6	6,8	7,2	6,87
	LV2	3,8	4,3	4,5	4,20	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,4	6,03	6,6	6,8	7,3	6,90
	LV3	4	4,2	4,4	4,20	4,6	4,8	5,2	4,87	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,8	6,53
	LV4	3,8	4,2	4,5	4,17	4,7	5	5,3	5,00	5,5	5,8	6,3	5,87	6,5	6,7	7	6,73
	LV5	4	4,3	4,5	4,27	4,8	5,2	5,5	5,17	5,8	6,3	6,6	6,23	6,8	7,3	7,5	7,20
	LV6	4,2	4,5	4,7	4,47	5	5,3	5,5	5,27	5,8	6,3	6,6	6,23	6,8	7,2	7,5	7,17
D	LV1	3,6	3,8	4,3	3,90	4,6	4,8	5,3	4,90	5,6	5,8	6,3	5,90	6,6	6,8	7,3	6,90
	LV2	3,8	4,2	4,5	4,17	4,8	5,2	5,5	5,17	5,8	6,3	6,5	6,20	6,8	7,3	7,5	7,20
	LV3	3,8	4,3	4,6	4,23	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,4	6,03	6,7	7	7,3	7,00
	LV4	3,7	4	4,3	4,00	4,6	4,8	5,4	4,93	5,6	5,8	6,3	5,90	6,5	6,8	7,2	6,83
	LV5	3,8	4,2	4,4	4,13	4,6	4,8	5,2	4,87	5,5	5,8	6,3	5,87	6,6	7	7,3	6,97
	LV6	4	4,3	4,5	4,27	4,8	5,2	5,5	5,17	5,8	6,3	6,5	6,20	6,7	7	7,2	6,97
E	LV1	3,8	4,3	4,5	4,20	4,8	5	5,3	5,03	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,8	6,53

	LV2	3,8	4,2	4,4	4,13	4,6	5	5,3	4,97	5,6	5,8	6,3	5,90	6,6	6,8	7,3	6,90
	LV3	3,7	4	4,4	4,03	4,6	5	5,4	5,00	5,6	5,8	6,2	5,87	6,4	6,6	6,8	6,60
	LV4	3,7	4	4,3	4,00	4,5	4,7	5	4,73	5,4	5,6	5,8	5,60	6,3	6,5	6,8	6,53
	LV5	4	4,3	4,5	4,27	4,8	5	5,3	5,03	5,5	5,8	6,3	5,87	6,5	6,7	7	6,73
	LV6	3,6	3,8	4,3	3,90	4,6	4,8	5,4	4,93	5,6	5,8	6,3	5,90	6,6	6,8	7,3	6,90

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

ANEXO M: REGISTRO DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS. ESPECIE *LACTUCA SATIVA L*

Concentración	Repetición	Semana 1			Promedio	Semana 2			Promedio	Semana 3			Promedio	Semana 4			Promedio
		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3	
A	LV1	2,1	2,5	2,8	2,47	3,2	3,7	4,1	3,67	4,5	4,8	5	4,77	5,4	5,8	6,1	5,77
	LV2	2,2	2,5	3	2,57	3,4	3,8	4,3	3,83	4,7	5	5,3	5,00	5,7	6	6,4	6,03
	LV3	2,4	2,8	3,5	2,90	3,8	4,2	4,5	4,17	4,8	5	5,4	5,07	5,8	6,1	6,4	6,10
	LV4	2	2,4	2,8	2,40	3,2	3,6	3,8	3,53	4,1	4,5	4,8	4,47	5,2	5,8	6	5,67
	LV5	2,3	2,6	3,1	2,67	3,4	3,7	4	3,70	4,4	4,7	5	4,70	5,4	5,8	6,2	5,80
	LV6	2	2,5	2,8	2,43	3,1	3,5	3,8	3,47	4,1	4,6	5,1	4,60	5,5	5,8	6,2	5,83
B	LV1	2	2,7	3	2,57	3,3	3,6	4	3,63	4,4	4,7	5	4,70	5,3	5,6	6	5,63
	LV2	1,7	2	2,4	2,03	2,7	3	3,3	3,00	3,6	4	4,3	3,97	4,6	4,8	5,2	4,87
	LV3	1,8	2,3	2,7	2,27	3	3,3	3,6	3,30	3,8	4,1	4,4	4,10	4,7	5	5,4	5,03
	LV4	2,2	2,8	3	3,00	3,3	3,5	3,7	3,50	4	4,3	4,5	4,27	4,8	5,3	5,6	5,23
	LV5	1,5	2	2,5	2,00	2,8	3	3,3	3,03	3,6	3,8	4,2	3,87	4,5	4,8	5,2	4,83
	LV6	1,6	2	2,4	2,00	2,7	3,1	3,4	3,07	3,7	4	4,3	4,00	4,7	5,3	5,7	5,23
C	LV1	1,7	2,1	2,5	2,10	2,8	3,2	3,5	3,17	3,8	4,1	4,3	4,07	4,6	5	5,4	5,00
	LV2	2	2,4	2,6	2,33	2,8	3	3,3	3,03	3,6	3,8	4,2	3,87	4,7	5,1	5,3	5,03
	LV3	2	2,4	2,6	2,33	2,8	3,1	3,4	3,10	3,6	3,8	4,2	3,87	4,6	4,8	5,2	4,87
	LV4	1,5	1,8	2,2	1,83	2,6	3	3,1	2,90	3,3	3,5	3,7	3,50	4	4,5	4,8	4,43

	LV5	1,8	2,2	2,4	2,13	2,7	3,2	3,4	3,10	3,7	4,1	4,4	4,07	4,8	5,1	5,5	5,13
	LV6	1,4	1,8	2,3	1,83	2,5	2,8	3	2,77	3,3	3,6	4	3,63	4,4	4,8	5,3	4,83
D	LV1	2	2,3	2,5	2,27	2,8	3	3,3	3,03	3,5	3,8	4	3,77	4,3	4,7	5	4,67
	LV2	2	2,3	2,6	2,30	3	3,3	3,5	3,27	3,7	4	4,2	3,97	4,6	5	5,4	5,00
	LV3	1,5	1,7	2	1,73	2,3	2,5	2,8	2,53	3,4	3,7	4,3	3,80	4,7	5,1	5,5	5,10
	LV4	1,6	2	2,3	1,97	2,5	2,7	3	2,73	3,4	3,7	4,3	3,80	4,6	5	5,4	5,00
	LV5	1,3	1,6	1,8	1,57	2,3	2,6	2,8	2,57	3,2	3,6	4	3,60	4,4	4,8	5,3	4,83
	LV6	1,4	1,7	2	1,70	2,4	2,7	3	2,70	3,6	4	4,4	4,00	4,7	5,2	5,5	5,13
E	LV1	1,4	1,7	2,1	1,73	2,5	2,8	3,1	2,80	3,5	3,8	4,2	3,83	4,5	4,8	5,3	4,87
	LV2	2	2,3	2,6	2,30	2,8	3	3,3	3,03	3,5	3,8	4	3,77	4,4	4,7	5,2	4,77
	LV3	2,1	2,3	2,5	2,30	2,8	3,1	3,3	3,07	3,5	3,8	4,1	3,80	4,5	4,8	5,4	4,90
	LV4	1,4	1,7	2	1,70	2,4	2,7	3	2,70	3,4	3,7	4,2	3,77	4,5	4,8	5,3	4,87
	LV5	2,1	2,4	2,6	2,37	2,8	3	3,2	3,00	3,5	3,8	4,2	3,83	4,6	4,8	5,2	4,87
	LV6	1,6	2	2,3	1,97	2,5	2,8	3,2	2,83	3,5	3,8	4	3,77	4,4	4,8	5,3	4,83

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Concentración	Repetición	Semana 5			Promedio	Semana 6			Promedio	Semana 7			Promedio	Semana 8			Promedio
		Día	Día	Día		Día	Día	Día		Día	Día	Día		Día			
		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
A	LV1	6,5	6,8	7,5	6,93	7,8	8,4	8,8	8,33	9,4	9,8	10,6	9,93	10,8	11,1	11,5	11,13
	LV2	6,7	7,1	7,6	7,13	8,1	8,7	9	8,60	9,5	9,8	10,5	9,93	10,7	11	11,4	11,03
	LV3	6,8	7	7,4	7,07	7,8	8,5	8,8	8,37	9,2	9,6	10	9,60	10,4	10,7	11	10,70
	LV4	6,5	6,8	7	6,77	7,5	7,8	9,4	8,23	9,7	10	10,5	10,07	10,8	11,2	11,6	11,20
	LV5	6,6	7	7,5	7,03	7,8	8,5	8,8	8,37	9,3	9,8	10,4	9,83	10,6	10,8	11,3	10,90
	LV6	6,6	6,8	7,4	6,93	7,8	8,4	8,8	8,33	9,2	9,7	10,5	9,80	10,7	11,1	11,6	11,13
B	LV1	6,5	6,8	7,4	6,90	7,7	8	8,5	8,07	8,8	9,4	9,7	9,30	10,1	10,4	10,6	10,37
	LV2	5,7	6,3	6,7	6,23	7	7,5	7,8	7,43	8,4	8,7	9	8,70	9,4	9,6	9,8	9,60

	LV3	5,8	6,4	6,8	6,33	7,4	7,7	8,1	7,73	8,5	8,8	9,3	8,87	9,5	9,7	10	9,73
	LV4	6	6,5	7	6,50	7,5	7,8	8,3	7,87	8,6	9	9,4	9,00	9,7	10	10,3	10,00
	LV5	5,6	5,8	6,4	5,93	6,7	7,1	7,5	7,10	7,8	8,4	8,8	8,33	9,2	9,5	9,8	9,50
	LV6	6,1	6,5	6,8	6,47	7,2	7,5	8	7,57	8,5	8,8	9,4	8,90	9,6	9,8	10,2	9,87
C	LV1	5,7	6,1	6,6	6,13	6,8	7,4	7,8	7,33	8,2	8,6	9	8,60	9,4	9,7	10	9,70
	LV2	5,7	6,2	6,7	6,20	7,1	7,6	8	7,57	8,5	8,8	9,3	8,87	9,5	9,8	10,2	9,83
	LV3	5,5	5,8	6,4	5,90	6,8	7,4	7,8	7,33	8,4	8,7	9,3	8,80	9,6	9,8	10	9,80
	LV4	5,4	5,8	6,3	5,83	6,7	7,3	7,7	7,23	8,2	8,6	9	8,60	9,5	9,7	10,3	9,83
	LV5	5,8	6,3	6,6	6,23	6,8	7,4	7,8	7,33	8,3	8,7	9,2	8,73	9,5	9,8	10,3	9,87
	LV6	5,6	5,8	6,4	5,93	6,7	7,1	7,6	7,13	7,8	8,4	8,6	8,27	8,8	9,3	9,6	9,23
D	LV1	5,5	5,8	6,5	5,93	6,8	7,2	7,5	7,17	7,8	8,4	8,7	8,30	9,2	9,5	9,8	9,50
	LV2	5,8	6,3	6,6	6,23	7	7,4	7,6	7,33	7,8	8,3	8,6	8,23	8,8	9,3	9,6	9,23
	LV3	5,8	6,3	6,7	6,27	7,1	7,4	7,6	7,37	7,8	8,5	8,7	8,33	9,1	9,4	9,7	9,40
	LV4	5,7	6	6,4	6,03	6,8	7	7,3	7,03	7,7	8,2	8,8	8,23	9,4	9,5	9,8	9,57
	LV5	5,6	6	6,5	6,03	6,7	7,1	7,5	7,10	7,8	8,4	8,8	8,33	9,3	9,6	9,8	9,57
	LV6	5,7	6,1	6,4	6,07	6,6	7	7,4	7,00	7,8	8,4	8,7	8,30	9,1	9,5	9,8	9,47
E	LV1	5,6	6	6,4	6,00	6,7	7,1	7,5	7,10	7,8	8,4	8,7	8,30	9,2	9,5	9,8	9,50
	LV2	5,5	5,8	6,4	5,90	6,8	7,4	7,6	7,27	8	8,4	8,6	8,33	8,8	9,3	9,6	9,23
	LV3	5,7	6	6,5	6,07	6,8	7,2	7,5	7,17	7,8	8,4	8,7	8,30	9,1	9,5	9,8	9,47
	LV4	5,8	6,3	6,6	6,23	7	7,3	7,6	7,30	7,8	8,3	8,6	8,23	8,8	9,3	9,6	9,23
	LV5	5,6	6	6,5	6,03	6,7	7	7,3	7,00	7,8	8,3	8,6	8,23	8,8	9,3	9,5	9,20
	LV6	5,6	6	6,5	6,03	6,8	7	7,3	7,03	7,7	8,2	8,6	8,17	8,8	9,4	9,6	9,27

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

ANEXO N: REGISTRO DEL ANCHO FOLIAR. ESPECIE *BETA VULGARIS* VAR. *CICLA*

Concentración	Repetición	Semana 1			Promedio	Semana 2			Promedio	Semana 3			Promedio	Semana 4			Promedio
		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3	
A	AV1	0,4	0,7	1	0,70	1,3	1,6	2	1,63	2,4	2,7	3	2,70	3,3	3,6	4	3,63
	AV2	0,6	0,8	1,2	0,87	1,5	1,8	2,2	1,83	2,5	2,7	3,1	2,77	3,3	3,5	3,8	3,53
	AV3	0,5	0,8	1,1	0,80	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	2,8	2,57	3,2	3,5	3,8	3,50
	AV4	0,4	0,7	1	0,70	1,3	1,6	1,8	1,57	2,2	2,5	2,8	2,50	3,2	3,5	3,8	3,50
	AV5	0,3	0,6	0,8	0,57	1,2	1,5	1,7	1,47	2	2,3	2,6	2,30	3	3,3	3,6	3,30
	AV6	0,5	0,8	1,3	0,87	1,5	1,7	2	1,73	2,3	2,6	2,8	2,57	3,3	3,6	3,8	3,57
B	AV1	0,5	0,8	1,1	0,80	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	2,8	2,57	3,3	3,5	3,8	3,53
	AV2	0,6	0,8	1,2	0,87	1,5	1,8	2,2	1,83	2,5	2,8	3,1	2,80	3,4	3,6	3,8	3,60
	AV3	0,5	0,8	1,1	0,80	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	2,8	2,57	3,3	3,7	4	3,67
	AV4	0,4	0,7	1	0,70	1,3	1,5	1,8	1,53	2,4	2,7	3	2,70	3,2	3,5	3,8	3,50
	AV5	0,6	0,8	1,2	0,87	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	3	2,63	3,3	3,6	3,8	3,57
	AV6	0,4	0,8	1,3	0,83	1,6	1,8	2,2	1,87	2,4	2,7	3	2,70	3,2	3,4	3,6	3,40
C	AV1	0,3	0,5	0,8	0,53	1	1,3	1,5	1,27	1,8	2,1	2,5	2,13	2,8	3,2	3,5	3,17
	AV2	0,5	0,8	1,1	0,80	1,3	1,5	1,8	1,53	2,1	2,5	2,8	2,47	3,3	3,5	3,8	3,53
	AV3	0,5	0,8	1,2	0,83	1,5	1,8	2,2	1,83	2,5	2,7	3	2,73	3,3	3,6	4	3,63
	AV4	0,6	0,8	1,2	0,87	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	2,8	2,57	3,4	3,6	3,8	3,60
	AV5	0,4	0,7	1	0,70	1,3	1,6	1,8	1,57	2,3	2,7	3	2,67	3,2	3,5	3,8	3,50
	AV6	0,5	0,8	1,3	0,87	1,5	1,8	2,1	1,80	2,5	2,8	3,3	2,87	3,6	3,8	4,2	3,87
D	AV1	0,3	0,6	0,8	0,57	1,3	1,5	1,8	1,53	2,2	2,5	2,7	2,47	3	3,3	3,5	3,27
	AV2	0,5	0,8	1,2	0,83	1,5	1,8	2,1	1,80	2,4	2,6	2,8	2,60	3,1	3,4	3,6	3,37
	AV3	0,4	0,7	1	0,70	1,3	1,6	1,8	1,57	2,3	2,5	2,8	2,53	3,2	3,5	3,7	3,47
	AV4	0,6	0,8	1,1	0,83	1,4	1,7	2	1,70	2,4	2,6	2,8	2,60	3,3	3,5	3,7	3,50
	AV5	0,6	0,8	1,2	0,87	1,4	1,7	2	1,70	2,3	2,6	2,8	2,57	3,4	3,6	3,8	3,60
	AV6	0,5	0,8	1,3	0,87	1,6	1,8	2,1	1,83	2,4	2,7	3	2,70	3,3	3,5	3,8	3,53

E	AV1	0,4	0,7	1	0,70	1,3	1,5	1,8	1,53	2,2	2,5	2,8	2,50	3,2	3,5	3,8	3,50
	AV2	0,6	0,8	1,3	0,90	1,5	1,8	2,1	1,80	2,4	2,6	2,8	2,60	3,3	3,6	3,8	3,57
	AV3	0,4	0,6	0,8	0,60	1,3	1,5	1,8	1,53	2,3	2,5	2,7	2,50	3	3,4	3,8	3,40
	AV4	0,3	0,6	0,8	0,57	1,3	1,6	1,8	1,57	2,3	2,6	2,8	2,57	3,2	3,5	3,8	3,50
	AV5	0,5	0,8	1,2	0,83	1,5	1,7	2	1,73	2,5	2,7	3	2,73	3,3	3,6	3,8	3,57
	AV6	0,4	0,8	1,2	0,80	1,5	1,8	2,1	1,80	2,4	2,7	3	2,70	3,3	3,5	3,8	3,53

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022

Concentración	Repetición	Semana 5			Promedio	Semana 6			Promedio	Semana 7			Promedio	Semana 8			Promedio
		Día	Día	Día		Día	Día	Día		Día	Día	Día		Día			
		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
A	AV1	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,3	5,5	5,27	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,7	7	6,73
	AV2	4,2	4,5	4,8	4,50	5,1	5,4	5,6	5,37	5,8	6,1	6,3	6,07	6,5	6,7	7	6,73
	AV3	4,1	4,4	4,7	4,40	5	5,3	5,5	5,27	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,8	7	6,77
	AV4	4,1	4,3	4,6	4,33	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,3	6,00	6,6	6,8	7	6,80
	AV5	3,8	4,3	4,5	4,20	4,8	5,2	5,4	5,13	5,6	5,8	6	5,80	6,3	6,5	6,7	6,50
	AV6	4,2	4,5	4,8	4,50	5,1	5,4	5,6	5,37	5,8	6	6,3	6,03	6,5	6,7	7	6,73
B	AV1	4,2	4,5	4,7	4,47	5,1	5,4	5,6	5,37	5,8	6,1	6,3	6,07	6,5	6,7	7	6,73
	AV2	4,3	4,6	4,8	4,57	5,2	5,5	5,7	5,47	6	6,3	6,5	6,27	6,7	6,8	7	6,83
	AV3	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,3	5,5	5,27	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,8	7	6,77
	AV4	4,2	4,5	4,7	4,47	5,1	5,3	5,6	5,33	5,8	6	6,2	6,00	6,4	6,5	6,7	6,53
	AV5	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,4	5,6	5,33	5,8	6	6,3	6,03	6,5	6,7	7	6,73
	AV6	3,8	4,3	4,6	4,23	4,8	5,2	5,5	5,17	5,7	6	6,2	5,97	6,4	6,5	6,8	6,57
C	AV1	3,8	4,3	4,5	4,20	4,8	5	5,3	5,03	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,7	6,50
	AV2	4	4,3	4,5	4,27	4,8	5	5,3	5,03	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,7	6,50
	AV3	4,3	4,5	4,8	4,53	5,2	5,4	5,6	5,40	5,8	6	6,3	6,03	6,5	6,7	7	6,73
	AV4	4,1	4,3	4,5	4,30	4,8	5,1	5,3	5,07	5,5	5,7	6	5,73	6,3	6,5	6,7	6,50

	AV5	4,2	4,4	4,6	4,40	4,8	5,2	5,4	5,13	5,6	5,8	6,1	5,83	6,3	6,5	6,7	6,50
	AV6	4,4	4,6	4,8	4,60	5	5,3	5,5	5,27	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,7	7	6,73
D	AV1	3,8	4,2	4,5	4,17	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,7	7	6,73
	AV2	3,8	4,3	4,5	4,20	4,8	5,2	5,4	5,13	5,6	5,8	6,1	5,83	6,3	6,5	6,7	6,50
	AV3	4,1	4,4	4,6	4,37	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,2	5,97	6,5	6,7	7	6,73
	AV4	4	4,3	4,6	4,30	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,7	7	6,73
	AV5	4,3	4,5	4,8	4,53	5,1	5,3	5,5	5,30	5,7	6	6,2	5,97	6,4	6,5	6,8	6,57
	AV6	4,2	4,5	4,7	4,47	5	5,3	5,5	5,27	5,7	6,1	6,3	6,03	6,5	6,7	7	6,73
E	AV1	4,2	4,5	4,8	4,50	5,1	5,3	5,5	5,30	5,7	6	6,3	6,00	6,5	6,7	7	6,73
	AV2	4,2	4,4	4,6	4,40	4,8	5,3	5,5	5,20	5,7	6	6,2	5,97	6,4	6,5	6,7	6,53
	AV3	4,3	4,5	4,8	4,53	5,1	5,3	5,6	5,33	5,8	6	6,2	6,00	6,4	6,5	6,8	6,57
	AV4	4,2	4,5	4,8	4,50	5,2	5,4	5,6	5,40	5,8	6	6,3	6,03	6,5	6,7	7	6,73
	AV5	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,3	5,5	5,27	5,7	6	6,2	5,97	6,4	6,5	6,7	6,53
	AV6	4,2	4,4	4,7	4,43	5	5,3	5,6	5,30	5,8	6	6,3	6,03	6,5	6,7	6,8	6,67

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

ANEXO O: REGISTRO DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS. ESPECIE *BETA VULGARIS* VAR. *CICLA*.

Concentración	Repetición	Semana 1			Promedio	Semana 2			Promedio	Semana 3			Promedio	Semana 4			Promedio
		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3		Día 1	Día 2	Día 3	
A	AV1	1,5	2	2,1	1,87	2,7	3	3,2	2,97	3,8	4,1	4,5	4,13	4,8	5,1	5,4	5,10
	AV2	1	1,3	2	1,43	2,4	2,7	3	2,70	3,5	3,8	4,3	3,87	4,7	5,3	5,5	5,17
	AV3	1	1,2	1,5	1,23	1,9	2,2	2,5	2,20	2,8	3,2	3,6	3,20	3,9	4,3	4,5	4,23
	AV4	1,5	1,7	2	1,73	2,7	3,3	3,8	3,27	4,3	4,8	5	4,70	5,3	5,7	5,9	5,63
	AV5	1,3	1,5	2	1,60	2,4	2,8	3,4	2,87	3,8	4,2	4,6	4,20	5,1	5,4	5,7	5,40

	AV6	1	1,2	1,5	1,23	1,8	2,3	2,8	2,30	3,3	3,6	4	3,63	4,4	4,7	5,0	4,70
B	AV1	1	1,4	1,6	1,33	2	2,4	2,6	2,33	3	3,3	3,7	3,33	3,9	4,2	4,4	4,17
	AV2	1,2	1,5	2	1,57	2,3	2,5	2,7	2,50	3	3,2	3,5	3,23	3,7	3,9	4,1	3,90
	AV3	1	1,3	1,5	1,27	1,7	2,2	2,5	2,13	2,8	3,3	3,6	3,23	3,8	4,1	4,2	4,03
	AV4	1,5	1,7	2	1,73	2,2	2,4	2,6	2,40	2,9	3,2	3,5	3,20	3,7	3,9	4,1	3,90
	AV5	1,2	1,4	1,8	1,47	2	2,4	2,5	2,30	2,8	3,3	3,6	3,23	3,8	4,0	4,2	4,00
	AV6	1,1	1,5	1,8	1,47	2,1	2,3	2,4	2,27	2,7	3,0	3,3	3,00	3,5	3,6	3,8	3,63
C	AV1	1,3	1,6	1,7	1,53	2	2,2	2,4	2,20	2,6	2,8	3	2,80	3,2	3,5	3,6	3,43
	AV2	1	1,2	1,5	1,23	1,8	2	2,1	1,97	2,4	2,5	2,8	2,57	3	3,2	3,4	3,20
	AV3	1,1	1,5	1,7	1,43	2,1	2,4	2,6	2,37	2,8	3,1	3,2	3,03	3,3	3,5	3,7	3,50
	AV4	1,3	1,5	1,7	1,50	2	2,3	2,5	2,27	2,7	2,9	3,1	2,90	3,3	3,5	3,7	3,50
	AV5	1,2	1,5	1,6	1,43	1,9	2,3	2,6	2,27	2,9	3,2	3,5	3,20	3,7	3,9	4,0	3,87
	AV6	1	1,3	1,5	1,27	1,8	2,2	2,5	2,17	2,8	3,2	3,5	3,17	3,6	3,7	3,9	3,73
D	AV1	1,2	1,4	1,6	1,40	2	2,3	2,5	2,27	2,7	3	3,2	2,97	3,3	3,4	3,5	3,40
	AV2	1	1,5	1,7	1,40	1,9	2,2	2,4	2,17	2,6	2,9	3,2	2,90	3,3	3,3	3,4	3,33
	AV3	1	1,4	1,7	1,37	1,9	2,1	2,4	2,13	2,6	2,8	3,1	2,83	3,2	3,4	3,5	3,37
	AV4	1,2	1,5	1,7	1,47	2	2,2	2,5	2,23	2,8	3,1	3,1	3,00	3,2	3,3	3,5	3,33
	AV5	1	1,3	1,5	1,27	1,7	1,9	2,2	1,93	2,5	2,8	3,2	2,83	3,4	3,5	3,6	3,50
	AV6	1	1,3	1,6	1,30	1,8	2,1	2,3	2,07	2,5	2,7	3	2,73	3,2	3,3	3,4	3,30
E	AV1	1	1,3	1,4	1,23	1,5	2	2,2	1,90	2,5	2,7	2,9	2,70	3,1	3,3	3,5	3,30
	AV2	1,1	1,3	1,5	1,30	1,6	1,8	2	1,80	2,3	2,5	2,7	2,50	2,9	3,1	3,3	3,10
	AV3	1,3	1,4	1,5	1,40	1,7	1,9	2,1	1,90	2,4	2,6	2,9	2,63	3,1	3,3	3,4	3,27
	AV4	1	1,3	1,4	1,23	1,6	1,8	2,3	1,90	2,6	2,7	2,9	2,73	3,1	3,3	3,5	3,30
	AV5	1	1,2	1,4	1,20	1,5	1,8	2	1,77	2,3	2,5	2,8	2,53	3	3,2	3,4	3,20
	AV6	1,2	1,4	1,5	1,37	1,6	1,9	2,1	1,87	2,3	2,5	2,7	2,50	2,9	3,1	3,3	3,10

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

Concentració n	Repetició	Semana 5			Promedi o	Semana 6			Promedi o	Semana 7			Promedi o	Semana 8			Prome dio
		Día	Día	Día		Día	Día	Día		Día	Día	Día		Día	Día		
		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
A	AV1	5,6	5,7	5,9	5,73	6,2	6,4	6,7	6,43	7,0	7,5	8,0	7,50	8,4	8,7	9	8,70
	AV2	5,8	6,0	6,2	6,00	6,3	6,6	6,8	6,57	7,1	7,5	7,7	7,43	8,1	8,5	8,8	8,47
	AV3	4,7	4,9	6,2	5,27	6,4	6,6	6,8	6,60	7,3	7,5	8,0	7,60	8,5	8,8	9,2	8,83
	AV4	6,2	6,4	6,6	6,40	6,8	7,0	7,2	7,00	7,5	7,8	8,1	7,80	8,5	8,8	9	8,77
	AV5	5,9	6,2	6,4	6,17	6,5	6,7	6,9	6,70	7,4	7,7	8,1	7,73	8,4	8,7	9,2	8,77
	AV6	5,3	5,5	5,6	5,47	5,8	6,0	6,2	6,00	6,8	7,3	7,5	7,20	8	8,6	8,8	8,47
B	AV1	4,6	4,8	5,0	4,80	5,2	5,4	5,5	5,37	5,8	6,2	6,5	6,17	6,8	7,3	7,7	7,27
	AV2	4,3	4,5	4,6	4,47	4,7	4,9	6,1	5,23	6,5	6,8	7,2	6,83	7,5	7,8	8,1	7,80
	AV3	4,3	4,5	4,7	4,50	4,9	5,1	5,2	5,07	5,5	5,8	6,1	5,80	6,6	7,2	7,6	7,13
	AV4	4,2	4,4	4,6	4,40	4,8	5,0	5,2	5,00	5,4	5,7	6,0	5,70	6,5	6,8	7,3	6,87
	AV5	4,4	4,7	4,9	4,67	5,1	5,3	5,5	5,30	5,8	6,1	6,4	6,10	6,7	7,3	7,5	7,17
	AV6	4,0	4,2	4,4	4,20	4,6	4,7	4,9	4,73	5,3	5,7	6,0	5,67	6,4	6,8	7,4	6,87
C	AV1	3,8	4,0	4,3	4,03	4,5	4,7	4,9	4,70	5,4	5,6	5,9	5,63	6,4	6,8	7,3	6,83
	AV2	3,6	3,8	4,1	3,83	4,3	4,5	4,7	4,50	5,0	5,5	5,8	5,43	6,3	6,8	7,4	6,83
	AV3	3,9	4,2	4,3	4,13	4,5	4,6	4,8	4,63	5,0	5,7	6,0	5,57	6,6	7	7,4	7,00
	AV4	3,9	4,2	4,3	4,13	4,4	4,5	4,7	4,53	5,1	5,6	5,8	5,50	6,2	6,6	7,1	6,63
	AV5	4,2	4,3	4,5	4,33	4,7	4,8	5,0	4,83	5,3	5,7	6,1	5,70	6,5	6,8	7,3	6,87
	AV6	4,1	4,3	4,5	4,30	4,7	4,9	6,1	5,23	6,4	6,8	7,0	6,73	7,4	7,7	8	7,70
D	AV1	3,6	3,8	4,0	3,80	4,2	4,3	4,5	4,33	4,8	5,5	5,8	5,37	6,3	6,6	6,8	6,57
	AV2	3,5	3,7	3,9	3,70	4,2	4,4	4,8	4,47	5,2	5,5	5,8	5,50	6,2	6,5	6,7	6,47
	AV3	3,6	3,8	4,0	3,80	4,0	4,3	4,7	4,33	5,1	5,6	6,0	5,57	6,3	6,6	6,8	6,57
	AV4	3,6	3,7	3,9	3,73	4,0	4,2	4,3	4,17	4,7	5,3	5,6	5,20	5,8	6,4	6,8	6,33
	AV5	3,7	3,8	4,0	3,83	4,3	4,6	4,9	4,60	5,3	5,7	6,0	5,67	6,4	6,7	7	6,70
	AV6	3,5	3,7	3,8	3,67	4,3	4,7	5,0	4,67	5,4	5,8	6,1	5,77	6,4	6,7	7	6,70

E	AV1	3,6	3,7	3,9	3,73	4,3	4,5	4,9	4,57	5,3	5,6	5,8	5,57	6,3	6,6	6,8	6,57
	AV2	3,3	3,4	3,6	3,43	3,9	4,3	4,5	4,23	4,8	5,3	5,5	5,20	5,8	6,2	6,5	6,17
	AV3	3,6	3,8	4	3,80	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,4	5,6	5,33	5,8	6,1	6,4	6,10
	AV4	3,6	3,7	3,8	3,70	4,2	4,5	4,6	4,43	4,8	5,1	5,4	5,10	5,6	5,8	6	5,80
	AV5	3,5	3,7	3,9	3,70	4,3	4,5	4,7	4,50	5	5,3	5,6	5,30	5,7	6	6,4	6,03
	AV6	3,4	3,6	3,8	3,60	4,2	4,5	4,7	4,47	5,1	5,5	5,8	5,47	6,3	6,5	6,7	6,50

A = 0 ppm; B = 2 ppm; C = 4 ppm; D = 6 ppm; E = 8 ppm.

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

**ANEXO P: SEGUIMIENTO DE TEMPERATURA (°C) EN EL INTERIOR DEL
INVERNADERO**

Días Control	Mañana	Medio día	Tarde
1	18	26	15
2	22	25	16
3	30	38	17
4	29	24	19
5	28	32	20
6	30	23	14
7	21	31	17
8	19	22	16
9	25	32	22
10	28	20	15
11	16	39	19
12	20	37	19
13	23	35	16
14	21	29	14
15	17	30	12
16	24	32	20
17	23	36	21
18	21	35	14
19	25	35	19
20	19	33	12
21	24	34	18
22	22	28	15
23	21	26	22
24	20	24	16
25	18	38	18
26	16	40	19
27	25	41	18
28	22	39	20
29	20	33	17
30	25	37	22
31	21	29	20
32	23	33	19
33	22	26	21
34	19	28	16
35	24	27	22
36	18	31	15
37	23	34	20
38	17	33	14
39	25	41	22

40	21	37	18
41	17	31	15
42	26	35	19
43	20	30	18
44	24	29	21
45	26	36	20
46	20	33	19
47	23	30	20
48	21	39	22
49	25	26	21
50	22	28	13
51	21	32	19
52	19	24	15
53	26	29	20
54	25	31	22
55	21	25	18
56	21	35	19
57	18	29	17
58	22	32	19
59	23	38	18
60	22	32	20
Promedio	22,12	31,62	18,07

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

**ANEXO Q: SEGUIMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA (%) EN EL INTERIOR
DEL INVERNADERO**

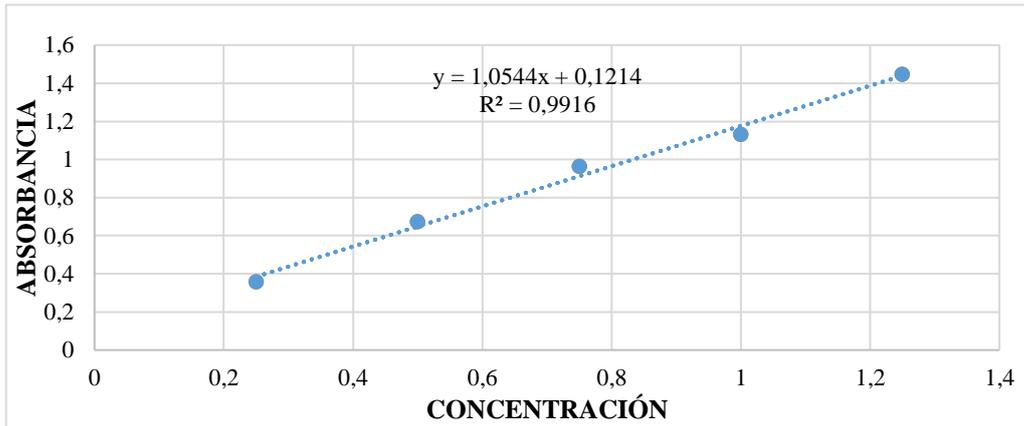
Días Control	Mañana	Medio día	Tarde
1	39	47	36
2	41	44	35
3	34	42	21
4	35	29	24
5	32	36	24
6	34	27	18
7	39	49	35
8	41	44	38
9	43	50	40
10	32	24	19
11	41	64	44
12	44	61	43
13	41	53	34
14	39	47	32

15	39	52	34
16	40	48	36
17	41	54,5	39
18	39	53	32
19	38	48	32
20	42	56	35
21	40	55	39
22	42	48	35
23	39	44	40
24	39	43	35
25	40	60	40
26	36	60	39
27	43	59	36
28	42	59	40
29	41	54	38
30	43	55	40
31	39	47	38
32	41	51	37
33	42	46	41
34	43	52	40
35	42	45	40
36	39	52	36
37	41	52	38
38	36	52	33
39	43	59	40
40	39	55	36
41	39	48	32
42	32	41	25
43	37	47	35
44	40	45	37
45	32	42	26
46	37	50	36
47	41	48	38
48	39	57	40
49	43	44	39
50	42	48	33
51	39	50	37
52	41	43	34
53	32	35	26
54	43	49	40
55	39	43	36

56	39	53	37
57	39	47	35
58	42	52	39
59	41	56	36
60	42	52	40

Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

ANEXO R: CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN



Realizado por: Núñez L., Silva D., 2022.

**ANEXO S: RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS DE CROMO HEXAVALENTE
MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VISIBLE EN EL
LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH**



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE CROMO HEXAVALENTE

Fecha: 12 de Agosto del 2022

Análisis solicitado por: Sres. Diego Silva y Leslie Núñez

Tipo de muestras: Planta y suelo

TRABAJO DE TITULACIÓN: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LA CAPACIDAD BIOACUMULADORA DE CROMO HEXAVALENTE EN *Lactuca sativa L.* (LECHUGA) y *Beta vulgaris var. cicla* (ACELGA) EN ETAPA TEMPRANA DE CRECIMIENTO

Muestra 1: Planta

Muestra 2: Suelo

Especie: <i>Beta vulgaris var. cicla</i> (ACELGA)			
CONCENTRACIONES	REPETICIONES	Planta (mg/L Cr⁺⁶)	Suelo (mg/L Cr⁺⁶)
2 ppm	R1	0,024	0,011
	R2	0,02	0,023
	R3	0,022	0,012
	R4	0,014	0,009
	R5	0,032	0,025
	R6	0,029	0,02
4 ppm	R1	0,009	0,015
	R2	0,009	0,009
	R3	0,014	0,008
	R4	0,04	0,036
	R5	0,024	0,043
	R6	0,043	0,021
6 ppm	R1	0,075	0,048
	R2	0,055	0,043
	R3	0,067	0,035
	R4	0,063	0,019
	R5	0,053	0,017
	R6	0,012	0,037
8 ppm	R1	0,053	0,077

	R2	0,077	0,061
	R3	0,039	0,04
	R4	0,062	0,067
	R5	0,061	0,053
	R6	0,078	0,036

Especie: <i>Lactuca sativa</i> L. (LECHUGA)			
CONCENTRACIONES	REPETICIONES	Planta (mg/L Cr⁺⁶)	Suelo (mg/L Cr⁺⁶)
2 ppm	R1	0,031	0,038
	R2	0,033	0,05
	R3	0,04	0,028
	R4	0,03	0,043
	R5	0,025	0,036
	R6	0,037	0,024
4 ppm	R1	0,077	0,049
	R2	0,078	0,029
	R3	0,06	0,034
	R4	0,049	0,049
	R5	0,04	0,038
	R6	0,066	0,043
6 ppm	R1	0,103	0,052
	R2	0,075	0,111
	R3	0,063	0,065
	R4	0,128	0,077
	R5	0,113	0,07
	R6	0,065	0,062
8 ppm	R1	0,137	0,069
	R2	0,104	0,13
	R3	0,078	0,104
	R4	0,129	0,125
	R5	0,048	0,115
	R6	0,069	0,077

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Gina Álvarez R.', written over a horizontal line.

Dra. Gina Álvarez R.

TÉCNICO DOCENTE RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 12 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Leslie Micaela Núñez Sánchez Diego Armando Silva Merchán
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACIÓN
Ing. Jonathan Paredo Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

2201-DBRA-UTP-2022