



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE *Eichhornia crassipes*
(Buchón de agua) y *Elodea canadensis* (Peste de agua) PARA LA
REMOCIÓN DE COBRE (II) EN AGUAS CONTAMINADAS.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: EVELYN MISHHELL HERRERA REINOSO

DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA PhD.

RIOBAMBA – ECUADOR

2023

© 2002, Evelyn Mishell Herrera Reinoso

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 de Autor.

Yo, Evelyn Mishell Herrera Reinoso, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo 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, 19 de abril de 2023






Evelyn Mishell Herrera Reinoso

060436935-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua) y *Elodea canadensis* (Peste de agua) PARA LA REMOCIÓN DE COBRE (II) EN AGUAS CONTAMINADAS**, realizado por la señorita: **EVELYN MISHELL HERRERA REINOSO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Mayra Jannet Espinoza Melendres MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-04-19
Ing. Juan Carlos González García PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-19
Ing. Edison Geovanny Orozco Valencia Mgs. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-19

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios por haberme dado la vida y la oportunidad de forjar mi camino con sabiduría y guiarme en el día a día, para que de esta manera pueda alcanzar una de mis metas con total éxito, a pesar de las adversidades que se me han presentado durante este largo caminar.

A mi verdadero amor, mi padre, que ha sido mi fiel compañero, mi motor de arranque, aquel hombre que me enseñó a jamás darme por vencida, quien, con su amor incondicional, su confianza puesta en mí, y el honor de decirle papito lo estamos logrando, si se pudo.

A mi bella mujer, mi madre, mi súper amiga, mi fiel confidente, que con sus consejos me han convertido en una mujer recta y sobre todo me ha enseñado el verdadero valor de ser una gran ser humano y tener el maravilloso honor de poderle decir mamita lo estamos logrando, si se pudo.

A mi hermana Carolina, que ha estado siempre conmigo en las buenas y en las malas y tener el orgullo de ser un ejemplo de que a pesar de las circunstancias que se presente en la vida jamás darse por vencida.

Mishell

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la perseverancia y las bendiciones para que cada día pueda ser mejor ser humano y crecer profesionalmente.

A mis padres que, con su sacrificio y presencia, se pudo hacer posible el desarrollo de esta investigación y el anhelo de poder ser profesional.

Agradezco a mi amor incondicional Andersson por darme ese apoyo incondicional desde que inicio mi etapa universitaria.

A mis tíos queridos Marcelo y Narcisa, que me extendieron la mano cuando yo más los necesite, y a mi prima Karina que ha sido mi mejor amiga y apoyo incondicional.

A mi Max que ha sido mi fiel compañero de malas noches.

Al Ing. Juan Carlos Gonzáles por ser un extraordinario asesor y por guiar esta investigación aportando ideas esenciales y formar parte de este gran logro.

Mishell

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. <i>Metales Pesados</i>	6
2.2.2. <i>Cobre</i>	7
2.2.2.1. <i>Generalidades</i>	7
2.2.2.2. <i>Características</i>	8
2.2.2.3. <i>Propiedades físicas</i>	8
2.2.2.4. <i>Propiedades biológicas</i>	9
2.2.2.5. <i>El cobre en industrias mineras</i>	9
2.2.2.6. <i>El cobre en el ambiente y sus efectos</i>	11
2.2.3. <i>Absorción y transporte del cobre en las plantas</i>	12
2.2.3.1. <i>Fitotoxicidad</i>	13
2.2.3.2. <i>Resistencia</i>	13
2.2.3.1. <i>Factor de Bioconcentración (BCF)</i>	14
2.2.4. <i>Fitorremediación</i>	14
2.2.4.1. <i>Técnicas de fitorremediación</i>	15

2.2.4.2.	<i>Tipos de plantas acuáticas</i>	16
2.2.5.	<i>Características de Eichhornia crassipes (Buchón de agua)</i>	17
2.2.5.1.	<i>Taxonomía de Eichhornia crassipes</i>	17
2.2.5.2.	<i>Características externas de Eichhornia crassipes</i>	18
2.2.5.3.	<i>Ecología de Eichhornia crassipes</i>	18
2.2.5.4.	<i>Composición química de Eichhornia crassipes</i>	18
2.2.6.	<i>Características de la Elodea Canadensis</i>	19
2.2.6.1.	<i>Taxonomía de la Elodea Canadensis</i>	19
2.2.6.2.	<i>Ecología de la Elodea canadensis</i>	20
2.2.7.	<i>Bases Conceptuales</i>	20
2.2.7.1.	<i>Factor de Bioconcentración (BCF)</i>	20
2.2.7.2.	<i>Factor de translocación (FT)</i>	20
2.2.8.	<i>Normativa legal</i>	20
2.2.8.1.	<i>Constitución Política de la República del Ecuador</i>	20
2.2.8.2.	<i>Código Orgánico del Ambiente</i>	21
2.2.8.3.	<i>Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente</i> .21	

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1.	Diseño de la investigación	22
3.2.	Tipo de estudio	22
3.3.	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	23
3.3.1.	<i>Unidad de análisis</i>	23
3.3.2.	<i>Población de estudio</i>	23
3.3.3.	<i>Planificación del periodo experimental</i>	23
3.3.4.	<i>Selección de la muestra</i>	23
3.3.5.	<i>Tamaño de la muestra</i>	23
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	24
3.4.1.	<i>Lugar de desarrollo de la investigación</i>	24
3.4.2.	<i>Especie vegetal sujeta a investigación</i>	25
3.4.3.	<i>Diseño y construcción del invernadero</i>	25
3.4.3.1.	<i>Invernadero</i>	25
3.4.3.2.	<i>Sistema de cultivo de Eichhornia crassipes y Elodea canadensis</i>	27
3.4.4.	<i>Preparación de los medios físicos</i>	27
3.4.5.	<i>Siembra y adaptación de Eichhornia crassipes y Elodea canadensis</i>	28
3.4.6.	<i>Preparación del medio líquido</i>	28
3.4.7.	<i>Solución nutritiva</i>	29

3.4.8.	<i>Aireación</i>	30
3.4.9.	<i>Cambios aparentes en las especies Eichhornia crassipes y Elodea canadensis</i>	31
3.4.10.	<i>VARIABLES DE CONTROL</i>	32
3.4.11.	<i>Seguimiento de las unidades experimentales</i>	33
3.4.12.	<i>Cuantificación de Cu (II)</i>	35
3.2.12.1.	<i>Plan de muestreo del tejido vegetal de las especies Eichhornia crassipes y Elodea canadensis</i>	36
3.4.13.	<i>Determinación de la eficiencia de Eichhornia crassipes y Elodea canadensis para la remoción de Cu (II)</i>	38
3.4.13.1.	<i>Cálculo para de determinación de absorción de cobre (II) en el medio</i>	38
3.4.13.2.	<i>Calculo para la determinación del porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua para los tres tratamientos A, B y C de Elodea canadensis y Echhornia crassipes...</i>	38
3.4.14.	<i>Relación de concentración del Cu (II) en la planta</i>	39
3.4.14.1.	<i>Factor de Translocación (FT)</i>	39
3.4.14.2.	<i>Factor de bioacumulación (FBA)</i>	39
3.4.14.3.	<i>Clasificación de la planta en relación al factor de translocación y bioacumulación</i> ..	39

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1.	Resultados	41
4.1.1.	<i>Seguimiento de los cambios aparentes en Eichhornia crassipes y Elodea canadensis</i>	41
4.1.2.	<i>VARIABLES DE CONTROL</i>	50
4.1.2.1.	<i>Monitoreo de la temperatura y la humedad relativa al interior del invernadero</i>	50
4.1.3.	<i>Seguimiento a las unidades experimentales</i>	54
4.1.3.1.	<i>Caracterización del agua</i>	54
4.1.4.	<i>Cuantificación de cobre (II)</i>	58
4.1.4.1.	<i>Caracterización de cobre (II) en las muestras de agua y en el tejido vegetal de Elodea canadensis y Eichhornia crassipes</i>	58
4.1.4.2.	<i>Análisis de varianza (ANOVA) a las concentraciones de cobre (II) en agua de las unidades experimentales de Elodea canadensis y Echhornia crassipes</i>	63
4.1.4.3.	<i>Determinación de la eficiencia de Elodea canadensis y Eichhornia crassipes cultivada en piscinas para fitorremediar cobre (II)</i>	65
4.1.4.4.	<i>Comparación del porcentaje de absorción de cobre (II) en agua entre la Elodea canadensis y Eichhornia crassipes cultivada en piscinas.</i>	67
4.1.4.5.	<i>Porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua para los tres tratamientos A, B y C de Elodea canadensis y Echhornia crassipes.</i>	68

4.1.4.6.	<i>Comparación del porcentaje de remoción de cobre (II) en agua entre la Elodea canadensis y Eichhornia crassipes cultivada en piscinas.</i>	69
4.1.5.	Relaciones de las concentraciones de cobre (II) en Elodea canadensis y Eichhornia crassipes.	70
4.1.5.1.	<i>Análisis de varianza ANOVA a las concentraciones de cobre (II) en la parte radicular y aérea de Elodea canadensis y Eichhornia crassipes.....</i>	70
4.1.5.2.	<i>Comparación de la concentración de cobre (II) en el tejido vegetal entre Elodea canadensis y Eichhornia crassipes en los tratamientos A, B y C.</i>	73
4.1.5.3.	<i>Factor de translocación de Elodea canadensis y Eichhornia Crassipes</i>	74
4.1.5.4.	<i>Factor de bioacumulación de Elodea canadensis y Eichhornia Crassipes</i>	75
4.1.6.	<i>Dosis letal 50 (DL50) de las especies de Elodea canadensis y Eichhornia crassipes bajo la presencia de concentraciones de Cu (II).</i>	76
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES	
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Materiales para el procedimiento de partida y residuos contaminantes generados en la fundición y afino del cobre	10
Tabla 2-2:	Taxonomía de la <i>Eichhornia crassipes</i>	17
Tabla 3-2:	Taxonomía de la <i>Elodea canadensis</i>	19
Tabla 1-3:	Composición de neo solution 1	30
Tabla 2-3:	Características del aire Pump SC-7500	30
Tabla 3-3:	Monitoreo de cambios aparentes de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Elodea canadensis</i>	31
Tabla 4-3:	Monitoreo de raíces y longitud de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Elodea canadensis</i> ...	32
Tabla 5-3:	Monitoreo de la humedad relativa y temperatura	33
Tabla 6-3:	Códigos de cada una de las unidades experimentales	34
Tabla 7-3:	Monitoreo de agua de las unidades experimentales	35
Tabla 1-4:	Pre necrosis de <i>Elodea canadensis</i>	42
Tabla 2-4:	Pre- necrosis de <i>Eichhornia crassipes</i>	42
Tabla 3-4:	Necrosis de <i>Elodea canadensis</i>	44
Tabla 4-4:	Necrosis de <i>Eichhornia crassipes</i>	44
Tabla 5-4:	Vigrosidad de <i>Elodea canadensis</i>	46
Tabla 6-4:	Vigrosidad de <i>Eichhornia crassipes</i>	47
Tabla 7-4:	Longitud ganada de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Elodea canadensis</i>	48
Tabla 8-4:	Promedio de nuevos brotes de las raíces en <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Elodea canadensis</i>	49
Tabla 9-4:	Monitoreo de temperatura al interior del invernadero	50
Tabla 10-4:	Control de la humedad relativa en el interior del invernadero	52
Tabla 11-4:	Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua de fuente de san luis sin presencia de cobre (II)	54
Tabla 12-4:	Caracterización fisicoquímico inicial del agua con presencia de cobre (II) en <i>Elodea canadensis</i>	55
Tabla 13-4:	Caracterización fisicoquímico media del agua con presencia de cobre (II) en <i>Elodea canadensis</i>	55
Tabla 14-4:	Caracterización fisicoquímico final del agua con presencia de cobre (II) en <i>Elodea canadensis</i>	56
Tabla 15-4:	Caracterización fisicoquímico inicial del agua con presencia de cobre (II) en <i>Eichhornia crassipes</i>	57
Tabla 16-4:	Caracterización fisicoquímico media del agua con presencia de cobre (II) en <i>Eichhornia crassipes</i>	57

Tabla 17-4:	Caracterización fisicoquímico final del agua con presencia de cobre (II) en <i>Eichhornia crassipes</i>	58
Tabla 18-4:	Concentraciones de cobre (II) en agua de los tratamientos a, b y c de <i>Elodea canadensis</i>	59
Tabla 19-4:	Promedios de las concentraciones de cobre (II) en agua de los tratamientos a, b y c de <i>Elodea canadensis</i>	59
Tabla 20-4:	Poncentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de <i>Elodea canadensis</i>	60
Tabla 21-4:	Promedios de concentraciones de Cobre (II) en el tejido vegetal de <i>Elodea canadensis</i>	60
Tabla 22-4:	Concentraciones de cobre (II) en agua de las unidades experimentales de <i>Eichhornia crassipes</i>	61
Tabla 23-4:	Promedios de las concentraciones de cobre (II) en agua de las unidades experimentales de <i>Eichhornia crassipes</i>	61
Tabla 24-4:	Concentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de <i>Eichhornia crassipes</i>	62
Tabla 25-4:	Promedios de las concentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de <i>Eichhornia crassipes</i>	62
Tabla 26-4:	ANOVA a los tres tratamientos de cobre (II) en agua con <i>Elodea canadensis</i>	63
Tabla 27-4:	ANOVA a los tres tratamientos de cobre (II) en agua con <i>Eichhornia crassipes</i>	64
Tabla 28-4:	Porcentaje de absorción de las concentraciones de Cu (II) en agua por medio de <i>Elodea canadensis</i>	65
Tabla 29-4:	Porcentaje de absorción de las concentraciones de Cu (II) en agua por medio de <i>Eichhornia crassipes</i>	66
Tabla 30-4:	Porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua en los tres tratamientos a, b y c de <i>Elodea canadensis</i>	68
Tabla 31-4:	Porcentaje de remoción de cobre (ii) en el agua en los tres tratamientos a, b y c de <i>Eichhornia crassipes</i>	69
Tabla 32-4:	Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (ii) en la parte aérea de <i>Elodea canadensis</i>	70
Tabla 33-4:	Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (ii) en la parte radicular de <i>Elodea canadensis</i>	70
Tabla 34-4:	Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (ii) en la parte aérea de <i>Eichhornia crassipes</i>	71
Tabla 35-4:	Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (ii) en la parte radicular de <i>Eichhornia crassipes</i>	71
Tabla 36-4:	Factor de translocación de <i>Elodea canadensis</i>	74
Tabla 37-4:	Factor de translocación de <i>Eichhornia crassipes</i>	74
Tabla 38-4:	Factor de bioacumulación en la parte aérea y radicular de <i>Elodea canadensis</i>	75

Tabla 39-4: Factor de bioacumulación en la parte aérea y radicular de <i>Eichhornia crassipes</i> ...	76
Tabla 40-4: Dosis letal media (DL50) <i>Elodea canadensis</i>	76
Tabla 41-4: Dosis letal media (DL50) <i>Eichhornia crassipes</i>	78

ÍNDICE DE ILUSTACIONES

Ilustración 1-2:	Mineras de cobre.....	9
Ilustración 2-2:	Ciclo del cobre	11
Ilustración 3-2:	Transporte intercelular del cu en la planta.....	12
Ilustración 4-2:	Proceso involucrados en la fitorremediación	15
Ilustración 5-2:	<i>Eichhornia crassipes</i>	17
Ilustración 6-2:	Estado adulto de <i>Eichhornia crassipes</i>	18
Ilustración 7-2:	<i>Elodea canadensis</i>	19
Ilustración 1-3:	Ubicación del invernadero	21
Ilustración 2-3:	Diseño del invernadero.....	25
Ilustración 3-3:	Adaptación de <i>Eichhornia crassipes</i> Y <i>Elodea canadensis</i>	28
Ilustración 1-4:	Presencia de pre necrosis en <i>Elodea canadensis</i>	43
Ilustración 2-4:	Presencia de pre necrosis en <i>Eichhornia crassipes</i>	43
Ilustración 3-4:	Presencia de necrosis en <i>Elodea canadensis</i>	45
Ilustración 4-4:	Presencia de necrosis en <i>Eichhornia crassipes</i>	45
Ilustración 5-4:	Vigrosidad en <i>Elodea canadensis</i>	46
Ilustración 6-4:	Vigrosidad en <i>Eichhornia crassipes</i>	47
Ilustración 7-4:	Temperatura al interior del invernadero	51
Ilustración 8-4:	Humedad relativa al interior del invernadero	53
Ilustración 9-4:	Concentraciones de cobre (II) en agua de <i>Elodea canadensis</i>	63
Ilustración 10-4:	Concentraciones de cobre (II) en agua <i>Echhornia crassipes</i>	64
Ilustración 11-4:	Porcentaje total absorbido de Cu (II) en agua de <i>Elodea canadensis</i>	66
Ilustración 12-4:	Porcentaje total absorbido de Cu (II) en agua de <i>Echhornia crassipes</i>	67
Ilustración 13-4:	Comparación del porcentaje total absorbido de Cu (II) en agua a través de <i>Elodea canadensis</i> Y <i>Echhornia crassipes</i>	67
Ilustración 14-4:	Comparación del porcentaje remoción de Cu (II) en agua a través de <i>Elodea</i> <i>canadensis</i> Y <i>Echhornia crassipes</i> en los tratamientos A, B Y C	69
Ilustración 15-4:	Concentración de Cu (II) en la parte aérea y radicular de la especie macrófita <i>Elodea canadensis</i>	72
Ilustración 16-4:	Concentración de Cu (II) en la parte aérea y radicular de la especie macrófita <i>Echhornia crassipes</i>	72
Ilustración 17-4:	Comparación de la concentración de Cu (II) en el tejido vegetal entre <i>Elodea</i> <i>canadensis</i> Y <i>Eichhornia crassipes</i>	73

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO TIPO TÚNEL
- ANEXO B:** MALLA NEGRA DE POLIETILENO
- ANEXO C:** LIMPIEZA, SIEMBRA, AIREACIÓN Y ADAPTACIÓN DE *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS*
- ANEXO D:** PREPARACIÓN E INCORPORACIÓN DEL METAL PESADO
- ANEXO E:** OBSERVACIÓN DE NECROSIS EN *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS*
- ANEXO F:** TOMA Y OBSERVACIÓN DE NUEVOS BROTES DE RAÍCES DE *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS*
- ANEXO G:** CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA
- ANEXO H:** ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA A NIVEL DE LABORATORIO DE *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS*
- ANEXO I:** MUESTREO Y ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA CON PRESENCIA DE CU (II) EN LAS MUESTRAS DE AGUA DE *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS*
- ANEXO J:** MUESTREO DE LA BIOMASA VEGETAL DE *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS*
- ANEXO K:** ANÁLISIS DE CU (II) EN LA BIOMASA VEGETAL DE *ECHHORNIA CRASSIPES* Y *ELODEA CANADENSIS* A ESCALA DE LABORATORIO
- ANEXO L:** RESULTADOS INICIALES DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DE LA FUENTE DE SAN LUIS EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH
- ANEXO M:** RESULTADOS INICIALES DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA CON PRESENCIA DE COBRE (II) EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LAS ESPOCH
- ANEXO N:** RESULTADOS INTERMEDIOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA CON PRESENCIA DE COBRE (II) EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH
- ANEXO Ñ:** RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA CON PRESENCIA DE CUBRE (II) EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH

**ANEXO O: RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL TEJIDO VEGETAL DE
ECHHORNIA CRASSIPES Y *ELODEA CANADENSIS* EN EL LABORATORIO
DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH**

RESUMEN

Se evaluó la capacidad de *Eichhornia crassipes* (buchón de agua) y *Elodea canadensis* (peste de agua) para la remoción de cobre (II) en aguas contaminadas, utilizando soluciones preparadas con agua procedente de una fuente natural y sulfato de cobre (II) pentahidratado a concentraciones de 10 ppm, 20 ppm y 30 ppm en tres tratamientos A, B y C en un diseño completamente al azar. En primera instancia para el desarrollo experimental del estudio se construyó un invernadero de 25 m² tipo túnel, en la que se incorporó 20 recipientes para la siembra, adaptación y crecimiento de las especies acuáticas para posteriormente ensayar la evaluación de la capacidad de remoción del metal a través de un proceso de fitorremediación por las especies macrófitas bajo una cubierta de malla negra de polietileno que permitió controlar la temperatura, humedad relativa y radiación solar, cada uno de los recipientes contó con aireación permanente y la adición de 1 ml de solución nutritiva de NEO SOLUTION 1 cada 72 horas durante 60 días. El proceso más eficiente de remoción de cobre (II) en agua, fue con *Eichhornia crassipes* que presentó una remoción mayor del metal en los tres tratamientos A, B y C con valores de 19%; 18,7%; 8,53% en comparación de la *Elodea canadensis* con porcentajes de remoción de 18,7%; 8,05%; 4,57% para cada tratamiento. La *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* presentaron valores superiores al 1 en el FT, evidenciando que las dos especies transportan efectivamente el Cu (II) desde la parte radicular a la parte aérea y son excluyentes de Cu (II) por motivo que su factor de bioacumulación es inferior a 1. Por lo que se concluye que estas dos especies de plantas acuáticas son idóneas para procesos de fitoextracción con eficiencia a bajas concentraciones.

Palabras clave: <BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)>, <PESTE DE AGUA (*Elodea canadensis*)>, <COBRE (II)>, <FITORREMEDIACIÓN>, <FITOEXTRACCIÓN>, <FACTOR DE TRANSLOCACIÓN>, <FACTOR DE BIOACUMULACIÓN>.

0770-DBRA-UTP-2023



ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the capacity of *Eichhornia crassipes* (water bug) and *Elodea canadensis* (water pest) for the removal of copper (II) in contaminated water, using solutions prepared with water from a natural source and copper sulfate. Copper (II) pentahydrate at concentrations of 10 ppm, 20 ppm and 30 ppm in three treatments, A, B and C, in a completely randomized design. For the experimental development of the study, a 25 m tunnel-type greenhouse was built, in which 20 containers were incorporated for the sowing, adaptation and growth of aquatic species to later test the evaluation of the metal removal capacity through a phytoremediation process by macrophyte species under a black polyethylene mesh cover that allowed controlling the temperature, relative humidity and solar radiation, each of the containers had permanent aeration and the addition of 1 ml of NEO SOLUTION 1 nutrient solution every 72 hours for 60 days. The most efficient copper (II) removal process in water was with *Eichhornia crassipes*, which presented a higher metal removal in the three treatments, A, B and C, with values of 19%, 18.7%, 8.53% compared to *Elodea canadensis* with removal percentages of 18.7%; 8.05%; 4.57% for each treatment. *Eichhornia crassipes* and *Elodea canadensis* presented values higher than 1 in the TF, evidencing that the two species effectively transport Cu (II) from the root part to the aerial part and exclude Cu (II) for the reason that their bioaccumulation factor is less than 1. Therefore, it is concluded that these two species of aquatic plants are suitable for efficient phytoextraction processes at low concentrations.

Keywords: <WATER PEST (*Eichhornia crassipes*)>,<WATER PEST (*Elodea canadensis*)>,<COPPER (II)>,<PHYTOREMEDIATION>,<PHYTOEXTRACTION>,<TRANSLOCATION FACTOR>,<BIOACCUMULATION FACTOR>.



Ing. Paul Obregon.
Mgs0601927122

INTRODUCCIÓN

A escala global la contaminación ambiental es uno de los principales problemas en la degradación de los ecosistemas a causa de la eliminación de metales pesados a los recursos hídricos por consecuencia de las actividades mineras relacionadas a la extracción de cobre a cielo abierto. Por tal razón el cobre (II) cuando entra en contacto con el agua ocasiona alteraciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas ocasionando un gran impacto negativo para la vida acuática, ya que es una sustancia altamente tóxica para estos organismos.

El cobre es uno de los elementos más utilizados en industrias químicas, metalúrgicas, eléctricas, automotrices, entre otras, destacando así, las actividades mineras que se desarrolla en el Ecuador. Para la extracción del mineral de cobre, se marcan y se trituran hasta obtener una consistencia de polvo fino, que durante el proceso de concentración, los lodos se mezclan con el agua mineral, se añade reactivos químicos y se suministra aire, por lo que las burbujas de aire se incrustan en los minerales de cobre, los mismos que se extraen por el proceso de despumado de las células de flotación, en la que el concentrado contiene entre el 20-30% de cobre, y los desechos generados durante el proceso de extracción son inyectados a los cuerpos hídricos sin un previo tratamiento adecuado (McCann, 2012, pp. 4).

Cuando existe presencia de cobre en el agua, las plantas tienden a absorber el metal por medio de las raíces, acumulando en el tallo o en las hojas, siendo esta, una propiedad característica de ciertas plantas acumuladoras e hiperacumuladoras, causando la inhibición del crecimiento y la tonalidad amarillenta de las hojas ante la presencia del contaminante.

La rizofiltración es una técnica de crecimiento de plantas en medios de cultivos hidropónicos, en la que las raíces tienen el papel fundamental de absorber, acumular, concentrar y precipitar los metales pesados provenientes de aguas residuales de mineras (Núñez, 2004 , pp. 2). Siendo esta, una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales con presencia de metales pesados, solucionando problemas de contaminación.

La *Eichhornia crassipes* es originaria del Suramérica de clima subtropical, conocida como una especie invasora que afecta de forma significativa al equilibrio de los sistemas acuáticos, siendo su principal alimento los nutrientes provenientes de efluentes industriales, deforestación y tratamientos de aguas (Carreño, 2020, pp. 5). La *Elodea canadensis* es una especie invasora que genera una problemática por su rápida proliferación, esta especie acuática sumergida arbustiva, en la que su tallo se ramifica de 20 y 30 cm de largo, sus hojas son de color verde oscuro en forma dentada de 1 cm de largo y de 2 a 3 mm de ancho, cuyas características son cerosas y rígidas (CABI, 2005, pp. 5). Las especies macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* son consideradas como bioacumuladoras de metales pesados, en la que se caracterizan en absorber el contaminante por la raíz y acumular en el tallo y hojas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad la contaminación ambiental por metales pesados generada por las minerías, es uno de los problemas que afecta directamente al medio ambiente, acarreando consecuencias muy significativas. En el Ecuador la mayor concentración de minerales se halla en las estribaciones de los Andes, los mismos que albergan ecosistemas frágiles como los páramos, bosques nublados y montanos, de tal manera que las empresas mineras intervienen en estas áreas para la extracción de los minerales sin tomar las medidas necesarias para no generar grandes impactos ambientales en la que perjudique la calidad de los recursos naturales y la salud de los seres vivos.

Para la extracción de cobre de sus yacimientos utilizan grandes cantidades de explosivos de amonio y diésel para remover el subsuelo y así extraer el material, el mismo que es mezclado en piscinas de relaves con químicos con la finalidad de separar el cobre del mineral, para esta remoción utilizan grandes volúmenes de agua por día, aproximadamente 12 millones de litros de agua por día para extraer un equivalente a 200 toneladas (Zorilla, 2013, pp. 5). De esta forma dicha actividad produce descargas residuales directamente a los cuerpos de agua cercanos sin un tratamiento adecuado y sin tomar en consideración sus altas concentraciones de Cu, Cr, As, Pb, Hg y Sb, generando alteraciones en los cuerpos de agua y envenenando todo a su paso. El cobre es considerado como un metal pesado que se genera a partir de las actividades industriales como es el caso de la minería, el cual producen altas concentraciones de cobre en el medio y una vez que entra en contacto con la naturaleza tiende a acumularse en las plantas y en los animales, en el agua el cobre se encuentra suspendido sobre las partículas de lodos como iones (Barreto & Paredes, 2016, pp. 2).

Es por ello que la calidad de agua disminuye, convirtiéndose en un gran problema para las zonas aledañas a las industrias mineras de cobre, generando focos de infección, problemas a la salud y degradación de los ecosistemas, ya que los ríos tienen la capacidad de desplazar el contaminante a cientos de kilómetros volviéndose difícil de controlar.

1.2 Formulación del problema

¿Las especies macrófitas *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua) y *Elodea canadensis* (Peste de agua) son capaces de remover Cobre (II) en agua contaminada?

1.3 Justificación del problema

La legislación ecuatoriana y su máximo organismo de control ambiental, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica a través de la ley minera exhortan a que las compañías mineras a cumplir con parámetros ambientales para garantizar el cuidado y protección ambiental.

Por ende, es importante implementar medidas de remediación las cuales ayuden a reducir o eliminar la presencia de contaminantes en el agua, generando alternativas factibles para el tratamiento de las aguas residuales, se plantea el uso de plantas disponibles en nuestros ecosistemas para determinar su capacidad de fitoextracción de metales pesados en efluentes contaminados, una de las ventajas de utilizar esta tecnología es el bajo costo que representa ya que se requiere un mínimo mantenimiento.

Se plantea evaluar la capacidad de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* para remover cobre (II) en aguas contaminadas, consideradas como bioacumuladoras de metales pesados, en la que se caracterizan en absorber el contaminante por la raíz y acumular en el tallo y hojas, implementadas por ciertas industrias con éxito, por la necesidad de cumplir con los parámetros ambientales que rigen en cada país y controlar las descargas de contaminantes en la que se pongan en riesgo los recursos naturales. Esta investigación es significativa por lo que resulta fructífera para el entorno natural y la sostenibilidad de generaciones futuras. Peste de agua (*Elodea canadensis*) es una planta acuática que se caracteriza por ser capaz de remediar un contaminante por medio de la adsorción y absorción de metales pesados. Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) es una especie de macrófita que tiene la capacidad de propagarse con facilidad y depurar las aguas contaminadas con metales pesados, a través de la absorción, asimilación y transformación del contaminante.

La presente investigación se tomó en consideración realizar, por lo que no existen investigaciones realizadas con la utilización de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* para la remoción de cobre, de tal manera se pretende identificar la eficiencia en el proceso de fitorremediación de cada una de estas dos especies.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* para la remoción de cobre (II) en aguas contaminadas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Cultivar y adaptar *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* en unidades experimentales.
- Medir la capacidad de remoción de cobre (II) que presenta *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*, a través de la medición de la concentración del metal empleando por espectrofotometría.
- Conocer el factor de translocación (TF) en *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* para la determinación de cobre (II) en las plantas.
- Determinar la bioacumulación de cobre (II) en los tejidos vegetales de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Con el transcurso de los últimos años y el incremento de las actividades industriales ha hecho que se registren altos niveles de concentración de cobre en efluentes provenientes de industrias mineras sin ningún control y tratamiento adecuado para sus posteriores descargas, es por ello que se toma como medida la rizofiltración que es una alternativa donde actúan las raíces de las plantas acuáticas para descontaminar los efluentes con presencia de metales pesados.

La rizofiltración es considerada como una técnica en la que consiste utilizar plantas acuáticas en medios de cultivos hidropónicos, es decir, que las raíces de las plantas se encuentran sumergidas en el agua, con la finalidad de eliminar los contaminantes del medio a través de sus raíces, mismas que tienen que estar bien desarrolladas para que absorban y acumulen los contaminantes (Delgadillo et al., 2011 pp. 5).

De acuerdo con (Acosta, 2016, pp. 2), menciona que algunas plantas poseen la característica de contener cantidades considerables de elementos químicos, especialmente de metales que juegan un rol fundamental de defensa, que son las denominadas plantas hiperacumuladoras, las mismas que acumulan en sus tejidos altas concentraciones de metales pesados, en la que las raíces realizan el proceso de translocación de una manera rápida, permitiendo detoxificar y acumular el contaminante en las hojas, permitiendo así que se utilicen para tratamientos de fitorremediación. En el año de 1993 utilizan por primera vez plantas hiperacumuladoras para ciertos experimentos en la que constaba extraer metales de áreas contaminadas, permitiendo determinar que la absorción de la planta tiende a variar dependiendo el tipo de suelo o agua y el pH en la que se encuentran, por lo que la planta puede adaptarse al medio (Llungany, Tolrá, & Barceló, 2007, pp. 2).

La diversidad de investigaciones realizadas por varios autores sobre las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* ha dejado en descubierto la gran importancia de la utilización de estas plantas para procesos de fitorremediación, en la que dentro de las investigaciones buscan otras opciones tecnológicas a través del uso de plántulas para descontaminar el medio afectado, los estudios que han sido desarrollados con anterioridad han dejado ciertos enigmas, como es, la

falta de conocimiento sobre los mecanismos y técnicas que tiende a utilizar las plantas para la remoción de ciertos contaminantes.

Hoy en la actualidad se puede visualizar ciertas investigaciones donde determinan la capacidad y la efectividad de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* para remediar los metales pesados presentes en las aguas provenientes de fuentes industriales y mineras, demostrando resultados positivos en la que se puede adaptar en ciertas condiciones climáticas.

Según el estudio realizado por (Atehortua & Gartner, 2013, pp. 9) manifiestan que la macrófita *Eichhornia crassipes* presenta una alta capacidad de adsorción, esto se debe por la presencia de grupos hidroxilos, los mismos que se encuentran en las moléculas de la celulosa, permitiendo la formación de los puentes de hidrógeno, los cuales se ven beneficiados por la estructura porosa, permitiendo la eficiencia de la adsorción de los metales pesados. Esta especie contiene un 35% de hemicelulosa siendo el más significativo y fundamental en la planta, el uso de esta especie puede realizar una remoción asta de alrededor del 85% Pb, tomando en consideración todos los parámetros y condiciones que requiere la planta (Carreño, 2020 pp.14). Para la eliminación de los metales pesados, nitrógeno y fósforo inicia con el proceso de detoxificación en la raíz, pasando por la parte del tallo y logrando acumular en las hojas el contaminante, en la que esta planta suele desarrollarse en aguas ricas en nitrógeno, fósforo y potasio con una nutrición a base de S, Mg, Fe, B, Al, Cu y K (Alexander, 2021, pp. 15).

Según el estudio Fitorremediación de mercurio a partir de *Elodea sp* realizado por (Jaramillo, Zapata, & Marulanda, 2015, pp. 3) mencionan que la *Elodea canadensis* es una planta que tiene la capacidad de absorber y adsorber el metal, dependiendo de las concentraciones que se encuentren presentes en el agua contaminada, en la que presentó una remoción del 100% a una concentración de 1.55 mg/ml de mercurio, por lo que logra alcanzar un equilibrio osmótico para obtener una máxima remediación. Cuando el cobre se encuentra en el medio acuático a concentraciones sumamente altas puede afectar al aparato fotosintético de la planta, esto se debe por la interacción con las enzimas, lo cual se produce una molécula afuncional (Saldivia, 2005, pp. 15).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Metal pesado

Los metales pesados son elementos que forman parte de la corteza terrestre y han sido descritos como contaminantes tóxicos y peligrosos para el ambiente, debido a su alto peso atómico, bioacumulación, persistencia y por su biotransformación, los mismos que son difíciles de degradar de forma natural (Rodríguez D, 2017, pp. 1).

Incluso al estar en bajas concentraciones el cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) pueden ser tóxicos y perjudiciales para las plantas y animales, a la vez son emitidos de distintas fuentes y estar presentes en los suelos por las formaciones terrestres, así como también en procesos industriales y mineras (Rodríguez D , 2017, pp. 1).

Según (Zúñiga, 1999, pp. 16 -17) menciona que los metales pesados provienen de fuentes de forma natural y antropogénicas, descritas a continuación:

- Fuentes naturales. Proviene de erupciones volcánicas en las que se encuentran como minerales primarios que son descritos a las rocas y secundarios a la cristalización de los productos.
- Fuentes antropogénicas. Son actividades generadas por la mano del hombre en la que involucra generación de contaminantes por medio de industrias, mineras, fertilizantes, humos, pesticidas, cenizas, etc.

Los metales pesados al encontrarse en el suelo pueden ser movilizados a través de mecanismos biológicos y químicos en las involucra diversos factores para dicha movilización que son:

- Las características del suelo
- Origen de la contaminación
- Condiciones medioambientales

El gran problema de los metales pesados es que quedan retenidos en el suelo en fase acuosa, precipitando y afectando en la composición química y cambios de pH del suelo, y a la vez son absorbidos por los vegetales e incorporándose en las cadenas tróficas, pueden llegar estos metales pesados a fuentes de agua subterránea o superficiales y volatilizarse en la atmosfera.

2.2.2 Cobre

2.2.2.1. Generalidades

El cobre es uno de los primeros metales extraídos por el hombre, que ha contribuido significativamente para el mejoramiento de la sociedad desde el comienzo de la civilización, en la que en la edad de piedra favoreció el cobre como las primeras herramientas creadas para defensa y casería, alrededor de 8000 a.C., el mismo fue utilizado para la elaboración y utilización de las monedas (Flores, 2021, pp. 4).

El cobre es considerado como un metal resistente y de alta dureza en la que puede resistir golpes y alteraciones físicas, sin embargo, es frágil a temperaturas bajas extremas, con el pasar del tiempo fueron descubriendo nuevas propiedades del cobre en las que se convertiría en algo sorprendente para las industrias (Uriarte, 2021, pp. 1).

Es un metal de transición con una tonalidad rojizo anaranjado, cuya capacidad es ser un buen conductor de electricidad, en la que tiende a formar elementos en estado de oxidación (I) y (II).

2.2.2.2. Características

- Número atómico 29.
- Peso atómico 63.546
- Valencias químicas normales 1 y 2.
- Metal pesado.
- Densidad 8.96 g/ml
- Tonalidad rojiza anaranjado
- Punto de fusión 1085.62 °C.
- Punto de ebullición 2562 °C.
- Es muy maleable
- Buen conductor térmico
- Primer potencial de ionización (eV) 7.77
- Estado de oxidación 2.
- Electronegatividad 1.9

2.2.2.3. Propiedades físicas

El cobre posee una diversidad de propiedades físicas que lo han convertido en un metal apreciable para las industrias por sus diversas aplicaciones que se le puede dar al metal.

Siendo el cobre un excelente conductor térmico por lo que, si se somete al calor un extremo de un trozo de cobre, el otro extremo alcanza la misma temperatura de una manera rápida, siendo resistente a la corrosión mismo que es un metal muy dúctil y a la vez que el cobre se puede combinar con metales como el latón y bronce (Flores, 2021, pp. 5).

Algunas de las aleaciones que presenta el cobre son:

- Latón: cobre + zinc
- Bronce: cobre + estaño
- Cupro níquel: cobre + níquel

Siendo estas aleaciones más fuertes que el cobre puro.

El cobre también puede actuar como un catalizador, en la que acelera la reacción como, por ejemplo, es el caso del Zn y H_2SO_4 diluido (Flores, 2021, pp. 5).

2.2.2.4. Propiedades biológicas

El cobre cumple un rol importante para la fotosíntesis en las plantas y conforma parte de la composición de la plastocianina, siendo que el 70% del Cu se encuentra en la clorofila especialmente en los cloroplastos, cuando la planta presenta una deficiencia de cobre las hojas tienden a aparecer estrechas y retorcidas y en tornándose de color blanco las puntas de las hojas. (FAO, 2007, pp. 6)

2.2.2.5. El cobre en la industria minera

El cobre es utilizado en industrias mineras en la que es una de las actividades más relevantes en la actualidad y de gran desarrollado a nivel mundial, desempeñando diferentes dimensiones como es la gran minería, mediana minería y pequeña minería (Vilela, Espinosa, & Bravo, 2020, pp 11).



Ilustración 1-2: Minería de cobre.

Fuente: Torres, Segundo, 2021, pp.3.

- Proceso de extracción de cobre

El cobre se extrae a cielo abierto y a través de minas subterráneas, en la que este mineral está contenido menos 1% de cobre en forma de minerales sulfurosos, una vez que se extrae, se muele y se tritura hasta que tenga se haya vuelto polvo fino.

En el proceso de concentración se mezcla con agua y el polvo fino triturado hasta que se forma lodos, en las que se suele añadir productos químicos y se inyecta aire en los mismos, en la que las burbujas de aire se fijan en el cobre y se extrae por parte de las células de flotación, en la que obtiene un concentrado del 20 y 30 % de cobre.

- Producción de cobre

Para obtener cobre de alta pureza a partir de los concentrados de CuS y FeS se realiza el proceso de pirometalúrgicos y para obtener productos de cobre de alta pureza se utiliza el proceso de hidrometalúrgicos a partir de minerales de óxido que contiene minerales de cobre oxidados.

Tabla 1-2: Materiales para el procedimiento de partida y residuos contaminantes generados en la fundición y afino del cobre.

Proceso	Materiales de partida	Emisiones a la atmosfera	Residuos de proceso	Otros residuos
Concentración de cobre	Mineral de cobre, agua, reactivos, espesantes		Aguas residuales de flotación	Colas contenido minerales como caliza y cuarzo
Lixiviación de cobre	Concentrado de cobre ácido sulfúrico		Lixiviado incontrolado	Residuos de lixiviación en montones
Fundición de cobre	Concentrado de cobre, fundente silíceo	Dióxido de azufre, material particulado, contenido de As, Sb, Cd, Hg, Pb y Zn.		Lodos/ fangos ácidos de descarga de la planta, escoria conteniendo sulfuros de hierro, sílice
Conversión de cobre	Concentrado de cobre, chatarra de cobre, fundente silíceo	Dióxido de azufre, material particulado, contenido de As, Sb, Cd, Hg, Pb y Zn		Lodos/ fangos ácidos de descarga de la planta, escoria conteniendo sulfuros de hierro, sílice
Afino electrolítico del cobre	Cobre blíster, ácido sulfúrico			Lodos conteniendo impurezas como oro, Pt, Sb, As, Se, Ni, Pb, S, Zn y Bi

Fuente: Mc Cann, 2012.

2.2.2.6. El cobre en el ambiente y sus efectos

El cobre en su forma química determina la disponibilidad o biodisponibilidad biológica para los organismos del medio ambiente, lo que la ingesta de los mismos depende de la distribución en la naturaleza y como el medio de transporte.

La biodisponibilidad del cobre mide la fracción para el órgano sensible de un organismo, pero si en el caso que la biodisponibilidad de cobre se eleve, los organismos tienden a absorber en exceso generando resultados indeseables.

Existe un ciclo del cobre en la que las plantas tienden a absorber el Cu y lo integra en su estructura como moléculas complejas de enzimas, fundamentalmente en oxidasas que son esenciales para los procesos de la planta, en los animales herbívoros obtienen el cobre por la ingesta de las plantas y los carnívoros por la ingesta de la carne de los animales herbívoros y una vez que mueren tanto los animales y las plantas el cobre se vuelven a integrar en el suelo y forma parte de la materia orgánica, volviendo a iniciar el ciclo del cobre (Figura 2-2) (Rodríguez , 2019, pp. 1).

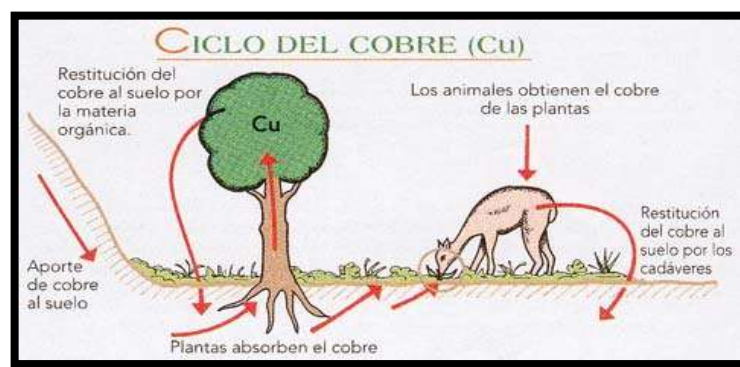


Ilustración 1-2: Ciclo del cobre.

Fuente: Rodríguez, Marina, 2018, pp. 2.

- Efectos del cobre

El cobre al encontrarse en niveles elevados resulta tóxico para los ecosistemas naturales y la vida que se desarrolla en la misma, por lo que suelen aumentar en zonas con actividades antropogénicas relacionadas a la minería, eliminación de residuos domésticos y aplicación de insecticidas, alguicidas y fungicidas (Catalá, 2015, pp. 1).

El cobre es nocivo y tóxico para organismos y el efecto es perjudicial para las plantas peces y mamíferos, en el caso de las plantas produce lesiones en las raíces provocando a la formación de raicillas cortas y de tonalidad pardo e inhabilita el crecimiento radicular de la planta, en los peces

los iones de cobre impiden la regulación de sodio y en los mamíferos el cobre produce daños significativos en el hígado (Catalá, 2015, pp. 1).

Las minerías expulsan grandes cantidades de cobre en la que las minerías tienen a secar los ríos y vertiéndolas alrededor de la mina afectando la capa freática y el flujo de agua, convirtiéndose en agua que no puede ser consumida ni por los animales ni por los seres humanos volviéndose completamente tóxica (Zorrilla, 2013, pp. 4).

Los niveles altos de concentración de cobre pueden ser perjudiciales para la salud del ser humano, la inhalación de cobre a niveles excesivos provoca irritación de la nariz y de la garganta, el engerimiento de concentraciones elevadas de cobre puede producir diarrea, náuseas, vómitos y como a su vez puede afectar al hígado y a los riñones y producir la muerte a los seres humanos (ATSDR, 2004, pp. 1).

2.2.3 *Absorción y transporte del cobre en la planta*

El cobre es absorbido por las plantas en forma de ion divalente y almacenándolo como sales, la misma que empieza en la epidermis de la raíz y el movimiento de la epidermis a la endodermis por difusión apoplástica y translocación de cobre de la raíz a las hojas, por medio de la xilema, dicho proceso se da de forma pasiva por corriente de la transpiración (Torres, Dominguez, & Cortes, 2015, pp. 2).

Una vez que el Cu es absorbido por la raíz de la planta, se transporta a los distintos tejidos (Figura 3-2) (Sancho, 2016, pp. 29-30).

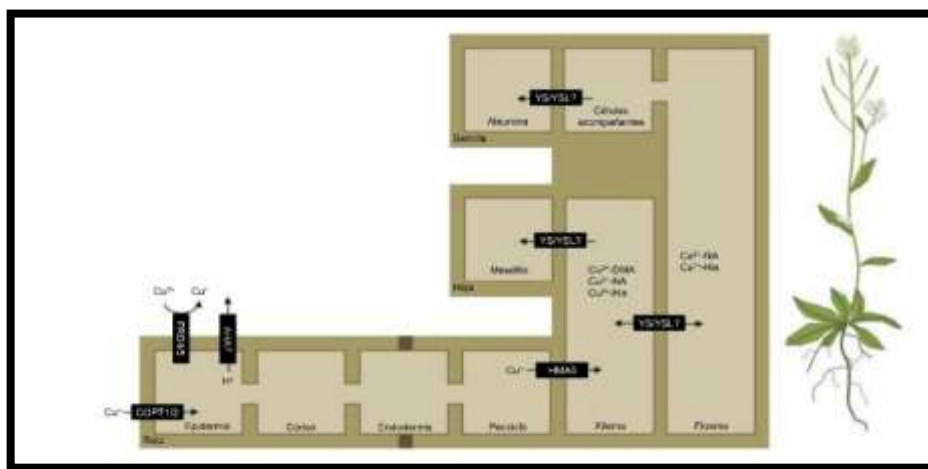


Ilustración 2-2: Transporte intercelular del Cu en la planta.

Fuente: Sancho, Diana, 2016, pp.2.

El transporte radial de la raíz se origina por medio del apoplasto y del simplasto, en donde el apoplasto pertenece con el espacio exterior de las membranas las mismas que concuerdan con la zona de difusión libre continua y el simplasto tiende a formar un sistema continuo en la que se comunica célula a célula por medio de los plasmodesmos, en este punto el Cu debe ser transportado activamente por medio de la membrana plasmática al espacio simplástico, donde se puede movilizar a través de plasmodesmos a las capas inferiores de la raíz y cargado en las haces vasculares de la planta (Sancho, 2016, pp. 29-30).

En el cargado de la xilema es transportado por medio de una corriente de transpiración. Para ese proceso el Cu es cargado desde el simplasto de la raíz hacia la xilema y para dicho paso están implicados los transportadores de Cu HMA5 (Sancho, 2016, pp. 29-30).

2.2.3.1. Fitotoxicidad

La fitotoxicidad es el grado de efecto tóxico provocado por agentes químicos, metales pesados, pesticidas, salinidad, fitotoxinas, temperatura, entre otros, en la que puede producir alteraciones fisiológicas en el aspecto de crecimiento, desarrollo, vigor y productividad de las especies vegetales (Moreno & Peñaranda, 2019, pp. 1-2).

Los metales pesados con elevada concentración pueden ocasionar una toxicidad en las plantas e incluso en bajas concentraciones como As, Cr, Pb, TI, entre otros, incluso las trazas de los metales pesados como el Cu, Se, Zn, son esenciales para un buen funcionamiento, pero si estos se encuentran en concentraciones elevadas puede causar fitotoxicidad (Moreno & Peñaranda, 2019, pp. 2-3).

El exceso de Cobre en la planta puede afectar a la raíz provocando el crecimiento lateral excesivo, presentado una deficiencia de hierro y de micronutrientes, si no se logra controlar, el nivel de toxicidad aumenta, produciendo una reducción en la ramificación y llegando al deterioro de la planta (Chen, 2021, pp. 1-5).

2.2.3.2. Resistencia

Las plantas tienen una variedad de mecanismos celulares en la que pueden ser capaces de tolerar a contaminantes altamente tóxicos, como es la formación de micorrizas, el secuestro del metal en la pared celular de la especie vegetal, como también la precipitación con exudados radicales, contribuyendo a la minimización de la absorción del metal por medio de la membrana plasmática y con la quelación del metal en la parte del citosol por fitoquelatinas, metalotioneinas, histidina y prolina en forma libre (González & Zapata, 2008, pp. 1-9).

2.2.3.1. Factor de bioconcentración

Es la capacidad que tiene las plantas en captar el metal por medio de la raíz y la parte aérea con relación a la concentración del agua, a través del BCF nos permite identificar la eficiencia de acumulación de metales pesados en la parte de la biomasa vegetal, en la que indica que los valores < 1 son potencialmente acumuladoras, > 1 denotan que son hiperacumuladoras (Audet & Charest, 2007, pp. 1-10) y menores a 1 muestran especies exclusoras (Medina, y otros, 2014). El BCF puede ser calculado mediante la siguiente fórmula.

$$FBC = \frac{[\text{metal}]_{\text{planta}}}{[\text{metal}]_{\text{suelo o agua}}}$$

2.2.4 Fitorremediación

Es considerada como una tecnología sustentable en la que se basa en utilizar especies vegetales para restaurar ambientes que han sido contaminados de manera antropogénica (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 1-3), las plantas como la flora arbórea, arbustiva, herbácea y algas son especies que poseen la capacidad de absorber, acumular, metabolizar, volatilizar, remover o estabilizar contaminantes tóxicos como son los metales pesados, a través de sus procesos metabólicos (Marrero, Sánchez, & Coto, 2012, pp. 4-5).

La fitorremediación se reduce a in situ o ex situ, debido a sus concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos, los mismos que se pueden encontrar en el suelo agua o aire (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 1-3).

Los contaminantes inorgánicos son menos tóxicos en comparación de los orgánicos y se les puede encontrar de forma natural o a la vez pueden ser resultado de actividad minera y agricultura, pero este tipo de contaminante no puede ser degradado por las plantas, pero si puede acumularse (Segretin, Bey, & Mentaberry, 2015, pp. 547-549).

Las ventajas que comprende el proceso de fitorremediación son:

- El costo de energía es bajo
- La producción de residuos secundarios es mínima
- La descontaminación se puede dar en considerables superficies
- La velocidad de degradación es mayor

2.2.4.1. Técnicas de fitorremediación

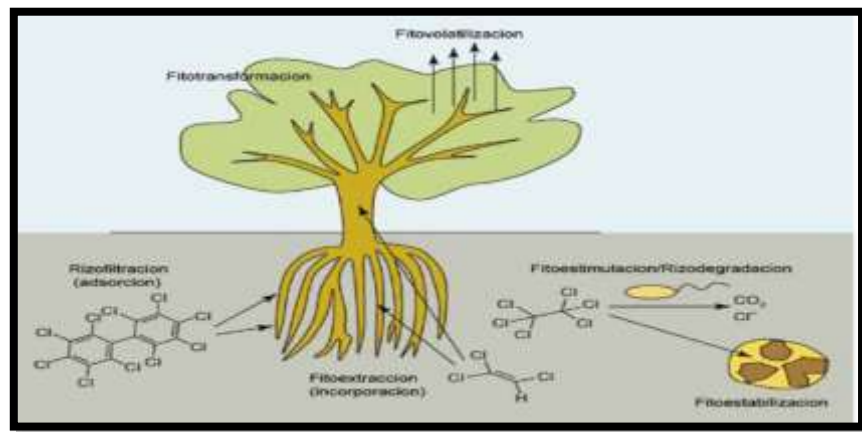


Ilustración 3-2: Proceso involucrados en la fitorremediación.

Fuente: Nuñez, Aurelio, 2004, pp.2.

- Fitoextracción

Es una estrategia en la que ciertas plantas tienen la capacidad de absorber y acumular los contaminantes en su raíz, tallo u hojas, especialmente metales pesados, contaminantes orgánicos e isótopos radiactivos (Nuñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 2).

- Fitoestimulación

Esta técnica se basa principalmente en las raíces de las plantas, cuya finalidad es estimular el crecimiento de los microorganismos como bacterias y hongos con el propósito que tengan la capacidad de degradar los contaminantes presentes en la rizosfera, las actividades metabólicas que presentan los microorganismos provocan la mineralización de los contaminantes (Nuñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 2).

- Fitoestabilización

Es una estrategia en que las raíces de las plantas reducen la biodisponibilidad de los contaminantes a través de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación, ejerciendo así un control en la zona contaminada, permitiendo la inmovilización de los metales, y se produce por medio de reacciones químicas, tales como: la precipitación o formación de complejos insolubles o por procesos de adsorción (Nuñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 2).

- Fitodegradación

Se utiliza plantas con la finalidad de degradar y transformar las sustancias menos tóxicas de los contaminantes orgánicos tales como hidrocarburos aromáticos, totales de petróleo, plaguicidas, compuestos clorados y detergentes, por medio de reacciones enzimáticas dadas por las plantas y microorganismos en la rizosfera (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 1).

- Fitovolatilización

A través de esta estrategia, ciertas plantas son capaces de incorporar los contaminantes, metabolizarlos, transportarlos y liberarlos a la atmósfera en formas volátiles, específicamente menos peligrosas (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 2).

- Rizofiltración

Es una técnica de crecimiento de plantas en medios de cultivos hidropónicos, en la que las raíces tienen el papel fundamental de absorber, concentrar y precipitar los metales pesados provenientes de aguas residuales (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 2).

2.2.4.2. Tipo de planta acuática

En los procesos de fitorremediación acuática con especies vegetales se distribuyen en:

- Emergentes: la parte superior de la planta se desarrolla por encima de la superficie del agua y la raíz se encuentra enterrada en los sedimentos.
- Flotantes: pueden subdividirse en dos grupos como plantas fijas y no fijas
- Sumergidas: las plantas se encuentran sumergidas en su totalidad

2.2.5 Características de *Eichhornia crassipes* (bichón de agua)



Ilustración 4-2: *Eichhornia Crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

La especie macrófita es considerada como una especie de planta vascular que es originaria del Suramérica, sus tallos y hojas se caracterizan por contener aire lo cual les permiten que puedan estar suspendidas en la superficie del agua, su reproducción es asexual especialmente cuando se encuentran en ambientes tropicales y subtropicales (Lowe et al., 2004, pp. 10).

E. crassipes es conocida como una especie invasora que afecta de forma significativa al equilibrio de los sistemas acuáticos, siendo su principal alimento los nutrientes provenientes de efluentes industriales, deforestación y tratamientos de aguas (Carreño, 2020, pp. 5). Esta especie posee una gran cantidad de celulosa y hemicelulosa en su estructura vegetal, conllevándola a ser utilizada en procesos de fitorremediación y bioenergía, de tal manera que es considerada como una de las 100 especies exóticas invasoras en el mundo (Lowe et al., 2004, pp. 10).

2.2.5.1. Taxonomía de *Eichhornia crassipes*

Tabla 2-2: Taxonomía de la *Eichhornia crassipes*

Taxonomía de <i>Eichhornia crassipes</i>	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Commelinales
Familia	Pontederiaceae
Género	<i>Eichhornia</i>

Fuente: LOWE, 2004.

2.2.5.2. Características externas de *Eichhornia crassipes*

Esta especie de planta cuando se encuentra en un estado de adultez se posee raíces, rizomas, pecíolos, estolones, hojas y frutos, en la que en su sistema radial se forma una raíz primaria ramificándose en varias raíces delgadas, de color púrpura debido a sus pigmentos en las vacuolas denominados antocianinas (Zavaleta et al., 1989, pp. 15-80).



Ilustración 5-2: Estado adulto de *Eichhornia crassipes*.

Fuente: (GISD, 2005, pp.1).

Las raíces se caracterizan por tener una longitud entre 10 a 11 cm y posee del 15 % y el 20% de la biomasa total de la especie, en la que depende de las características ambientales en la que se encuentre (Rodríguez & Ortega, 2006, pp. 25-30).

2.2.5.3. Ecología de *Eichhornia crassipes*

Se caracterizan porque no toleran estar en el agua a una temperatura mayor de 40°C, por lo que no permite su crecimiento y muere, de tal manera que la temperatura adecuada comprende entre los 25 °C y 30 °C y su crecimiento es excelente, la humedad suele variar en sus raíces de 93.4%, rizomas 95.1%, pecíolo 93.9% y hojas 89.3% y la *Eichhornia crassipes* puede estar en un pH entre 4 y 10, por encima de los 12 la planta muere por falta de nutrientes que se precipitan (Zavaleta et al., 1989, pp. 15-80).

2.2.5.4. Composición química de *Eichhornia crassipes*

Para que la *Eichhornia crassipes* crece en el agua rica en proteínas, especialmente de nitrógeno, fósforo y potasio, cuya habilidad es absorber los nutrientes, además posee la capacidad de extraer los metales pesados siendo su tratamiento exitoso, por lo que el oxígeno del agua está por debajo de la superficie en la que se encuentra la planta por lo que es perjudicial para los peces y animales acuáticos (Zavaleta et al., 1989, pp. 15-80).

2.2.6 Características de la *Elodea canadensis*



Ilustración 6-2: *Elodea canadensis*.

Fuente: (CONAMA, 2016, pp.1).

La *Elodea Canadensis* es considerada como una especie invasora que genera una problemática por su rápida proliferación, es originaria de Norte América, esta especie macrófita acuática sumergida arbustiva, en la que su tallo se ramifica de 20 y 30 cm de largo, sus hojas son de color verde oscuro en forma dentada de 1 cm de largo y de 2 a 3 mm de ancho, cuyas características son cerosas y rígidas. Esta especie tiene un gran contenido de fósforo en su biomasa y puede almacenar en sus raíces (CABI, 2005, pp. 5).

2.2.6.1. Taxonomía de la *Elodea canadensis*

Tabla 3-2: Taxonomía de la *Elodea canadensis*

Taxonomía de <i>Elodea canadensis</i>	
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Hydrocharitales
Familia	Hydrocharitaceae
Género	<i>Eodea</i>

Fuente: MAATE, 2013.

2.2.6.2. Ecología de la Elodea canadensis

La *Elodea canadensis* es capaz de crecer en una variedad de condiciones, ya que puede adaptarse en aguas profundas incluso en aguas con una ligera mineralización incluyendo desarrollarse bajo el hielo (Bowmer et al., 1995 pp. 2-3). Esta especie puede sobrevivir a una profundidad hasta de 3 metros en aguas de lento movimiento y a la vez tolerar un pH de 6 a 10 a una temperatura de que oscila entre los 1 y 25 °C (Gollasch, 2006, pp. 2-5).

2.2.7 Bases conceptuales

2.2.7.1. Factor de bioconcentración

Es la capacidad que tiene las plantas en captar el metal por medio de la raíz y la parte aérea con relación a la concentración del agua, a través del BCF nos permite identificar la eficiencia de acumulación de metales pesados en la parte de la biomasa vegetal, en la que indica que los valores < 1 son potencialmente acumuladoras, > 1 denotan que son hiperacumuladoras (Audet et al., 2007 pp. 3-5) y menores a 1 muestran especies exclusoras (Medina & Montano, 2014, pp. 41).

2.2.7.2. Factor de translocación

Es el cociente entre las concentraciones de los metales en los órganos aéreos y en la raíz de las especies vegetales (Olivares et al., 2009 pp 1-2). Los factores de translocación que son > 1 tienen una gran capacidad para transportar los metales pesados desde la raíz a los vástagos de las plantas (Zhao et al., 2002, pp. 1-7).

2.2.8 Normativa legal

2.2.8.1. Constitución política de la república del Ecuador

La constitución promueve el respaldo en su totalidad a la protección, respeto y conservación del ecosistema, promoviendo el desarrollo sustentable de la población de una manera equilibrada, las personas tanto jurídico o natural tienen la autoridad de reclamar el cumplimiento del derecho mencionado el mismo que es sustentado a través de artículos vigentes, permitiendo así que los problemas ambientales ocasionados de forma antropogénica sean castigados como lo manifiesta la normativa dependiendo el daño producido (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008, pp. 1-36).

2.2.8.2. Código orgánico del ambiente

El objetivo principal del COA es proporcionar garantías de derecho a toda la población para que pueda vivir en un ambiente ecológicamente equilibrado promoviendo al Sumak Kawsay, cuyos fines del COA es establecer, implementar e incentivar a la conservación y restauración de los ecosistemas, biodiversidad y sus componentes (Asamblea Constituyente, 2017, pp. 4).

2.2.8.3. Texto unificado de la legislación ambiental secundaria del ministerio del ambiente

En el libro VI-anexo I de la Calidad Ambiental el Decreto ejecutivo da a conocer la norma técnica en la establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas de aguas residuales en cuerpos hídricos o alcantarillado así como también las discreciones de la calidad de agua en sus diversas formas de usos, teniendo como objetivo primordial el prevenir y controlar la contaminación ante esta problemática salvaguardando a todo los ecosistemas y la vida que se desarrolla en el (Ministerio del Ambiente, 2017, pp. 263-268)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

Se utilizó un diseño experimental, en la que se manipuló una variable independiente, en el instante de iniciar el tratamiento, para medir el efecto de la misma sobre una variable dependiente. En la que se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con la finalidad de identificar si existen diferencias entre los tratamientos de las unidades experimentales, en la que estará conformado por dos especies de plantas y a tres concentraciones.

3.2 Tipo de estudio

El tipo de investigación es cuantitativa, cualitativa, descriptiva y analítica destallados a continuación.

Investigación cuantitativa: Se empleará este método de investigación con la finalidad de que a través de la recopilación, análisis e interpretación de datos y resultados se determinará la concentración final de cobre (II) en las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* y en el agua contaminada.

Investigación cualitativa: A partir de este tipo de investigación se observará el comportamiento y las características que presentarán las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* frente al medio contaminado.

Investigación descriptiva: Porque nos permitirá ir describiendo todo el debido proceso de la remoción de cobre (II) durante el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*.

Investigación analítica: A través de esta investigación se podrá establecer una comparación de los resultados de la remoción del contaminante en las dos especies vegetales.

3.3 Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.3.1 Unidad de análisis

En el presente proyecto de investigación la unidad experimental a ser analizada es el agua contaminada con Cu (II) donde se sembraron dos especies de macrófitas *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua) y *Elodea canadensis* (Peste de agua).

3.3.2 Población de estudio

La población de estudio corresponde a las plantas macrófitas *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua) y *Elodea canadensis* (Peste de agua) y a los litros de agua con presencia de cobre (II)

3.3.3 Planificación del periodo experimental

El presente proyecto de investigación inició su fase experimental en el mes de mayo del 2022 y culminó en el mes de julio del 2022, con una duración de dos meses.

3.3.4 Selección de la muestra

Las dos especies de plantas *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* se obtuvieron en el acuario Hantilus, en la que se procedió a seleccionar solo las especies jóvenes y las que se encuentren en perfectas condiciones, reconociendo según sus propiedades físicas de las dos especies macrófitas como: raíz, tallo y hojas.

3.3.5 Tamaño de la muestra

Se utilizó 45 plantas de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* siendo un total de 90 plantas y constituida por un total de 400 litros de agua contaminada.

3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1 Lugar de desarrollo de la investigación



Ilustración 1-3: Ubicación del invernadero.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

El presente trabajo de investigación se realizó en la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Facultad de Recursos Naturales, en un invernadero tipo túnel de 25 m². Consiguientemente se procedió la fase de adaptación de las dos especies macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*, a condiciones controladas de temperatura y humedad en el interior del invernadero para dar lugar al proceso de fitorremediación de las aguas contaminadas con Cu (II).

- **Lugar de recolección de muestras**

Las plantas macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* fueron adquiridas en el acuario Hantilus, mismo que se encuentra ubicado en las calles Gaspar de Villaroel, en la Ciudad de Riobamba.

- **Lugar de recolección de datos**

La presente investigación se realizó en un invernadero de 25 m², construido en las instalaciones de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, ubicada en la Panamericana Sur del Cantón Riobamba.

3.4.2 *Especie vegetal sujeta a investigación*

Para la selección de cada una de las especies macrófitas fue necesario realizar revisiones bibliográficas en la que permitió identificar las propiedades, su rápido crecimiento y como la capacidad que tienen en adaptarse.

Eichhornia crassipes y *Elodea canadensis* son especies vegetales macrófitas que tienen la capacidad de ser tolerantes a metales pesados, permitiendo que estas sean utilizadas para procesos de tratamiento de remoción de Cu (II) en aguas contaminadas mediante hidroponía y así determinar la eficiencia de las mismas.

Las dos especies se encontraban en un excelente estado en la que las tonalidades eran de color verde sin presencia de necrosis, las raíces de la *Eichhornia crassipes* presentaban longitudes diferentes en la que comprendían entre 15 a 30 cm con pelos radiculares de color café y blancas, las *Elodea canadensis* presentaron una longitud que comprendían entre los 25 a 45 cm y con presencia de raíz.

3.4.3 *Diseño y construcción del invernadero*

4.1.2.1. *Invernadero*

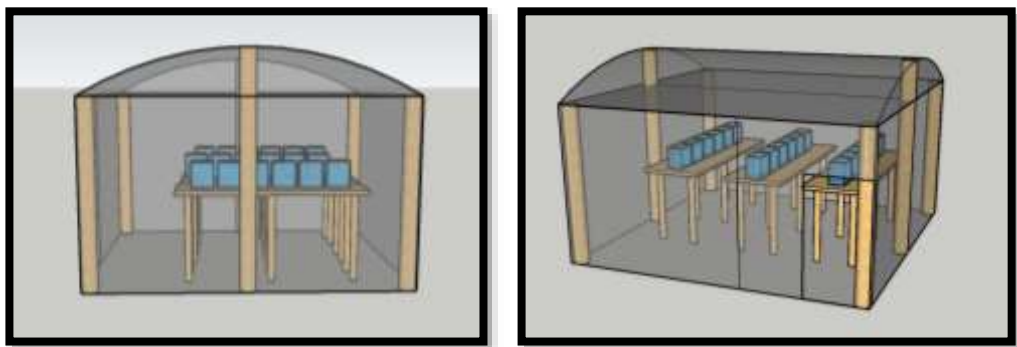


Figura 2-3: Diseño del invernadero.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

Se construyó el invernadero tipo túnel con el objetivo de controlar el periodo de adaptación de las especies vegetales y evitar que la lluvia interfiera y altere los resultados del tratamiento.

a. Materiales utilizados

- Pingos de madera
- Clavos, metro martillo y grapadora
- Alambre
- Plástico para la cubierta
- Cable sólido para la conexión eléctrica, enchufes y cinta tape

b. Proceso de construcción

Se construyó un invernadero tipo túnel de 25 m² (5m de ancho, 5m de largo y 3.15 de alto), plástico, pingos y estructura de madera para el desarrollo de la parte experimental del proyecto de investigación.

- Para los yacimientos del invernadero se utilizaron 4 pingos de madera de 2 m y 2 pingos de 3 m separados a lo ancho por 2.5 m y 2.5 m de largo. Los pingos de mayor longitud fueron colocados en las partes laterales del invernadero para que brinde soporte a los arcos de madera. En la parte superior se colocó 1 pingo de 5 m y 4 pingos de 4.80 m, mismos que fueron sujetos con clavos y alambre.
- Los 2 arcos de madera tenían una prolongación adecuada para la caída del agua, mismos que fueron colocados en la parte superior horizontal del invernadero sujetado con alambre, clavos y cubierto de plástico.
- Una vez que se cubrió en su totalidad el invernadero con plástico se realizó las respectivas cortinas anteriores y posteriores mismas que fueron sujetadas con un tubo que serviría para sostener la parte inferior de la cortina, logrando así que las temperaturas sean las adecuadas para el desarrollo de las especies acuáticas.
- Para la puerta de ingreso del invernadero se realizó su estructura a base de 2 pingos de 1.6 m de alto y 2 pingos de 1 m de largo, asegurada con 3 bisagras y cubierta con plástico.

c. Adecuación

Para la fase experimental del proyecto de investigación, el invernadero debía de cumplir con parámetros exigentes para el desarrollo de las especies de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*. Esto involucraba la temperatura y humedad relativa, permitiendo así corregir estos dos parámetros.

El ingreso de luz era intenso, de tal manera que en la parte superior se colocó una malla negra cuya finalidad era bloquear a un 80% el traspaso directo de los rayos del sol y a disminuir la visibilidad, generando así un ambiente apto para el desarrollo de las especies vegetales.

4.1.2.2. Sistema de cultivo de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Para el sistema de cultivo de las especies se optó en utilizar cubetas, las mismas que presentaban las mismas características para todas las unidades experimentales.

a. Materiales utilizados

- Los soportes de las mesas fueron de espigas de madera de 0.75 cm de alto y 2 m de largo.
- Cubetas de plástico.
- Clavos y martillo para el aseguramiento de las mesas.

b. Proceso de construcción

- Las cubetas fueron de plástico de 0.5 cm de largo 0.25 cm de ancho y a 0.25 cm de profundidad, en la que se colocó un volumen de 20 L por cada cubeta de las 20 unidades experimentales incluida los dos blancos. La profundidad de las cubetas fue determinada según las condiciones necesarias para *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*.
- Los 4 soportes de madera tuvieron una longitud de 2 m, 0.57 cm de alto y 0.7 cm de ancho en la que se colocó 6 cubetas por cada mesa.

3.4.4 Preparación de los medios físicos

- Preparación de las cubetas para el cultivo de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Se limpió las 20 cubetas con agua de la fuente de San Luis y se dejó por 24 horas llenas de agua, eliminando así cualquier residuo que pudiese estar e interferir con los resultados de la parte experimental, permitiendo así observar si existe alguna fuga de agua en las cubetas, conllevando a resultados positivos.

- Transporte y preparación de las especies de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Las especies vegetales fueron adquiridas en el acuario Hantilus, donde se limpió y se retiró los residuos de tierra de las raíces de la *Eichhornia crassipes*. Se colocó en una funda plástica de 10 lb a las 50 especies de *Elodeas canadensis* totalmente hidratadas y en 2 fundas de 25 lb se puso 25 *Eichhornia crassipes* en cada una.

Las plantas fueron transportadas al invernadero, en la que se procedió a retirar las plantas de las fundas y posteriormente fueron colocadas en cada uno de las cubetas plásticas previamente lavadas las plantas con agua de fuente.

3.4.5 *Siembra y adaptación de Eichhornia crassipes y Elodea canadensis*

Cada una de las plantas de las dos especies fueron colocados en las cubetas de las unidades experimentales, la *Eichhornia crassipes* no se necesitó de ningún tipo de artículo para que pueda sostenerse por lo que esta planta flotante libre y la *Elodea canadensis* se la sumergió en su totalidad, ya que tiene la capacidad de flotar.

- Fase de adaptación de la *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

La fase de adaptación de estas dos especies fue en el lapso de 3 semanas a temperatura y humedad relativa controlada al interior del invernadero, mismas que fueron sembradas en el agua de fuente de San Luis, la solución nutritiva fue colocada cada 3 días desde el inicio hasta el final de la fase y un sistema de aireación continuo.



Ilustración 3-3: Adaptación de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

3.4.6 *Preparación del medio líquido*

Para la preparación de los medios se utilizó sulfato de Cu (II) pentahidratado y como disolvente al agua de la fuente.

La solución fue incorporada directamente en cada una de las cubetas, tornándose de una coloración celeste.

a. Cálculos

- Para la determinación de la concentración de Cu (II) en el sulfato de Cu (II) pentahidratado

Ecuación 1-3:

$$X = \frac{\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Cu}}{\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}}$$

Donde:

X= Concentración de Cobre (II)

$\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Cu}$ = Peso molecular del Cobre

$\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ = Peso molecular del sulfato de Cu (II) pentahidratado

- Para contaminar 20 L de agua de la fuente a 10 ppm Cu (II)

Ecuación 2-3:

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

Donde:

V₁= Volumen por tomar de la disolución

V₂= Volumen de la disolución disuelta

C₁= Concentración molar de la disolución

C₂= Concentración molar de la disolución disuelta

3.4.7 Solución nutritiva

Las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* se desarrollan de forma eficiente en agua rica en proteínas, esencialmente de nitrógeno, fósforo y potasio.

Se empleó una solución nutritiva comercial marca NEO SOLUTION 1 en la que aportara de forma eficiente al desempeño y fortalecimiento de las plantas.

Composición de Neo Solution 1

Tabla 1-3: Composición de Neo Solution 1

ELEMENTOS	CONTENIDO
Nitrógeno	1%
Fósforo	0.1%
Potasio	1.35%
Magnesio	0.01%

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

- Aplicación de la solución nutritiva al medio

La solución nutritiva fue colocada al medio líquido desde el inicio de la fase experimental y a partir de esa fecha cada 3 días hasta la fase final del experimento. Se añadió 1 ml de NEO SOLUTION 1 directamente al medio sin diluciones en cada una de las unidades experimentales.

3.4.8 Aireación

La oxigenación es muy esencial en el desarrollo de las plantas por lo que determina la orientación radicular y procesos metabólicos prioritarios, cuando existe un déficit de oxígeno puede disminuir el consumo de agua, el crecimiento y el desarrollo se ralentiza en las plantas (Roblero, Pineda, León, & Castellanos, 2021, ppp. 2-3)

Se utilizó aireadores comerciales marca JAD, modelo Aire Pump SC-7500 de doble entrada, el ruido es bajo y alta capacidad de generación de aire

- Características del Aire Pump SC-7500

Tabla 2-3: Características del Aire Pump SC-7500

Modelo	Voltios	Frecuencia	Energía	Presión	Tamaño
SC-7500	230/115/12V	40/60 Hz	3.5 W	0.012Mpa	142 x 95 x 70 mm

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

- Aplicación al medio

Fue necesario implementar un sistema de aireación con la finalidad de que las plantas realicen todo el proceso metabólico característico de las especies, caso contrario la falta de oxigenación produciría daños y hasta la muerte de las plantas.

Se utilizó 10 aireadores modelos Aire Pump SC-7500 de doble entrada, necesarias para proporcionar aire en las unidades experimentales, conectadas a mageras plástica.

3.4.9 Cambios aparentes en las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Las especies vegetales acuáticas favorecen a procesos de tratamientos de aguas contaminadas, permitiendo que a través de la parte radicular de las plantas absorban y extraigan nutrientes y metales pesados hacia su sistema.

Por lo que fue de gran importancia identificar las alteraciones o cambios físicos que presentaron las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* frente al contacto con aguas contaminadas con Cu (II). Permitiendo registrar la vigorosidad de las especies de manera cualitativa continúa e identificar la presencia de necrosis en las plantas.

Tabla 3-3: Monitoreo de cambios aparentes de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Especie	Monitoreo	Tiempo	Criterio	Estado	Referencia
<i>Eichhornia crassipes</i>	Fase final del experimento	2 meses (60 días)	Vigorosidad	Muy vigorosa	4
				Vigorosa	3
				Mediamente vigorosa	2
				Débil	1
<i>Elodea canadensis</i>			Necrosis	Existente	1
				No existe	0

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Para la identificación y cuantificación de la longitud y el crecimiento de nuevas raíces se lo realizó en dos fases: la primera fase fue al inicio de la etapa experimental y la segunda al final de la etapa experimental, permitiendo identificar la capacidad de adaptación de las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* en los medios de cultivos líquidos con presencia de Cu (II).

Tabla 4-3: Monitoreo de raíces y longitud de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Especies	Monitoreo	Tiempo	Variables	Materiales
<i>Eichhornia crassipes</i>	Fase inicial del experimento	1 meses (30 días)	Longitud del tallo	Guantes Regla de 1 m y de 50 cm
	Fase final del experimento	2 meses (60 días)	Nuevos brotes de raíces	
<i>Elodea canadensis</i>	Fase inicial del experimento	1 meses (30 días)	Longitud del tallo	
	Fase final del experimento	2 meses (60 días)	Nuevos brotes	

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

3.4.10 Variables de control

- **Temperatura**

La *Eichhornia crassipes* se desarrolla en una temperatura que comprende entre los 28 °C y 30 °C y su crecimiento es excelente, la *Elodea canadensis* tiene un buen desarrollo a temperaturas que oscilan entre los 10°C a 30°C, en ambientes tropicales.

- **Humedad relativa**

La *Eichhornia crassipes* puede desarrollarse a una humedad que suele variar en sus raíces de 93.4%, rizomas 95.1%, pecíolo 93.9% y hojas 89.3%, y en el caso de la *Elodea canadensis* suele encontrarse a una humedad del 70%.

2.2.4.1. Monitoreo y control de temperatura y humedad relativa al interior del invernadero

El control de la temperatura y de la humedad relativa se lo realizó durante 2 meses (60 días) de forma continua con ayuda de un higrómetro marca Beurer wellbwing con la finalidad de que el ambiente en el interior del invernadero sea apto para el desarrollo de las especies vegetales, detallado a continuación.

Tabla 5-3: Monitoreo de la humedad relativa y temperatura

Especies	Monitoreo	Frecuencia	VARIABLES DE CONTROL	Equipo
<i>Eichhornia crassipes</i>	2 meses (60 días) Diariamente	Mañana	Temperatura	Higrómetro
		Medio día		
<i>Elodea canadensis</i>		Tarde	Humedad relativa	

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

3.4.11 Seguimiento de las unidades experimentales

Para identificar a cada una de las unidades experimentales se procedió a etiquetar según el número de recipiente, la concentración y las iniciales de las especies vegetales.

Se dio seguimiento a las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* del comportamiento frente a las tres concentraciones de Cu (II) por el lapso de 2 meses.

Tabla 6-3: Códigos de cada una de las unidades experimentales

Especie	Código	Descripción
<i>Eichhornia crassipes</i>	R1- 10- EC	Recipiente 1, en 10 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R2- 10- EC	Recipiente 2, en 10 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R3- 10- EC	Recipiente 3, en 10 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R1- 20- EC	Recipiente 1, en 20 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R2- 20- EC	Recipiente 2, en 20 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R3- 20- EC	Recipiente 3, en 20 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R1- 30- EC	Recipiente 1, en 30 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R2- 30- EC	Recipiente 2, en 30 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
	R3- 30- EC	Recipiente 3, en 30 ppm con <i>Eichhornia crassipes</i>
<i>Elodea canadensis</i>	R1- 10- E	Recipiente 1, en 10 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R2- 10- E	Recipiente 2, en 10 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R3- 10- E	Recipiente 3, en 10 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R1- 20- E	Recipiente 1, en 20 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R2- 20- E	Recipiente 2, en 20 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R3- 20- E	Recipiente 3, en 20 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R1- 30- E	Recipiente 1, en 30 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R2- 30- E	Recipiente 2, en 30 ppm con <i>Elodea canadensis</i>
	R3- 30- E	Recipiente 3, en 30 ppm con <i>Elodea canadensis</i>

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

- **Caracterización del agua**

Se realizó los respectivos análisis de las muestras de agua en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, con la finalidad de determinar el pH, sólidos totales, conductividad eléctrica, salinidad, dureza y temperatura, mismos que fueron medidos en el quipo PC 2700 a través del método potenciométrico que se basa en la medida de la diferencia potencial con los electrodos que se hallan sumergidos en una solución, permitiendo determinar la concentración de la sustancia de manera directa .

- **Dureza**

Se colocó 25 ml de la muestra de agua en un matraz de Erlenmeyer de 50 ml con 1 ml de Cianuro de potasio, 2 ml de buffer a pH 10 y una pizca de Negro de Eriocromo, posteriormente se tituló con EDTA a 0,02 M, logrando que del color rosado pase a una tonalidad azul.

3.4.12 Cuantificación de Cu (II)

Se analizó las muestras de agua en 3 fases, al inicio de que se colocó las concentraciones iniciales, la fase 2 de análisis se realizó en el segundo periodo del tiempo establecido y la última en la fase final.

Tabla 7-3: Monitoreo de agua de las unidades experimentales

Especies	Muestreo	Tiempo	Parámetros
<i>Eichhornia crassipes</i> <i>Elodea canadensis</i>	Fase inicial	1	Sólidos totales Conductividad eléctrica
	Fase media	30	pH Dureza Temperatura
	Fase final	60	Salinidad Cobre divalente

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

- Evaluación en el laboratorio

Se utilizó un espectrofotómetro DR 2800 HACH a una longitud de onda de 560 nm para la determinación del cobre divalente de las muestras de agua de las unidades experimentales, metodología detallada a continuación.

1. Se seleccionó en el fotómetro la opción de Cu mismo que ya se encuentra programado en el equipo HACH.
2. En los tubos de 16 x 100 mm marca HACH se colocó 10 ml de la muestra de agua con ayuda de una pipeta volumétrica de 10ml.
3. En los tubos con 10 ml de la muestra de agua se adicionó el reactivo Vario Cu1 en polvo y fue necesario agitar para que se homogenice completamente en la que tomó una coloración morada.
4. En la pantalla del fotómetro se seleccionó el temporizador de tiempo y se tecleó OK, en la que mostraba un tiempo de 2 minutos para que la muestra más el reactivo se homogenice completamente.
5. En la celda marca HACH se colocó 10 ml de agua destilada con la finalidad de que el equipo se calibre.
6. Se colocó los 10 ml de la muestra de agua más el reactivo homogenizado en la celda marca HACH y cuando el temporizador sonó instantáneamente la pantalla marca 0,000 mg/L, posteriormente la muestra se ubicó en el interior del fotómetro y se seleccionó la opción iniciar, obteniéndose así los resultados de la concentración de Cu (II) en el agua.

4.1.2.3. Plan de muestreo del tejido vegetal de las especies *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Se realizó los análisis de las plantas a los 60 días del tratamiento en la que se extrajo 3 plantas de cada una de las unidades experimentales de forma manual en la que se analizó el cobre divalente en la parte aérea y radicular de las plantas.

- Evaluación en el laboratorio

Se utilizó un UV-VIS Spectrophotometer marca Thermo Scientific para determinar el Cu (II) en la biomasa vegetal a una longitud de 560 nm, metodología detallada a continuación.

1. Se separó las partes aéreas y radiculares de las plantas y se trituró en pequeños trozos y fueron colocados en recipientes de aluminio etiquetados con el código de la unidad experimental.
2. Los recipientes fueron colocados en una estufa a una temperatura de 60°C por el tiempo de 24 horas con la finalidad de que las muestras se sequen.
3. Las muestras secas fueron trituradas en un molino manual.
4. Se pesó 1 gr de la parte radicular y aérea anteriormente trituradas y se colocó en envases
5. Los envases fueron etiquetados según el número de cubeta, la concentración y las iniciales del nombre de la planta.
6. Se colocó en los recipientes 100 ml de agua destilada con 1 gr de muestra, posteriormente con ayuda de un Shaker orbital se agitaron a 200 rpm las muestras por un lapso de 24 horas con la finalidad que se mezcle.
7. Las muestras fueron filtradas con un papel filtro para separar el Líquido.
8. En los tubos de 16 x 100 mm marca HACH se colocó 10 ml de la muestra previamente filtrada con ayuda de una pipeta volumétrica de 10ml.
9. En los tubos con 10 ml de la muestra se adicionó el reactivo Vario Cu1 en polvo y fue necesario agitar para que se homogenice completamente en la que tomó una coloración morada
10. Para el UV-VIS Spectrophotometer fue necesario realizar una curva de calibración a través de estándares de 0.5 ml, 1.0 ml 1.5 ml y 2.0 ml.
11. Para preparar los estándares se realizó los respectivos cálculos en la que se tomó la solución madre 10 ml y se lo diluyó en 100 ml de agua destilada.
12. A partir de la solución obtenida se tomó 2.5 ml, 5 ml, 7.5 ml y 10 ml en 50 ml de agua destilada y se ajito para que se homogenice en su totalidad.
13. A los estándares se le añadió el reactivo Vario Cu1 en polvo y fue necesario agitar para que se homogenice completamente en la que tomó una coloración morada.
14. Se procedió a presionar el botón de encendido del UV-VIS Spectrophotometer y por ende la computadora ya que es un equipo que necesita del mismo para realizar la toma de datos.
15. En el computador se abrió el programa de UV-VIS Spectrophotometer y posteriormente se colocó en la celda con el estándar de 0.5 y se hizo clic en la opción agregar y se realizó el mismo procedimiento para los demás estándares para crear la curva de calibración.
16. Se colocó en la celda la muestra y se introdujo en el UV-VIS Spectrophotometer y en el computador se seleccionó la opción agregar y se colocó el código de las muestras y continuar automáticamente el equipo media la concentración de cobre divalente en mg/L.

3.4.13 *Determinación de la eficiencia de Eichhornia crassipes y Elodea canadensis para la remoción de Cu (II)*

Para determinar el porcentaje de absorción de cobre (II) de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* se realizó una serie de cálculos y análisis estadísticos para determinar la eficiencia de las mismas.

4.1.2.4. *Cálculo para de determinación de absorción de cobre (II) en el medio*

Para determinar el porcentaje absorción del metal pesado se realizó en tres etapas por las siguientes fórmulas:

Ecuación 3-3

$$\% \text{ Absorción Cu(II) a 30 días} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{concentración media}}{\text{Concentración inicial}} * 100$$

$$\% \text{ Absorción Cu(II) a 60 días} = \frac{\text{Concentración media} - \text{concentración final}}{\text{Concentración media}} * 100$$

Ecuación 4-3

$$\% \text{ Absorción Cu(II) Total} = \% \text{ de Absorción a 30 días} + \% \text{ de Absorción a 60 días}$$

4.1.2.5. *Calculo para la determinación del porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua para los tres tratamientos A, B y C de Elodea canadensis y Eichhornia crassipes.*

Para determinar el porcentaje de remoción del metal pesado se realizó por la siguiente fórmula:

Ecuación 5-3

$$\% R = \frac{(C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}) * 100}{C_{\text{inicial}}}$$

3.4.14 Relación de concentración del Cu (II) en la planta

4.1.2.6. Factor de translocación

Para determinar el factor translocación se realizó a través de una división de la concentración del metal en el tejido de la parte aérea entre la concentración del metal en el tejido de la parte radicular de las plantas, detallado con la siguiente ecuación.

Ecuación 6-3

$$FT_{Aérea} = \frac{\text{Concentración metal en tejido parte aérea}}{\text{Concentración metal en tejido radicular}}$$

$$FT_{Raíz} = \frac{\text{Concentración metal en tejido parte radicular}}{\text{Concentración metal en tejido parte aérea}}$$

3.4.14.1. Factor de bioacumulación

Para determinar el factor de bioacumulación se realizó a través de una división de la concentración del metal en el tejido de la parte aérea y radicular entre la concentración del Cu (II) en el agua, detallado con la siguiente ecuación.

Ecuación 7-3

$$FBA_{Aérea} = \frac{\text{Concentración metal en tejido parte aérea}}{\text{Concentración metal en agua}}$$

$$FBA_{Raíz} = \frac{\text{Concentración metal en tejido parte radicular}}{\text{Concentración metal en agua}}$$

4.1.2.7. Clasificación de la planta en relación al factor de translocación y bioacumulación

Es considerada una planta hiperacumuladora de cobre cuando la concentración absorbida sea mayor a 1.000 mg K⁻¹, posteriormente se detalla los valores según el factor de translocación y bioacumulación.

- Factor de translocación

Cuando el factor de translocación sea mayor > 1 la planta transporta eficazmente el metal desde la raíz a un órgano de la planta, conllevando a hacer una hiperacumuladora en la parte aérea. Si el factor de translocación es menor < 1 la planta no transporta eficazmente el metal desde la raíz a un órgano de la planta, conllevando a fitoestabilizar.

- Factor de bioacumulación aérea y radicular en la planta

FBA en la parte aérea o radicular sea < 1 la planta es excluyente

FBA en la parte aérea o radicular sea > 1 pero < 10 la planta es acumuladora

FBA en la parte aérea o radicular sea > 10 la planta es hiperacumuladora de metales pesados

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 *Seguimiento de los cambios aparentes en Eichhornia crassipes y Elodea canadensis*

La *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* son consideradas como especies de fácil y rápida adaptación, es por ello que se llevó a cabo un proceso de adaptación de 3 semanas bajo condiciones específicas al interior del invernadero, a una humedad relativa y temperatura controlada, en la que se no se observó ningún cambio físico en las plantas durante la etapa mencionada. Los cambios físicos como la contextura de la planta, el color del tallo, hojas y raíz se evidenciaron una vez que entro en contacto la planta con el cobre (II) a diferentes concentraciones durante la etapa experimental.

- Necrosis

Se presentaron cambios y daños físicos en las plantas de *Eichhornia crassipes* desde la segunda semana de haber agregado las diferentes concentraciones de cobre (II) en los tres tratamientos presentando características de una pre necrosis, como es el amarillamiento pre necrótico de las hojas y tallos, signo característico del daño a la clorofila de los tejidos verdes y marchitez debido a que el cobre (II) afectó al tejido radicular, aparecimiento de líneas y manchas negras en las hojas durante la etapa intermedia del tiempo establecido para la experimentación, las plantas que mayor afectaciones presentaban era del tratamiento C en comparación con los dos tratamientos restantes. A los 30 días la *Elodea canadensis* presentó una tonalidad verde pálido, sus hojas y sus tallos se tornaron quebradizas hasta el final de los 60 días en todas las unidades experimentales, lo antes mencionado se detalla a continuación.

Tabla 1-4: Pre Necrosis de *Elodea Canadensis*

PRE- NECROSIS <i>Elodea canadensis</i>														
Tratamiento A (10 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
0,4					0,6					0,2				
Tratamiento B (20 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0
0,6					0,4					0,6				
Tratamiento C (30 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
0,6					0,8					0,8				

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 4-4: Pre- Necrosis de *Eichhornia crassipes*

PRE- NECROSIS <i>Eichhornia crassipes</i>														
Tratamiento A (10 ppm)														
R1EC					R2EC					R3EC				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
0,8					0,6					0,4				
Tratamiento B (20 ppm)														
R1EC					R2EC					R3EC				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
0,6					0,6					0,6				
Tratamiento C (30 ppm)														
R1EC					R2EC					R3EC				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
0,6					0,8					0,8				

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Se muestra a continuación las gráficas de la presencia de pre necrosis en *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* en la etapa final del tratamiento.

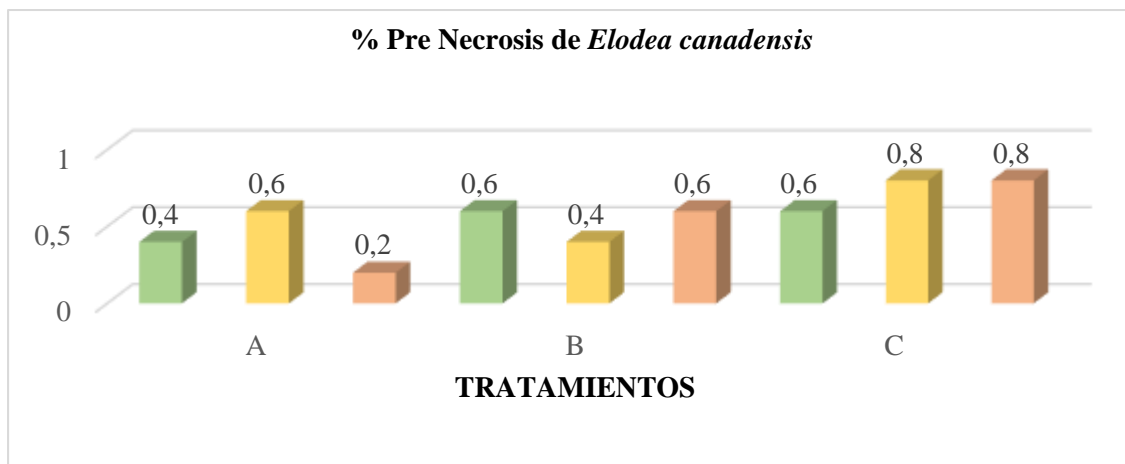


Ilustración 1-4: Presencia de pre necrosis en *Elodea canadensis*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

La figura 1-4 evidencia el porcentaje de pre necrosis que presentó en la etapa final la *Elodea canadensis* por columnas según el tratamiento A, B y C, siendo el tratamiento C que mayor porcentaje de pre necrosis presentó en comparación al tratamiento A y B que indica que el 20% y el 30% tuvo afectaciones menores.

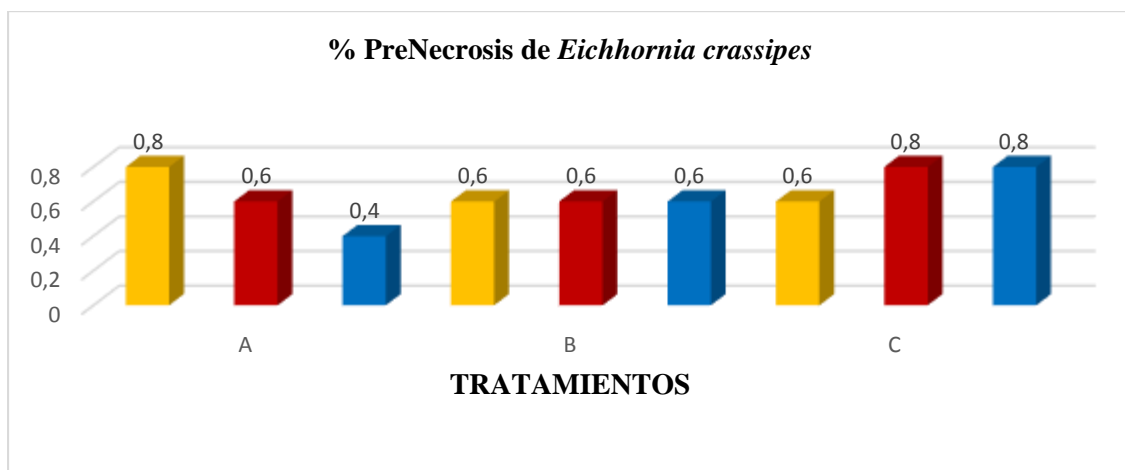


Ilustración 2-4: Presencia de pre necrosis en *Eichhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

La figura 2-4: evidencia el porcentaje de pre necrosis que presentó en la etapa final la *Eichhornia crassipes* por columnas según el tratamiento A, B y C, en la que indica que el 50% del tratamiento C tuvo mayor afectación de pre necrosis, a diferencia del tratamiento B que tuvo menor afectación en comparación con el tratamiento A y C.

Tabla 5-4: Necrosis de *Elodea canadensis*

NECROSIS <i>Elodea canadensis</i>														
Tratamiento A (10 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0,2					0,2					0,2				
Tratamiento B (20 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
0,2					0,2					0,4				
Tratamiento C (30 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
0,4					0,2					0,4				

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 6-4: Necrosis de *Eichhornia crassipes*

NECROSIS <i>Eichhornia crassipes</i>														
Tratamiento A (10 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0,2					0,2					0,4				
Tratamiento B (20 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
0,4					0,4					0,4				
Tratamiento C (30 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
0,4					0,4					0,6				

Fuente: Herrera, 2022.

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Se muestra a continuación las gráficas de la presencia de necrosis en *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* en la etapa final del tratamiento.

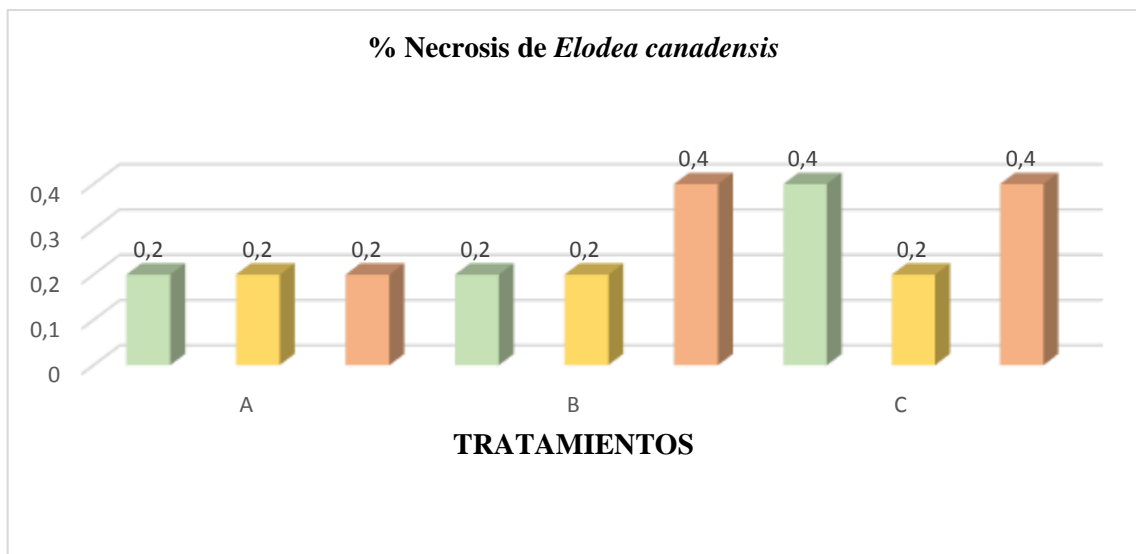


Ilustración 3-4: Presencia de necrosis en *Elodea canadensis*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

La figura 3-4: evidencia el porcentaje de necrosis que presentó en la etapa final la *Elodea canadensis* por columnas según el tratamiento A, B y C, en la que indica que el tratamiento C tuvo mayor afectación en sus propiedades físicas de la planta, a diferencia del tratamiento A que tuvo menor afectación mismos que estaba expuesto a concentraciones bajas de Cu (II) en comparación con el tratamiento B.

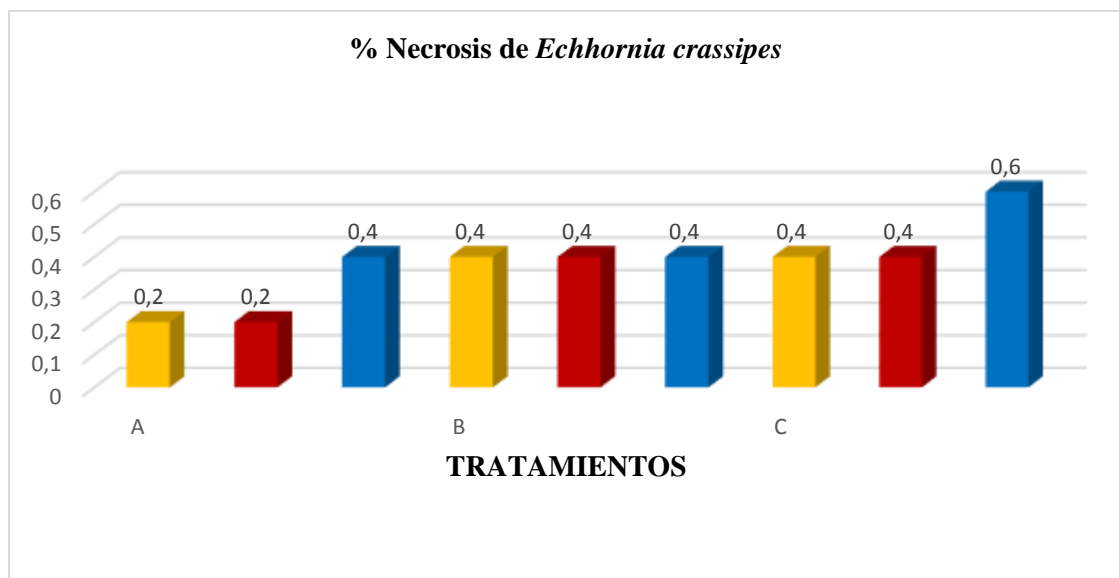


Ilustración 4-4: Presencia de necrosis en *Eichhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

La figura 4-4: evidencia el porcentaje de necrosis que presentó en la etapa final la *Eichhornia crassipes* por columnas según el tratamiento A, B y C, en la que indica que el 55% del tratamiento C tuvo mayor afectación y alteraciones en sus propiedades físicas de las plantas, ya que el mismo fue expuesto a una concentración de 30 ppm, a diferencia del tratamiento A que tuvo menor afectación en un porcentaje del 30% en comparación con el tratamiento B.

- Vigorosidad

Tabla 7-4: Vigorosidad de *Elodea canadensis*

VIGOROSIDAD DE <i>Elodea canadensis</i>														
Tratamiento A (10 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
2	3	2	1	2	1	2	1	3	2	2	3	3	2	2
Tratamiento B (20 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2
Tratamiento C (30 ppm)														
R1E					R2E					R3E				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Se muestra a continuación las gráficas del porcentaje de vigorosidad en *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* en la etapa final del tratamiento.

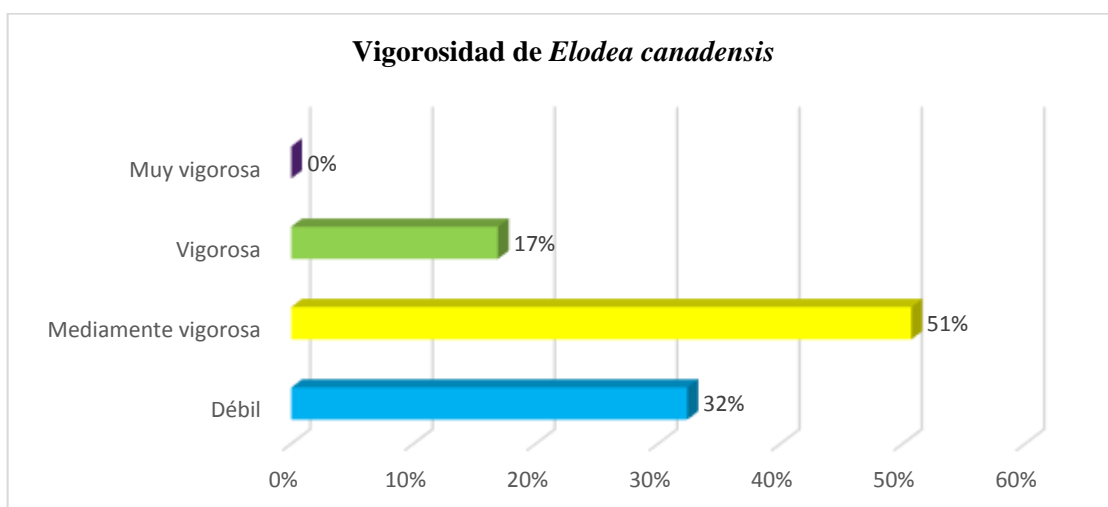


Ilustración 5-4: Vigorosidad en *Elodea canadensis*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

Para determinar el porcentaje de la vigorosidad de las plantas se realizó una suma de cada uno de los parámetros que determinan la vigorosidad y se le dividió para el resultado multiplicado por el porcentaje, en la figura 5-4 se evidencia que el 32% de las especies vegetales de *Elodea canadensis* se encontraban débiles, el 51% medianamente vigorosas, el 17% de las plantas eran vigorosas y el 0% indica que en ninguno de los tres tratamientos presentó una especie muy vigorosa debido a las concentraciones de cobre (II) presentes en el agua.

Tabla 8-4: Vigorosidad de *Eichhornia crassipes*

VIGOROSIDAD DE <i>Eichhornia crassipes</i>														
Tratamiento A (10 ppm)														
R1EC					R2EC					R3EC				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
3	2	2	3	2	2	1	1	2	3	2	3	2	3	3
Tratamiento B (20 ppm)														
R1EC					R2EC					R3EC				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1
Tratamiento C (30 ppm)														
R1EC					R2EC					R3EC				
P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

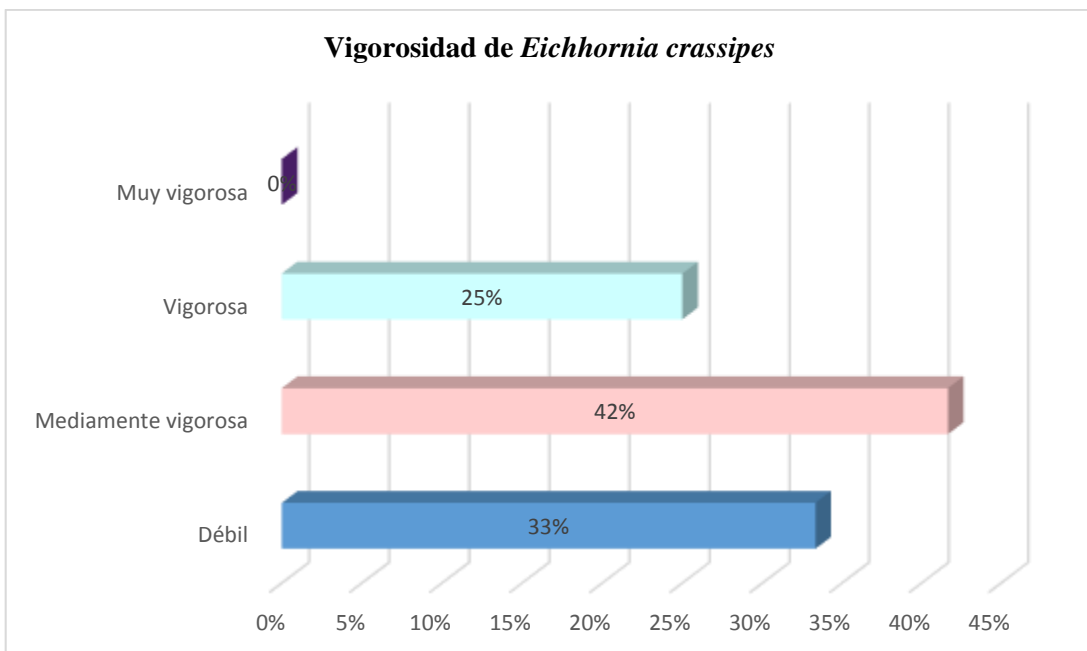


Figura 6-4 Vigorosidad en *Eichhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 6-4 se evidencia que el 33% de las especies vegetales de *Eichhornia crassipes* se encontraban débiles, presenciándose con más frecuencia en el tratamiento C, el 42% medianamente vigorosas, el 25% de las plantas eran vigorosas y el 0% indica que en ninguno de los tratamientos A, B y C presentó una especie muy vigorosa, debido a las concentraciones altas de cobre (II) que fueron sometidas en las unidades experimentales.

- Longitudes de las especies de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Para determinar las longitudes de los tallos de la *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* se realizó en dos fases: la primera al comienzo de la etapa experimental antes de colocarles en las piscinas y la segunda en la etapa final del experimento, detallado a continuación en la tabla 17-4, en la que indica que la *Eichhornia crassipes* en el tratamiento A tuvo mayor ganancia en longitud en los tallos con 2,5 cm, en comparación con la *Elodea canadensis* que no tuvo una mayor ganancia de longitud en los tratamientos A, B y C.

Tabla 9-4: Longitud ganada de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Tratamiento Longitudes	Especie	Etapa inicial	Etapa final	Longitud ganada (cm)
A (10 ppm)	<i>Elodea canadensis</i>	81,4	82,4	1,0
B (20ppm)		94	95	1,0
C (30 ppm)		86	86,9	0,9
A (10 ppm)	<i>Eichhornia crassipes</i>	69	71,5	2,5
B (20ppm)		72,1	74,2	2,1
C (30 ppm)		67,1	68,8	1,7

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

- Nuevos brotes de raíces de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Para determinar el número de las raíces de la *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis* se realizó en dos etapas: la primera al comienzo de la etapa experimental antes de colocarles en las piscinas y la segunda en la etapa final del experimento, detallado a continuación en la tabla 18-3, en la que indica que la *Eichhornia crassipes* en el tratamiento A tuvo mayor brotes de nuevas raíces, específicamente siendo 20 raíces, en comparación del tratamiento C que el promedio de raíces nuevas fue de 10. En el caso de la *Elodea canadensis* el promedio de nuevas raíces fue en el tratamiento A con un valor de 1, siendo que el tratamiento B y C no existió ningún brote de nuevas raíces debido a la exposición de concentraciones diferentes de cobre (II) y a la fragilidad en la que se encontraban.

Tabla 10-4: Promedio de nuevos brotes de raíces en *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Tratamiento Nuevas raíces	Especie	Etapas inicial	Etapas final	Promedio de raíces nuevas
A (10 ppm)	<i>Elodea canadensis</i>	92	93	1,0
B (20ppm)		87,0	87	0,0
C (30 ppm)		83	83	0,0
A (10 ppm)	<i>Eichhornia crassipes</i>	279	299	20,0
B (20ppm)		358	373	15
C (30 ppm)		360	370	10

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

4.1.2 Variables de control

4.1.2.8. Monitoreo de la temperatura y la humedad relativa al interior del invernadero

Para determinar los °C de la temperatura se lo realizó a través de un higrómetro monitoreado tres veces al día, detallados a continuación en la tabla 19-4.

Tabla 11-4: Monitoreo de temperatura al interior del invernadero

Fecha control	Mañana	Medio día	Noche
30/05/2022	20,3	25,2	20,3
31/05/2022	20,6	22,8	19,1
01/06/2022	32,3	26,9	20,4
02/06/2022	23,7	27	21,2
03/06/2022	22,2	25,4	21,8
04/06/2022	21,8	24,6	19,3
05/06/2022	21,9	26,2	23,6
06/06/2022	20,7	24,9	22,5
07/06/2022	23,5	23,5	23,4
08/06/2022	23,5	24,8	20,9
09/06/2022	22,6	25,6	19,7
10/06/2022	24,2	26,1	20
11/06/2022	21,3	23,6	20,1
12/06/2022	24,1	21,6	22,1
13/06/2022	22,4	23,2	21,6
14/06/2022	21,9	25,6	21,5
15/06/2022	22,8	25,9	22,4
16/06/2022	21,5	27,2	19,4
17/06/2022	24,3	26,2	18,5
18/06/2022	23,5	23,5	23,4
19/06/2022	24,2	24,9	21,0
20/06/2022	22,6	27,3	19,0
21/06/2022	23,9	26,9	22,5
22/06/2022	27,3	23,6	21,8
23/06/2022	23,6	28,6	20,9
24/06/2022	21,4	30,2	19,4
25/06/2022	23,2	27,4	20,8
26/06/2022	25,8	25,6	22,3
27/06/2022	24,9	28,2	23,0
28/06/2022	22,7	27,9	22,5
29/06/2022	21,5	26,5	23,3
30/06/2022	24,5	25,8	18,9
01/07/2022	23,6	27,6	20,7
02/07/2022	25,2	24,1	19,5
03/07/2022	23,9	26,5	21,4
04/07/2022	24,5	27,9	21,5
05/07/2022	22,8	26,3	19,9

06/07/2022	23,3	26,2	19,5
07/07/2022	25,5	28,5	21,4
08/07/2022	25,2	26,9	22,9
09/07/2022	22,6	27,8	19,6
10/07/2022	26,5	26,9	22,5
11/07/2022	25,3	25,6	21,8
12/07/2022	26,6	31,5	20,6
13/07/2022	23,4	29,2	19,3
14/07/2022	24,0	26,4	21,8
15/07/2022	23,2	27,1	19,7
16/07/2022	23,1	25,5	22,4
17/07/2022	25,6	27,9	21,8
18/07/2022	24,8	28,3	18,9
19/07/2022	21,3	28,9	19,8
20/07/2022	22,5	32,5	22,4
21/07/2022	25,2	27,9	21,0
22/07/2022	24,6	31,8	18,6
23/07/2022	22,7	29,9	21,5
24/07/2022	24,5	26,5	23,0
25/07/2022	23,1	25,8	20,0
26/07/2022	24,6	27,6	18,7
27/07/2022	25,2	27,1	20,7
28/07/2022	26,3	29,6	21,1
29/07/2022	25,1	31,6	20,9
30/07/2022	22,4	27,2	19,6

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Se muestra a continuación la gráfica de la temperatura al interior del invernadero.

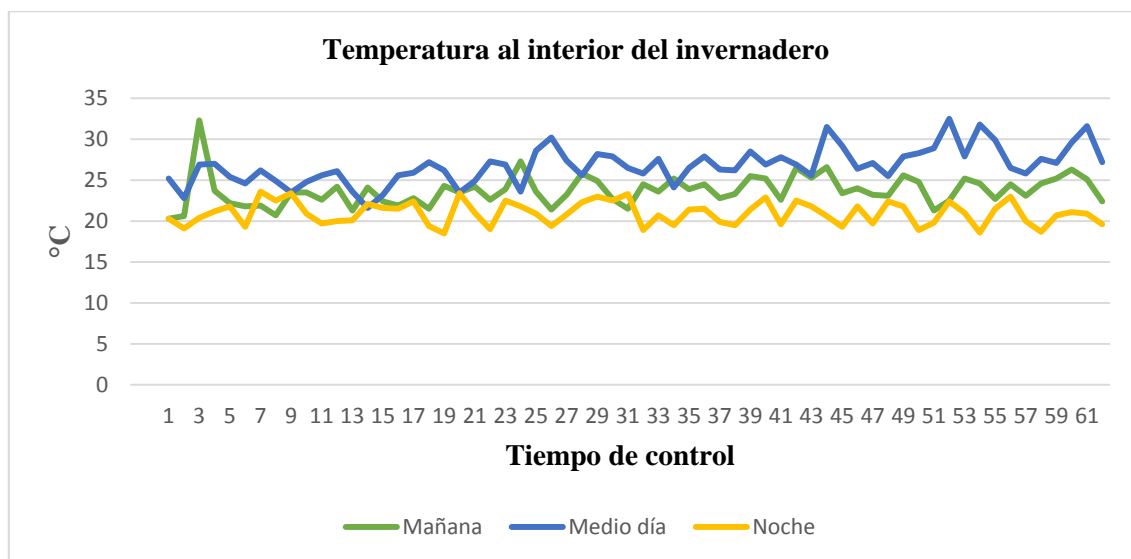


Ilustración 7-4: Temperatura al interior del invernadero.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 7-4 evidencia las variaciones de temperatura en la parte interna del invernadero durante la etapa experimental, mismas que fueron monitoreadas en la mañana, media tarde y noche con ayuda de un higrómetro, denotando que en ciertos días se produjo bajas temperaturas consecuencia de elevadas precipitaciones, presenciando así también las altas temperaturas que se evidenciaron con frecuencia en la media tarde, pero no sobrepasaban de los rangos necesarios para el desarrollo eficiente de las especies *Eichhornia crassipes* y *Eloдея canadensis*, ya que en el invernadero contaba de dos ventanas en la que permitía el paso de aire fresco disminuyendo así las temperaturas al interior del invernadero.

El control de la humedad relativa se lo realizó en la mañana, media tarde y noche con ayuda de un higrómetro, detalladamente en la tabla 20-4 siguiente.

Tabla 12-4: Control de la humedad relativa en el interior del invernadero

Fecha control	Mañana	Medio día	Noche
30/05/2022	56	57	54
31/05/2022	59	62	57
01/06/2022	65	67	62
02/06/2022	48	54	51
03/06/2022	56	57	54
04/06/2022	49	53	50
05/06/2022	53	59	55
06/06/2022	65	56	51
07/06/2022	69	63	59
08/06/2022	57	65	64
09/06/2022	62	69	66
10/06/2022	67	62	59
11/06/2022	63	67	63
12/06/2022	57	55	52
13/06/2022	53	56	55
14/06/2022	59	58	53
15/06/2022	65	69	67
16/06/2022	63	60	57
17/06/2022	67	62	61
18/06/2022	69	62	61
19/06/2022	62	65	62
20/06/2022	64	55	52
21/06/2022	59	56	53
22/06/2022	66	59	55
23/06/2022	64	53	49
24/06/2022	68	56	52
25/06/2022	58	54	52
26/06/2022	63	53	51
27/06/2022	67	65	63
28/06/2022	55	69	65
29/06/2022	56	57	56
30/06/2022	58	62	60

01/07/2022	65	67	65
02/07/2022	63	67	64
03/07/2022	67	55	54
04/07/2022	62	56	54
05/07/2022	66	58	56
06/07/2022	60	65	63
07/07/2022	64	69	64
08/07/2022	67	62	59
09/07/2022	57	64	62
10/07/2022	62	59	58
11/07/2022	68	66	64
12/07/2022	65	64	62
13/07/2022	56	58	56
14/07/2022	59	62	58
15/07/2022	62	65	61
16/07/2022	60	53	51
17/07/2022	67	56	53
18/07/2022	62	57	54
19/07/2022	57	53	51
20/07/2022	53	65	63
21/07/2022	57	69	65
22/07/2022	59	57	53
23/07/2022	64	58	57
24/07/2022	68	56	54
25/07/2022	61	69	66
26/07/2022	65	53	51
27/07/2022	67	60	57
28/07/2022	70	67	64
29/07/2022	68	62	60
30/07/2022	63	57	55

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Se muestra a continuación la gráfica de la humedad relativa al interior del invernadero.

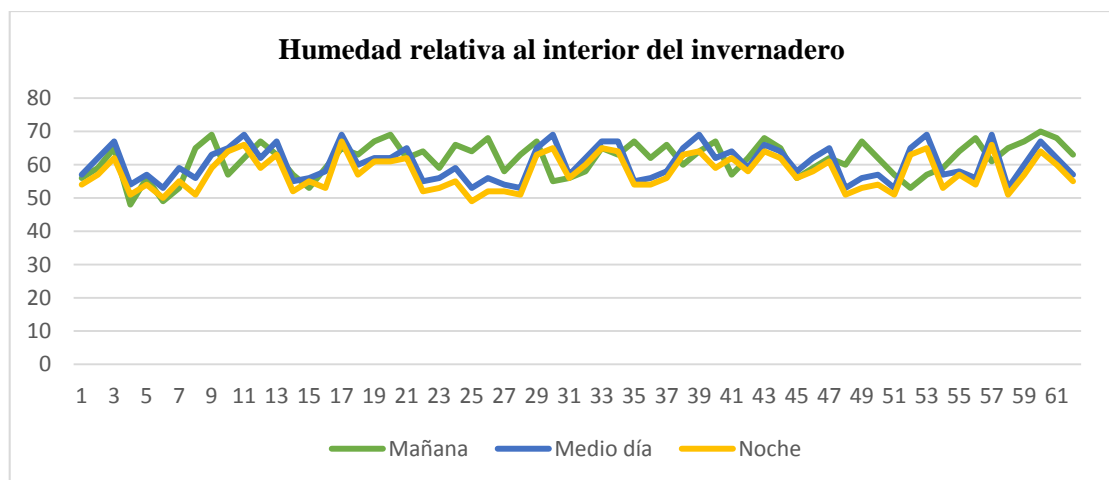


Ilustración 8-4: Humedad relativa al interior del invernadero.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022

En la figura 8-4 evidencia la humedad relativa presentada durante la etapa experimental monitoreada en la mañana, tarde y noche, misma que fue apta y se encontraba por los rangos en que las plantas necesitaban, decir entre los 50 % a 70 %. Para que permaneciera húmedo se regaba por todo el invernadero agua cada tres días para que mantuviera la humedad requerida y no se elevara a rangos que pueda afectar a las condiciones de las plantas.

4.1.3 Seguimiento a las unidades experimentales

4.1.3.1. Caracterización del agua

Tabla 13-4: Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua de fuente de San Luis sin presencia de cobre (II)

Parámetros Tratamientos	A	B	C
Conductividad eléctrica	1,258 $\mu\text{s/cm}$	1,258 $\mu\text{s/cm}$	1,258 $\mu\text{s/cm}$
Sólidos Disueltos	761,8 mg/L	761,8 mg/L	761,8 mg/L
pH	7,47	7,49	7,45
Temperatura	25 °C	25 °C	25 °C
Salinidad	1,442 mg/L	1,442 mg/L	1,442 mg/L
Dureza	360 mg/L	360 mg/L	360 mg/L

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 11-4 indica que la conductividad eléctrica de 1,258 $\mu\text{s/cm}$, la salinidad 1,442 mg/L y los sólidos totales de 761,8 mg/L se encontraban por niveles aceptables, en la que representa un gran ejemplo de agua salobre, por el motivo que es un agua originaria de aguas subterráneas. El pH obtenido se encontraba por los límites necesarios para el desarrollo adecuado de las especies de *Eichhornia crassipes* y *Elodea canadensis*, el agua proveniente de la fuente se consideró como un agua dura ya que presentaba un valor de 360 mg/L, misma que no afectaba al desempeño de las especies.

Tabla 14-4: Caracterización fisicoquímico inicial del agua con presencia de cobre (II) en *Elodea canadensis*

Parámetros Tratamientos	A			B			C		
	RE1	R2E	RE3	RE1	R2E	RE3	RE1	R2E	RE3
Sólidos disueltos (mg/L)	900	1 252	1 374	1 172	1 634	1 026	834	1 153	1 360
Conductividad (µs/cm)	1 287	1 716	1 854	1 674	2 608	1 886	1 191	1 565	1 972
pH	8,59	8,47	8,30	8,70	8,42	8,44	8,59	8,41	8,38
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Dureza mg/L	284	320	325	321	324,8	360	280	296	368
Salinidad (mg/L)	1 192	1 141	893	871	966	996	919	901	923

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 15-4: Caracterización fisicoquímico media del agua con presencia de cobre (II) en *Elodea canadensis*

Parámetros Tratamientos	A			B			C		
	RE1	R2E	RE3	RE1	R2E	RE3	RE1	R2E	RE3
Solidos Disueltos (ppm)	850	1 131	952	1 114	1 227	1 797	856	815	1 224
Conductividad (µs/cm)	1 215	1 678	1 361	1 592	1 791	1 037	1 124	1 165	1 762
pH	9	8,53	8,97	8,08	8,39	8,39	8,11	8,31	8,24
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Dureza	304	328	384	312	376	384	369	375	379
Salinidad (ppm)	871	971	921	928	841	951	974	887	911

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 16-4: Caracterización fisicoquímico final del agua con presencia de cobre (II) en *Elodea canadensis*

Parámetros Tratamientos	A			B			C		
	RE1	R2E	RE3	RE1	R2E	RE3	RE1	R2E	RE3
Solidos Totales (ppm)	847	950	945	942	1 143	712	770	838	922
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1 210	1 158	1 347	1 536	1 642	1 018	1 110	1 198	1 109
pH	8,5	8,23	8,67	7,98	8,25	9,9	8,10	8,25	8,26
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Dureza	301	325	379	315	377	382	374	372	381
Salinidad (ppm)	820	983	925	917	836	932	826	824	921

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Se realizó los respectivos análisis de agua en la etapa inicial, media y final de la parte experimental de cada una de las unidades experimentales correspondientes a la *Elodea canadensis*, como se evidencia en las tablas 12-4, 13-4 y 14-4, en la que indica los valores de cada uno de los parámetros, mostrando que se encontraban por los rangos necesarios para que las plantas pudiesen adaptarse, desarrollarse y realizar el proceso de remoción de cobre (II) con todas las condiciones necesarias.

Tabla 17-4: Caracterización fisicoquímico inicial del agua con presencia de cobre (II) en *Eichhornia crassipes*

Parámetros Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Solidos Disueltos (ppm)	2 669	1 057	892	1 339	990	919	1 031	1 103	872
Conductividad (µs/cm)	1 440	1 357	1 275	1 833	1 339	1 513	1 231	1 268	1 247
pH	8,33	8,47	8,45	8,50	8,25	8,42	8,41	8,38	8,35
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Dureza	256	320	352	264	336	368	296	352	376
Salinidad (ppm)	839	759	972	972	837	960	950	708	719

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 18-4: Caracterización fisicoquímico media del agua con presencia de cobre (II) en *Eichhornia crassipes*

Parámetros Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Solidos Disueltos (ppm)	1 147	926	886	1 218	895	786	788	744	894
Conductividad (µs/cm)	1 634	1 324	1 238	1 721	1 279	1 124	1 127	1 107	1 278
pH	9,26	9,14	8,88	9,24	8,97	9,03	9,04	8,99	8,92
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Dureza	325	318	345	364	329	359	326	345	373
Salinidad (ppm)	817	841	951	821	932	897	835	713	721

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 19-4: Caracterización fisicoquímico final del agua con presencia de cobre (II) en *Eichhornia crassipes*

Parámetros Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Sólidos Totales (ppm)	881	954	863	1 850	991	881	887	800	793
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1 231	1 364	1 243	1 215	1 417	1 259	1 253	1 143	1 134
pH	9,25	9,17	8,71	9,31	8,87	9	9,07	9	8,85
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Dureza	323	321	348	361	322	361	334	342	375
Salinidad (ppm)	812	874	957	818	932	843	825	810	715

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Para la obtención de los datos del análisis de agua se realizó en la etapa inicial, media y final de la parte experimental de cada una de las unidades experimentales correspondientes a la *Eichhornia crassipes*, como se evidencia en las tablas 15-4, 16-4 y 17-4, en la que indica los valores de cada uno de los parámetros, mostrando que se encontraban por los rangos necesarios para que las plantas pudiesen adaptarse, desarrollarse y realizar eficientemente el proceso de remoción de cobre (II) con todas las condiciones necesarias.

4.1.4 Cuantificación de cobre (II)

4.1.4.1. Caracterización de cobre (II) en las muestras de agua y en el tejido vegetal de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes*

Para determinar las concentraciones del cobre (II) en el agua se realizó en la etapa inicial, media y final de la parte experimental, visualizada en la tabla 18-4 siguiente.

Tabla 18-4: Concentraciones de cobre (II) en agua de los tratamientos A, B y C de *Elodea canadensis*

Concentración Tratamientos	A			B			C		
	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3
Inicial	10	10	10	20	20	20	30	30	30
Media	8,71	8,58	8,69	18,71	18,68	18,72	29,09	28,6	28,75
Final	8,19	7,85	8,34	18,42	18,35	18,4	28,81	28,60	28,47

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 20-4: Promedios de las concentraciones de cobre (II) en agua de los tratamientos A, B y C de *Elodea canadensis*

Promedios Tratamientos	A			B			C		
	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3
Etapa inicial	10			20			30		
Etapa media	8,66			18,70			28,86		
Etapa final	8,13			18,39			28,63		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 19-4 evidencia los promedios iniciales, medios y finales de las concentraciones de cobre (II), en la que en el tratamiento A, B y C tienen una reducción de cobre (II) a partir de las concentraciones iniciales añadidas, producto de que las *Elodea canadensis* han absorbido parte del metal pesado.

Tabla 21-4: Concentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de *Elodea canadensis*

Concentración Tratamientos	A			B			C		
	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3
Parte aérea	1,29	1,42	1,31	1,29	1,32	1,28	0,91	1,25	1,25
Parte radicular	0,52	0,73	0,35	0,29	0,33	0,32	0,29	0,26	0,28

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 22-4: Promedios de concentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de *Elodea canadensis*

Promedios Tratamientos	A			B			C		
	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3	RE1	RE2	RE3
Parte aérea	1,34			1,30			1,14		
Parte radicular	0,53			0,31			0,28		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 21-4 indica los promedios de las concentraciones de cobre (II) absorbidas por la *Elodea canadensis*, evidenciando que en el tratamiento A la concentración del metal en el tejido vegetal es de 1,34 a diferencia de los tratamientos B y C que la concentración en la masa vegetal es de 0,31 y 0,28 en la parte aérea de la planta, en la parte radicular el tratamiento B fue el que menor concentración de cobre (II) en la masa vegetal presentó con un valor de 0,28.

Tabla 23-4: Concentraciones de cobre (II) en agua de las unidades experimentales de *Eichhornia crassipes*

Concentración Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Inicial	10	10	10	20	20	20	30	30	30
Media	8,98	8,71	9,25	17,87	19,3	19,17	28,48	29,28	28,34
Final	8,2	7,58	8,52	16,4	17,81	18,28	27,23	28,25	26,85

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 24-4: Promedios de las concentraciones de cobre (II) en agua de las unidades experimentales de *Eichhornia crassipes*

Promedios Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Etapa inicial	10			20			30		
Etapa media	8,98			18,78			28,70		
Etapa final	8,10			17,50			27,44		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 23-4 indica los promedios iniciales, medios y finales de las concentraciones de cobre (II), en la que en los tratamientos A, B y C, muestran una reducción del metal pesado a partir de las concentraciones iniciales añadidas de 10 ppm, 20 ppm y 30ppm, producto de que las *Eichhornia crassipes* han absorbido parte del metal pesado.

Tabla 25-4: Concentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de *Eichhornia crassipes*

Concentración Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Parte aérea	1,02	1,29	0,75	2,13	0,70	0,83	1,52	0,72	1,66
Parte radicular	0,78	1,13	0,73	1,47	1,49	0,89	1,25	1,03	1,49

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 26-4: Promedios de las concentraciones de cobre (II) en el tejido vegetal de *Eichhornia crassipes*

Promedios Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Parte aérea	1,02			1,22			1,30		
Parte radicular	0,88			1,28			1,26		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 25-4 muestra los promedios de las concentraciones de cobre (II) absorbidas por la *Eichhornia crassipes* en la masa vegetal, evidenciando que en el tratamiento C la concentración del metal en el tejido vegetal es de 1,30 a diferencia de los tratamientos A y B que la concentración en la masa vegetal es de 1,02 y 1,22 en la parte aérea de la planta, en la parte radicular el tratamiento A fue el que menor concentración de cobre (II) en la masa vegetal presentó con un valor de 0,88.

4.1.4.2. Análisis de varianza (ANOVA) a las concentraciones de cobre (II) en agua de las unidades experimentales de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes*

Para determinar el ANOVA se tomó en consideración las concentraciones iniciales, intermedias y finales de las unidades experimentales de los tres tratamientos, detalladas en las tablas 26-4 y 27-4.

Tabla 27-4: ANOVA a los tres tratamientos de cobre (II) en agua con *Elodea canadensis*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	614,08	2	307,04	419,30	0,0000004
Error	4,39	6	0,73		
Total	618,48	8			

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En las unidades experimentales de los tres tratamientos A, B y C se aplicó el análisis de varianza como se muestra en la tabla 36-4, proporcionando como resultado un $F= 419,30$ a un nivel de confianza del 95%. Señalando que el valor de la probabilidad es menor al alfa $P= 0,0000004 < 0,05$, es decir que, los tres tratamientos sometidos a concentraciones diferentes de cobre (II) evidencian diferencias significativas entre sí estadísticamente.

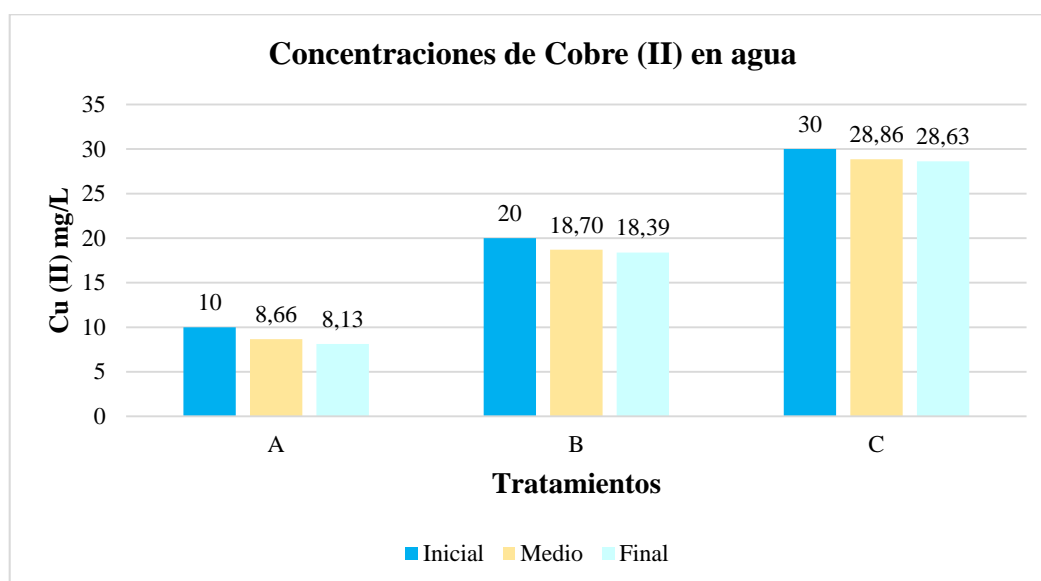


Ilustración 9-4: Concentraciones de cobre (II) en agua de *Elodea canadensis*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 9-4 evidencia las diferentes concentraciones de cobre (II) de los tres tratamientos durante la etapa de la experimentación, siendo que en el tratamiento A tuvo una disminución del 1,87 mg/L, el tratamiento B con una reducción del 1,61 mg/L y del tratamiento C que se redujo a un valor de 1,37 mg/L.

Tabla 28-4: ANOVA a los tres tratamientos de cobre (II) en agua con *Echhornia crassipes*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	581,37	2	290,69	212,41	0,000003
Error	8,21	6	1,37		
Total	589,58	8			

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En las unidades experimentales de los tres tratamientos A, B y C se aplicó el análisis de varianza dando como resultado un $F = 212,41$ a un nivel de confianza del 95%. Señalando que el valor de la probabilidad es menor al valor del alfa $P = 2,7E-06 < 0,05$, es decir, que los tres tratamientos sometidos a concentraciones diferentes de cobre (II) evidencian diferencias significativas entre sí estadísticamente.

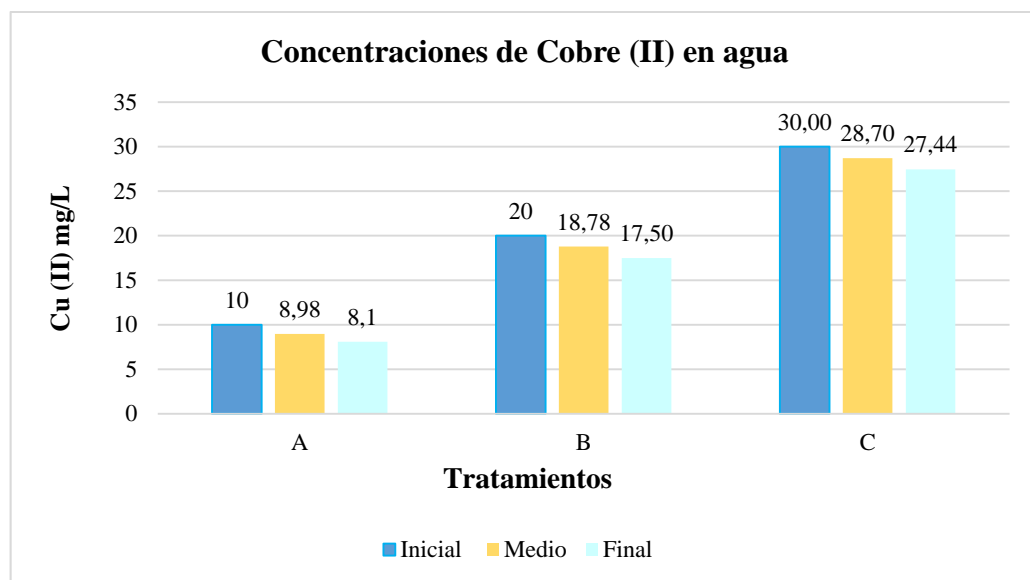


Ilustración 10-4: Concentraciones de cobre (II) en agua *Echhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 10-4 evidencia las diferentes concentraciones de cobre (II) de los tres tratamientos durante la etapa de la experimentación, indicando que en el tratamiento A tuvo una disminución de alrededor de 2 mg/L, el tratamiento B con una reducción del 2,50 mg/L y del tratamiento C que se redujo a un valor de 2,56 mg/L.

4.1.4.3. Determinación de la eficiencia de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* cultivada en piscinas para fitorremediar cobre (II)

Con los resultados de los análisis de las muestras de agua obtenidas en dos etapas de 30 días y 60 días, se logró determinar el porcentaje de la concentración de cobre (II) misma que fueron removidas a través de la absorción de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* en los tratamientos A, B y C.

En las siguientes tablas 28-4 y 29-4 se evidencian los porcentajes de absorción de Cu (II) de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* reemplazando las fórmulas expresadas previamente en las ecuaciones 3-3 y 4-3.

Tabla 28-4: Porcentaje de absorción de las concentraciones de Cu (II) en agua por medio de *Elodea canadensis*.

% Absorción Tratamiento	A (10 ppm)	B (20 ppm)	C (30 ppm)
% de absorción de Cu (II) a 30 días	13,40	6,48	3,79
% de absorción de Cu (II) a 60 días	6,16	1,68	0,82
% de absorción total de Cu (II)	19,56	8,16	4,61

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022

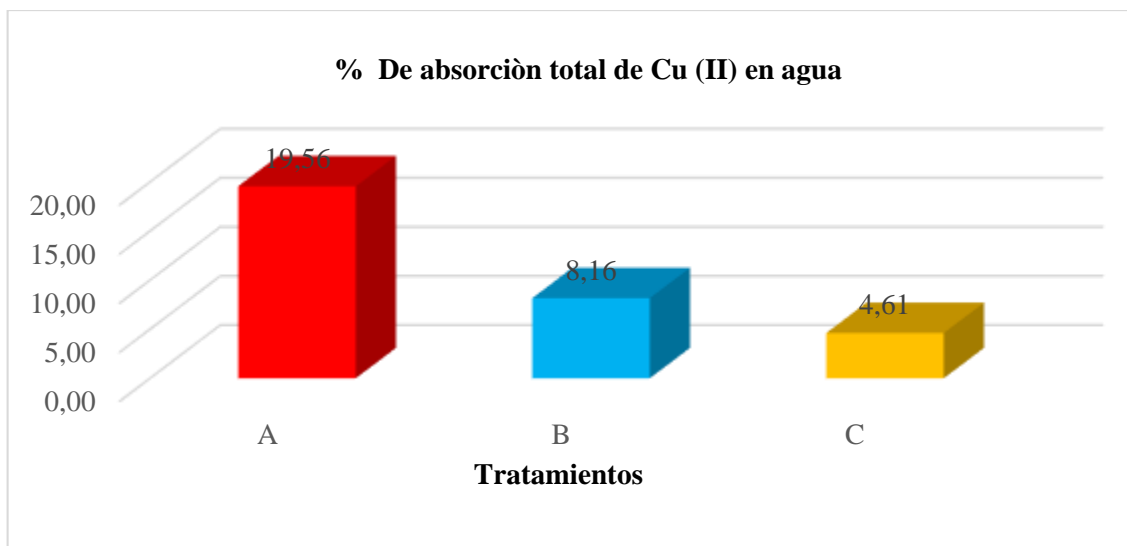


Ilustración 11-4: Porcentaje total absorbido de Cu (II) en agua a través de *Elodea canadensis*

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 21-4 indica el porcentaje total de absorción de cobre (II) en la que demuestra la eficiencia de fitorremediación que presentó la *Elodea canadensis* para la remoción del contaminante de las tres unidades experimentales a diferentes concentraciones, en la que en el tratamiento A mostró una absorción del 19,56 % a una concentración de 10 ppm, en el tratamiento B el 8,16 % a una concentración de 20 ppm y en el tratamiento C el 4,61 % a una concentración de 30 ppm, dando a conocer que la mayor absorción se dio en el tratamiento A y B siendo estas con menor concentración a diferencia del tratamiento C que fue la de mayor concentración y la que menor absorción presentó.

Tabla 29-4: Porcentaje de absorción de las concentraciones de Cu (II) en agua por medio de *Echhiornia crassipes*

% Absorción Tratamiento	A (10 ppm)	B (20 ppm)	C (30 ppm)
% de absorción de Cu (II) a 30 días	19,20	6,10	4,33
% de absorción de Cu (II) a 60 días	9,80	6,83	4,38
% de absorción total de Cu (II)	20,00	12,93	8,71

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

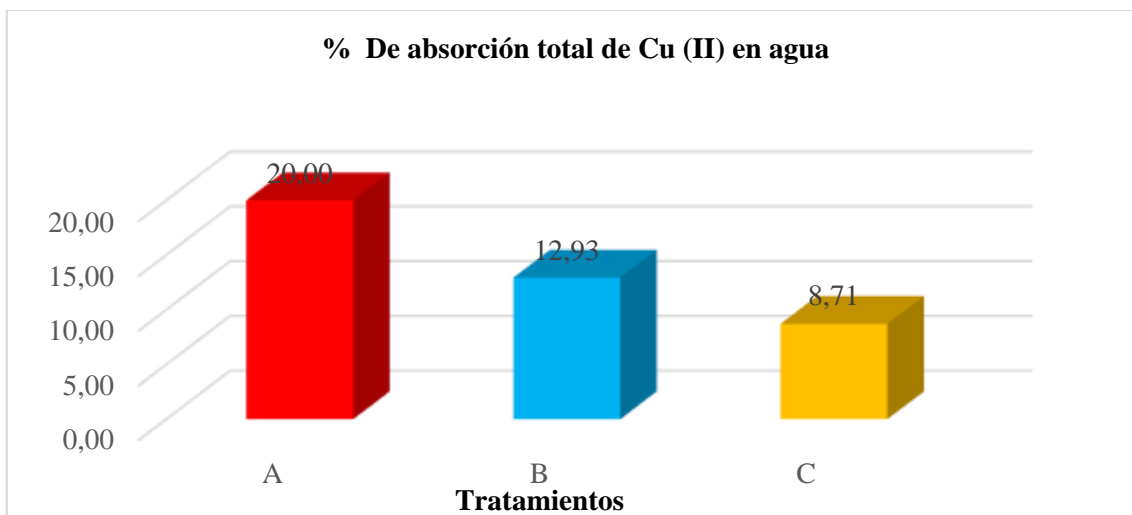


Figura 12-4: Porcentaje total absorbido de Cu (II) en agua a través de *Echhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 12-4 indica el porcentaje total de absorción de cobre (II) de los 30 y 60 días demostrando la eficiencia de fitorremediación que presentó la *Echhornia crassipes* para la remoción del contaminante, en la que en el tratamiento A evidencia una absorción del 20,00 % a una concentración de 10 ppm, en el tratamiento B el 12,93 % a una concentración de 20 ppm y en el tratamiento C el 8,71 % a una concentración de 30 ppm, dando a conocer que la mayor absorción se dio en el tratamiento A y B siendo estas con menor concentración de cobre (II).

4.1.4.4. Comparación del porcentaje de absorción de cobre (II) en agua entre la *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* cultivada en piscinas.

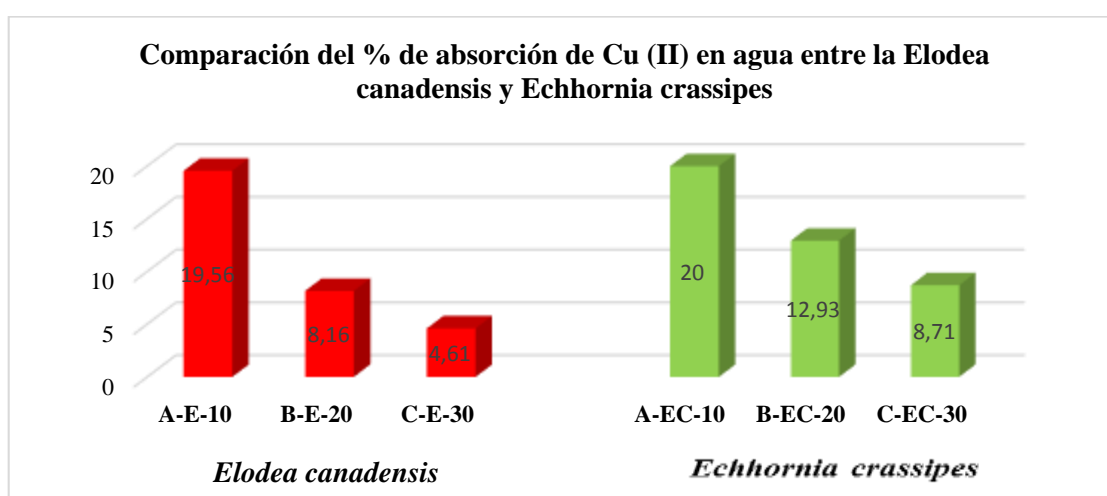


Ilustración 13-4: Comparación del porcentaje total absorbido de Cu (II) en agua a través de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 13-4 indica la comparación entre los porcentajes totales promedios de absorción de cobre (II) en agua, demostrando así que, en el tratamiento A correspondiente a la *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* presentaron un porcentaje de absorción similar al 20%, en el tratamiento B y C de la *Eichhornia crassipes* fueron mayores con un porcentaje de absorción total del contaminante del 12,93% y 8,71% a diferencia del tratamiento B y C de la *Elodea canadensis* que resultaron ser menores en el procesos de absorción de cobre (II) en agua con valores de 8,16% y 4,61, concretando que las dos especie macrófitas *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* son eficientes para remover el contaminante a menores concentraciones.

4.1.4.5. Porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua para los tres tratamientos A, B y C de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes*.

En las siguientes tablas se puede evidenciar el porcentaje de remoción en agua que presentaron las dos especies macrófitas *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* para los tres tratamientos.

Tabla 30-4: Porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua en los tres tratamientos A, B y C de *Elodea canadensis*

Tratamiento	Etapa		% de Cu (II) final en agua	% de remoción de Cu (II)
	Inicial mg/L	Final mg/L		
A	10	1,87	81,3	18,7
B	20	1,61	91,95	8,05
C	30	1,37	95,43	4,57

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 30-4 se evidencia el porcentaje de remoción que presentó la especie macrófita *Elodea canadensis* en los tres tratamientos, obteniéndose como resultado una remoción del 18,7 % de cobre (II) y un porcentaje final del metal del 81,3 % en el tratamiento A, seguido del tratamiento B con una remoción del 8,05 % de Cu (II) y en el tratamiento C una remoción del 4,57 % del metal, siendo este el que menos remoción presentó con un valor del 1,37 mg/L de Cu (II).

Tabla 31-4: Porcentaje de remoción de cobre (II) en el agua en los tres tratamientos A, B y C de *Echhornia crassipes*.

Tratamiento	Etapa		% de Cu (II) final en agua	% de remoción de Cu (II)
	Inicial mg/L	Final mg/L		
A	10	1,9	81	19
B	20	2,5	87,5	12,5
C	30	2,56	91,47	8,53

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 31-4 indica el porcentaje de remoción que presentó la especie macrófita *Echhornia crassipes*, obteniéndose como resultado un intervalo de remoción del 1,9 mg/L – 2,56 mg/L en los tratamientos A, B y C, es decir una remoción del 19 % de cobre (II) y un porcentaje final del metal del 81 % en el tratamiento A, seguido del tratamiento B con una remoción del 12,5 % de Cu (II) y en el tratamiento C una remoción del 8,53 %.

4.1.4.6. Comparación del porcentaje de remoción de cobre (II) en agua entre la *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* cultivada en piscinas.

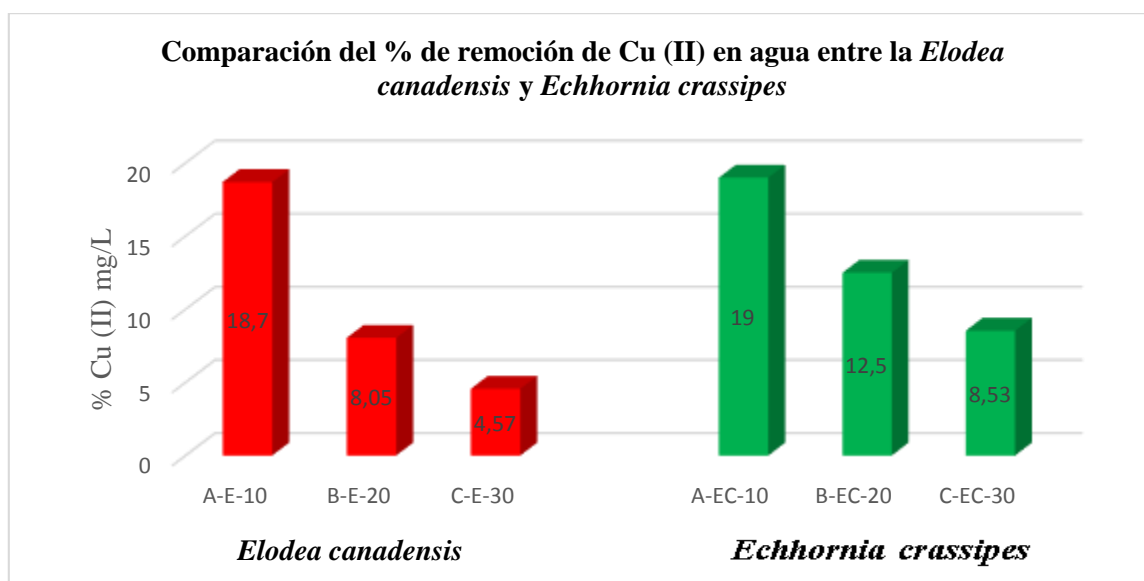


Ilustración 14-4: Comparación del porcentaje remoción de Cu (II) en agua a través de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* en los tratamientos A, B y C.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 14- 4 indica la comparación de los porcentajes de remoción que presentaron las dos especies macrófitas sometidas a investigación, reportando valores muy similares en el tratamiento A, siendo estas unidades experimentales que mayor porcentaje de remoción presentaron , en el tratamiento B y C la *Elodea canadensis* removió un 8,05% y 4,57% del metal pesado, sin embargo en el caso de la *Eichhornia crassipes* tuvo mayor porcentaje de remoción con valores del 12,5% y 8,53% de cobre (II), dando a conocer que en ambos casos a concentraciones bajas mayor remoción de Cu (II) existe.

4.1.5 Relaciones de las concentraciones de cobre (II) en *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes*.

4.1.5.1. Análisis de varianza ANOVA a las concentraciones de cobre (II) en la parte radicular y aérea de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes*.

Tabla 32-4: Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (II) en la parte aérea de *Elodea canadensis*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	0,068	2	0,0342	2,337	0,178
Error	0,088	6	0,0146		
Total	0,156	8			

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 33-4: Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (II) en la parte radicular de *Elodea canadensis*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	0,115	2	0,057	4,835	0,1
Error	0,071	6	0,012		
Total	0,186	8			

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En las unidades experimentales de los tres tratamientos A, B y C se aplicó el análisis de varianza de las concentraciones del metal pesado en la parte radicular y aérea de *Elodea canadensis* como se muestra en las tablas 32-4 y 33-4, proporcionando como resultados un $F= 2,337$ en la parte aérea y una $F= 4,835$ en la parte radicular a un nivel de confianza del 95%. Señalando que el valor de la probabilidad es mayor al alfa $P= 0,1 > 0,05$ en ambos casos, es decir que, los tres tratamientos sometidos a concentraciones diferentes de cobre (II) evidencian no diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que los datos son semejantes.

Tabla 34-4: Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (II) en la parte aérea de *Echhornia crassipes*.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	0,127	2	0,063	0,199	0,825
Error	1,912	6	0,319		
Total	2,039	8			

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Tabla 35-4: Análisis de varianza de las concentraciones de cobre (II) en la parte radicular de *Echhornia crassipes*.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	0,301	2	0,151	2,124	0,201
Error	0,426	6	0,071		
Total	0,727	8			

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En las unidades experimentales de los tres tratamientos A, B y C se aplicó el análisis de varianza de las concentraciones del metal pesado en la parte radicular y aérea de *Echhornia crassipes* como se muestra en las tablas 34-4 y 35-4, proporcionando como resultados un $F= 0,199$ en la parte aérea y una $F= 2,124$ en la parte radicular a un nivel de confianza del 95%. Señalando que el valor de la probabilidad es mayor al alfa $P= 0,8 > 0,05$ en la parte aérea y $P=0,2 > 0,05$ en la parte radicular, es decir que, los tres tratamientos sometidos a concentraciones diferentes de cobre (II) evidencian no diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que los datos son semejantes.

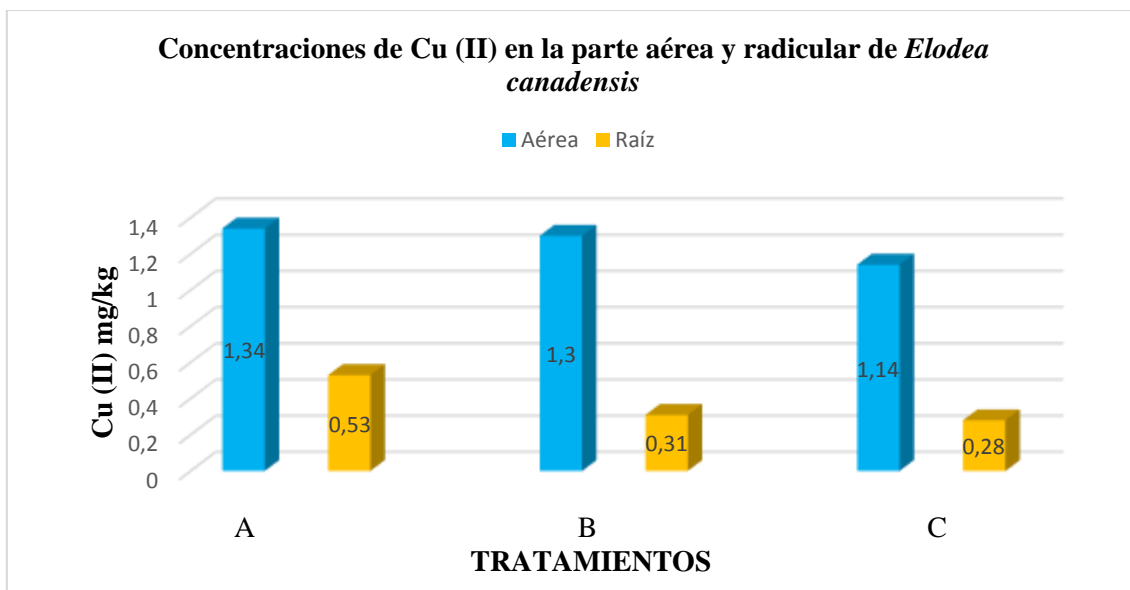


Ilustración 15-4: Concentración de Cu (II) en la parte aérea y radicular de la especie macrófita *Elodea canadensis*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

Para determinar las concentraciones de cobre (II) en la parte aérea y radicular de la *Elodea canadensis* se lo realizó a los 60 días de la parte experimental, evidenciando así en la figura 15-4 en la que muestra las comparaciones de las concentraciones del contaminante acumuladas en la planta, demostrando que en la parte aérea de los tres tratamientos A, B y C tuvieron mayores concentraciones a diferencia de las concentraciones en la raíz que fueron menores.

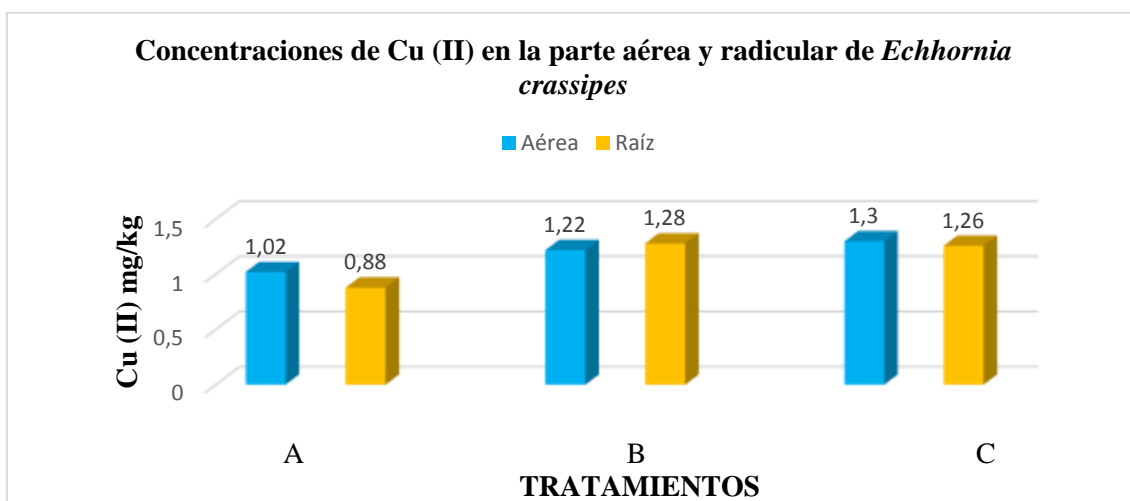


Ilustración 16-4: Concentración de Cu (II) en la parte aérea y radicular de la especie macrófita *Echhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 16-4 evidencia las comparaciones de las concentraciones de cobre (II) acumuladas en la *Echhornia crassipes* en los tres tratamientos frente a las diferentes concentraciones que

fueron sometidas, demostrando que la mayor acumulación del contaminante fue en la parte aérea, las concentraciones en la parte radicular fueron muy cercanas a los valores obtenidos de la parte aérea, concretando que esta especie macrófita tuvo mayor absorción de cobre (II) en agua a mayores concentraciones.

4.1.5.2. Comparación de la concentración de cobre (II) en el tejido vegetal entre *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* en los tratamientos A, B y C.

A continuación, en la figura 17-4 detalla la comparación de la concentración de cobre (II) en el tejido vegetal entre *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes*

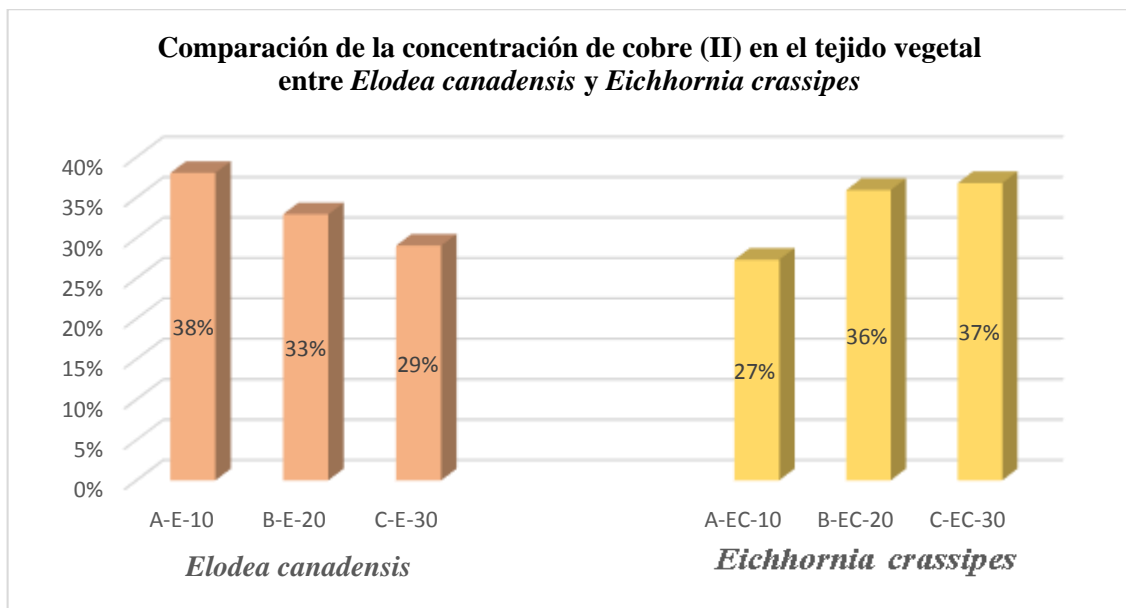


Ilustración 17-4: Comparación de la concentración de Cu (II) en el tejido vegetal entre *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes*.

Fuente: Herrera, Mishell, 2022.

En la figura 17-4 indica los porcentajes de absorción a través de los tejidos vegetales que tuvieron las especies de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* frente al cobre (II), demostrando así que en el tratamiento A correspondiente a la *Elodea canadensis* presentó un porcentaje de absorción en el tejido vegetal del 38% siendo mayor en comparación del tratamiento A de la *Eichhornia crassipes* con un valor del 27%, en el tratamiento B y C de la *Eichhornia crassipes* fueron mayores con un porcentaje de absorción de 36% y 37% a diferencia del Tratamiento B de la *Elodea canadensis* que resultaron ser menores en el procesos de absorción.

4.1.5.3. Factor de translocación de *Elodea canadensis* y *Echhornia Crassipes*

En las siguientes tablas 36-4 y 37-4 se evidencian el factor de translocación de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* reemplazando las fórmulas expresadas previamente en las ecuaciones 6-3.

Tabla 36-4: Factor de translocación de *Elodea canadensis*.

<i>Elodea sp.</i> Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Aérea	1,29	1,42	1,31	1,29	1,32	1,28	0,91	1,25	1,25
Radicular	0,52	0,73	0,35	0,29	0,33	0,32	0,29	0,26	0,28
FT	2,48	1,95	3,74	4,45	4,00	4,00	3,14	4,81	2,48
Promedio del FT	2,72			4,15			4,14		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Los resultados del factor de translocación de la *Elodea canadensis*, evidencia que esta especie macrófita en los tres tratamientos A, B y C alcanzaron valores >1 , es decir, que la planta transporta eficazmente el metal desde la parte radicular hacia la parte aérea de la *Elodea canadensis*, conllevado a la acumulación del cobre (II) en la parte aérea.

Tabla 37-4: Factor de translocación de *Echhornia crassipes*.

<i>Echhornia crassipes</i> Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Aérea	1,02	1,29	0,75	2,13	0,70	0,83	1,52	0,72	1,66
Radicular	0,78	1,13	0,73	1,47	1,49	0,89	1,25	1,03	1,49
FT	1,31	1,14	1,03	1,45	0,47	0,93	1,22	0,70	1,11
Promedio del FT	1,16			1,00			1,01		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

El factor de translocación de la *Echhornia crassipes*, evidencia a través de los resultados hallados, que esta especie macrófita en los tratamientos A, B y C alcanzaron valores >1, es decir, que la planta transporta eficazmente el metal desde la parte radicular hacia la parte aérea de la *Echhornia crassipes*, conllevado a la acumulación del contaminante en la parte aérea y radicular.

4.1.5.4. Factor de bioacumulación de *Elodea canadensis* y *Echhornia Crassipes*

Con los resultados de los análisis de las muestras de las partes radiculares y aéreas de la *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* obtenidas a los 60 días, se logró determinar el factor de bioacumulación en cada uno de los tratamientos A, B y C.

En las siguientes tablas 38-4 y 39-4 se evidencian el factor de bioacumulación de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* reemplazando las fórmulas expresadas previamente en las ecuaciones 6-3.

Tabla 38-4: Factor de bioacumulación en la parte aérea y radicular de *Elodea canadensis*.

<i>Elodea sp.</i> Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
FBC Aérea	0,13	0,14	0,13	0,06	0,07	0,06	0,03	0,04	0,04
Promedio FBC	0,13			0,06			0,04		
FBC Radicular	0,05	0,07	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Promedio FBC	0,05			0,02			0,01		
FBC Total	0,18			0,08			0,05		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

El factor de bioacumulación de la *Elodea canadensis*, evidencia a través de los resultados hallados, que esta especie macrófita en los tratamientos A, B y C presentaron valores <1, es decir, que la planta es excluyente del contaminante en la parte aérea y radicular.

Tabla 39-4: Factor de bioacumulación en la parte aérea y radicular de *Echhornia crassipes*

<i>Echhornia crassipes</i> Tratamientos	A			B			C		
	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
FBC Aérea	0,10	0,13	0,08	0,11	0,03	0,34	0,05	0,02	0,06
Promedio FBC	0,10			0,16			0,04		
FBC Radicular	0,08	0,11	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03	0,05
Promedio FBC	0,09			0,06			0,04		
FBC Total	0,19			0,22			0,08		

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

Los resultados hallados del factor de bioacumulación de la *Echhornia crassipes*, evidencia que esta especie macrófita en los tres tratamientos A, B y C presentaron valores <1, es decir, que la planta es excluyente del contaminante en la parte aérea y radicular.

4.1.6 Dosis letal 50 (DL50) de las especies de *Elodea canadensis* y *Eichhornia crassipes* bajo la presencia de concentraciones de Cu (II).

Se realizó dos dosificaciones para determinar la DL50 de cada una de las dos especies de plantas por el lapso de 144 horas detalladas a continuación.

Tabla 40-4: Dosis letal media (DL50) *Elodea canadensis*

Tiempo	Dosis mg/L	<i>Elodea canadensis</i>	NOAEL	LOAEL	DL50	DL100
24	1	0	x			
	2	0	x			
	3	0	x			
	4	0	x			
	5	0	x			
	6	0			x	
	7	0			x	
	8	0			x	
	9	0			x	
	10	1			x	
	11	1		x		
	12	1		x		
	13	1		x		
	14	1		x		
48	15	1		x		

	16	1		x		
	17	1		x		
	18	1		x		
	19	1		x		
	20	1		x		
72	21	1		x		
	22	2		x		
	23	2		x		
	24	2		x		
	25	2		x		
	26	2		x		
	27	2		x		
	28	2		x		
	29	2		x		
	30	2		x		
96	31	2		x		
	32	2		x		
	33	2		x		
	34	2		x		
	35	3		x		
	36	3		x		
	37	3		x		
	38	3		x		
	39	3		x		
120	40	3		x		
	42	4			x	
	42	4			x	
	43	4			x	
	44	4			x	
	45	4			x	
	46	4			x	
	47	6				
	48	6				
49	6					
144	50	6				
	51	6				
	52	6				
	53	8				x
	54	8				x
	55	8				x

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 40- 4 indica la dosis letal media (DL50) que presentó la *Elodea canadensis* al ser sometida a diferentes dosis de Cu (II) en el transcurso de 144 horas, siendo que a los 6 ml de dosis empezó a presentarse los primeros cambios físicos en las plantas, obteniéndose así, que a los 42 mg/L de concentración de cobre (II) se produjo la muerte de la mitad de *Elodea canadensis*, es decir que se encontró la DL50 y la DL100 a los 55 mg/L con la muerte de todas las plantas.

Tabla 41-4: Dosis letal media (DL50) *Echhornia crassipes*

Tiempo	Dosis mg/L	<i>Echhornia crassipes</i>	NOAEL	LOAEL	DL50	DL100
24	1	0	x			
	2	0	x			
	3	0	x			
	4	0	x			
	5	0	x			
	6	0	x			
	7	0	x			
	8	0			x	
	9	0			x	
	10	1			x	
48	11	1		x		
	12	1		x		
	13	1		x		
	14	1		x		
	15	1		x		
	16	1		x		
	17	1		x		
	18	1		x		
	19	1		x		
	20	1		x		
72	21	1		x		
	22	1		x		
	23	1		x		
	24	1		x		
	25	1		x		
	26	2		x		
	27	2		x		
	28	2		x		
	29	2		x		
	30	2		x		
96	31	2		x		
	32	2		x		
	33	2		x		
	34	2		x		
	35	2		x		
	36	2		x		
	37	2		x		
	38	2		x		

	39	3		x		
120	40	3		x		
	42	3		x		
	42	3		x		
	43	3		x		
	44	3		x		
	45	3		x		
	46	3		x		
	47	3		x		
	48	3		x		
	49	3		x		
	144	50	3		x	
51		3		x		
52		4			x	
53		4			x	
54		4			x	
55		4			x	
56		5				
57		5				
58		7				
59		7				
60		8				x
61		8				x
62		8				x

Realizado por: Herrera, Mishell, 2022.

En la tabla 41- 4 evidencia la dosis letal media (DL50) que demostró la *Echhornia crassipes* al ser sometida a diferentes concentraciones de Cu (II) en el transcurso de 144 horas, siendo que a los 8 ml de dosis presentó los primeros cambios físicos en el vigor de las plantas considerándose como LOAEL, obteniéndose así que a 52 mg/L de concentración de cobre (II) se halló la DL50 con la muerte de la mitad de especies ya mencionadas y la DL100 a los 60 mg/L con la muerte de todas las plantas.

CONCLUSIONES

- Se cultivó 5 plantas acuáticas de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* por cada recipiente y se adaptó por el lapso de tres semanas en 20 recipientes al interior de un invernadero de 25 m² bajo una cubierta de malla negra de polietileno que permitió controlar la temperatura, humedad relativa y radiación solar, cada uno de los recipientes contaba con aireación y la adición de 1 ml de solución nutritiva de NEO SOLUTION 1 cada tres días al agua.
- En los tratamientos de fitorremediación de las dos especies macrófitas el proceso más eficiente de remoción de cobre (II) en agua, fue el de la *Echhornia crassipes* que presentó una remoción mayor del metal pesado en los tres tratamientos A, B y C en comparación de la *Elodea canadensis* que su porcentaje de remoción fue menor. En la *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* en el tratamiento A tuvieron porcentajes de remoción similares con un rango del 18,7 % – 19 % a una concentración de 10 ppm, es decir que, a bajas concentraciones de cobre (II) el porcentaje de remoción por las dos especies es más alto.
- Según el promedio total del factor de translocación en los tres tratamientos A, B y C, las dos especies *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* presentaron valores superiores al 1, mostrando que las dos especies transportan efectivamente el Cu (II) desde la parte radicular a la parte aérea, considerándose como plantas acumuladoras en la parte aérea.
- Los resultados obtenidos de los promedios totales del factor de bioacumulación en ambas especies de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* fueron valores inferiores a 1, indicando que son especies excluyentes de cobre (II). La parte radicular y aérea de las especies de *Echhornia crassipes* en los tratamientos A, B y C fueron más eficientes en el factor de bioacumulación en un rango de 0,19 - 0,22 - 0,08 a diferencia de la *Elodea canadensis* que su BAC fue menor.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de las especies de *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* a industrias mineras de cobre con la finalidad de que puedan brindar un tratamiento de fitorremediación a sus aguas provenientes de piscinas de relaves, en la que las especies interactúan directamente sus raíces con el metal, este proceso es amigable con el ambiente y su inversión es económica y accesible.
- Utilizar la *Elodea canadensis* y *Echhornia crassipes* una vez adaptadas al medio a condiciones requeridas ya que son originarias de zonas subtropicales
- Realizar un previo monitoreo al medio en el cual se va incorporar las dos especies de plantas acuáticas con la finalidad de conocer cuáles son las características iniciales antes de comenzar el tratamiento.
- Se recomienda continuar con la investigación con la finalidad de estudiar las posibles causas que pueden perturbar a las dos especies en el instante que son sometidas a la interacción de contaminantes con mayor nocividad.

GLOSARIO

Cobre: Es un metal de alta dureza y resistente a los golpes y alteraciones físicas, sin embargo, es frágil a temperaturas bajas extremas (Uriarte, 2021, pp. 1).

Echhornia crassipes: Es considerada como una especie de planta vascular, sus tallos y hojas se caracterizan por contener aire lo cual les permiten que puedan estar suspendidas en la superficie del agua, su reproducción es asexual especialmente cuando se encuentran en ambientes tropicales y subtropicales (Lowe, Browne, Boudjelas, & De Poorter, 2004, pp. 10).

Elodea Canadensis: Es una especie invasora de rápida proliferación, en la que su tallo se ramifica de 20 y 30 cm de largo, sus hojas son de color verde oscuro en forma dentada de 1 cm de largo y de 2 a 3 mm de ancho. Esta especie tiene un gran contenido de fósforo en su biomasa y puede almacenar en sus raíces (CABI, 2005, pp. 5).

Fitoextracción: Es una estrategia en la que ciertas plantas tienen la capacidad de absorber y acumular los contaminantes en su raíz, tallo u hojas, especialmente metales pesados, contaminantes orgánicos e isótopos radiactivos (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 2).

Fitotoxicidad: Es el grado de efecto tóxico provocado por agentes químicos, metales pesados, pesticidas, salinidad, fitotoxinas, temperatura, entre otros, en la que puede producir alteraciones fisiológicas en el aspecto de crecimiento, desarrollo, vigor y productividad de las especies vegetales (Moreno & Peñaranda, 2019, pp. 1-2).

Fitorremediación: Es una tecnología sustentable en la que se basa en utilizar especies vegetales para restaurar ambientes que han sido contaminados de manera antropogénica (Núñez, Vong, & Ortega, 2004, pp. 1-3)

Macrófitas: Es el nombre que se le da a la diversidad de plantas que son originarias de zonas con aguas poco profundas y la corriente de agua sea menor, en la que son esenciales para los entornos acuáticos (Gómez, Valderrama, & Rivera, 2017, pp.3).

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Adriel. *All you need is biology.* pp 2. [En línea] 10 de 12 de 2016 <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/12/10/plantas-hiperacumuladoras-de-metales-pesados/>.

ASAMBLEA CONSTITUYENTE. *Código Orgánico Ambiental.* Ecuador : s.n., 2017, pp 263- 268.

ASAMBLEA CONSTITUYENTE DEL ECUADOR. *Constitución Política de la República del Ecuador.* Ecuador : s.n., 2008, pp 1-36.

ATEHORTUA & GARTNER. *Estudios preliminares de la biomasa seca de Eichhornia crassipes como adsorbente de plomo y cromo en aguas.* Colombiana de Materiales : s.n., 2013, Colombiana de Materiales, pp. 12.

ATSDR. *Cobre.* Estados Unidos : s.n., 2004, pp 1.

AUDET, P & CHAREST, C. "Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: Meta-analytical and conceptual perspectives". 2007, pp 1-10.

BARRETO & PAREDES. *Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies Pistia stratiotes Y Eichhornia crassipes.* Tingo María : Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2016, pp 2.

BOWMER & SAINTY, GR. *Identificación, biología y manejo de Elodea Canadensis , Hydrocharitaceae.* s.l. : Revista de Manejo de Plantas Acuáticas, 1995, pp 2-5.

CABI. *Bioscience Suiza Centro informe a la Agencia Suiza para el Medio Ambiente, los Bosques y el Paisaje SAEFL Delemont.* Suiza : s.n., 2005, pp 5.

CARREÑO. "Buchón de agua" (*Eichhornia crassipes*): impulsor de la fitorremediación. Bogotá : Fundación Universitaria Los Libertadores, 2020, pp 14.

CARREÑO, Uriel. "Buchón de agua" (*Eichhornia crassipes*): impulsor de la fitorremediación. Bogotá : Fundación Universitaria Los Libertadores, 2020. pp.5.

CATALÁ, Myriam. *Investigación en Salud Ambiental y Ecotoxicología,* pp 1. [En línea] 24 de 11 de 2015. <https://toxamb.wordpress.com/2015/11/24/efectos-de-la-contaminacion-por-cobre/>.

CHEN, Jose. *Promix,* pp 1-5. [En línea] 9 de 11 de 2021. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-cobre-en-el-cultivo-de-plantas/>.

CONAMA. *Estudio experimental de métodos de control de Elodea canadensis en el embalse de La Torrassa (2013-2015)* . s.l. : Endesa, 2016.

DELGADILLO, Evelin; et al. *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación.* Estado de Hidalgo, México : Tropical and Subtropical Agroecosystems, 2011, pp 5.

FAO. *Cobre, en IPNS - Glosario de la gestión integrada de los nutrientes.* 2007, pp 6.

FLORES, Oscar. *Minería en línea,* pp 5. [En línea] 1 de 02 de 2021. <https://mineriaenlinea.com/metales/cobre-14/>.

GLOBAL INVASIVE SPECIES DATABASE. [En línea] 2005. [www_invasivespecies_net-database-species-ecology_aspsi=70&fr=1&sts=sss](http://www.invasivespecies.net-database-species-ecology_aspsi=70&fr=1&sts=sss).

GOLLASCH, S. *Elodea canadensis*. s.l. : DAISIE, 2006, pp 2-5.

GÓMEZ, Marcela; et al. *Comunidades de macrófitas en ríos andinos: composición y relación con factores ambientales.* Bogotá : redalyc.org, 2017. Vol. 22, pp 1-2.

GONZÁLEZ, Daniel & ZAPATA, Omar. *Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas.* México : s.n., 2008.

JARAMILLO & MARULANDA. *Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp.* Cali, Colombia : Universidad de San Buenaventura, 10 de 9 de 2015, pp 3.

JIMÉNEZ. *Eichhornia crassipes y su uso en técnicas de aprovechamiento y fitorremediación de cuerpos de agua.* Bogotá : Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2021, pp 15.

LOWE, et al. *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo*. Nueva Zelanda : GEEI, 2004, pp 10.

LLUNGANY, M & BARCELÓ, J. *Hiperacumulación de metales: ¿unaventaja para la planta y para el hombre?.* 2007, Asociación Española de Ecología Terrestre, pp. 2.

MARRERO, Jeannette & COTO Orquídea. *Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y a microorganismos en el saneamiento ambiental.* Cuba : ICIDCA, 2012, pp 4-5.

MCCANN, Michael. *Metalurgia y metalisteria.* s.l. : Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2012, pp. 4.

MEDINA, Katy & MONTANO, Yeidy. *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el Juncus arcticus Willd. Y Cortaderia rudiusscula Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero ALIANZA - ANCASH 2013*". Perú : Universidad Nacional "Santiago Antúnez De Mayolo", 2014, pp 41.

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Ficha del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. Flora: Elodea canadensis.* España : s.n., 2013.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Texto Unificado De Legislacion Secundaria De Medio Ambiente.* Ecuador : s.n., 2017, pp 263- 268.

MORENO, Álvaro & PEÑARANDA, Isabel. *Fitotoxicidad: Más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción.* s.l. : Departamento Técnico Grupo Empresarial SYS., 2019, pp 1-2.

NÚÑEZ & ORTEGA. *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.* 2004, pp. 1-3.

OLIVARES, E y PEÑA, E. “*Bioconcentración de elementos minerales en Amaranthus dubius (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación*”. Venezuela : Interciencia, 2009.

ROBLERO, Mario. *El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas.* México : SCIELO, 2021.

RODRÍGUEZ, Dunia. *Intoxicación ocupacional por metales pesados.* Cuba : MEDISAN, 2017, pág. 14.

RODRÍGUEZ, Elena. *El cultivo de hongos comestibles: una alternativa para el control del buchón de agua (Eichhornia crassipes) En la laguna de sonso.* Cali : Universidad Autónoma de Occidente, 2006, pp 25-30.

RODRIGUEZ, Mariana. Prezi. Prezi. pp 1. [En línea] 02 de 08 de 2018. <https://prezi.com/p/rf0wrszadjph/ciclo-del-cobre/>.

RODRIGUEZ, Miguel. 2019. Perú ecológico. *Perú ecológico*, pp 1. [En línea] 17 de 09 de 2019. https://www.peruecologico.com.pe/lib_c2_t14.htm.

SALDIVIA, Antonia. 2005. “*Determinación de metales pesados (as, cd, cr, cu, fe, mn, hg, ni, pb y zn) en hígado y riñón de cisne de cuello negro (cygnus melancoryphus), lucheillo (egeria densa), sedimento y agua, recolectados en el santuario de la naturaleza carlos anwandter y hu.* Valdivia : Universidad de Austral de Chile, 2005, pp 15.

SANCHO, Diana. 2016. *El tráfico de cobre en el cloroplasto de plantas.* Zaragoza : Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2016, pp 29-30.

SEGRETIN, Eugenio. 2015. *Biotecnología y y Mejoramiento Vegetal II.* s.l. : Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2015, pp 547- 549.

TORRES, Oscar; et al. 2015. *Cobre y Níquel, microelementos esenciales en la nutrición vegetal.* s.l. : Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias, 2015.

TORRES, Segundo. 2021. *Tiempo minero. Tiempo minero*, pp 2. [En línea] 31 de 03 de 2021. <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/mineras-de-cobre-deben-invertir-mas-en-exploracion/>.

URIARTE, Juliana. 2021. *Cobre.* pp 1. [En línea] 30 de 09 de 2021. <https://www.caracteristicas.co/cobre/>.

VILELA, Wilson; et al. *La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro.* Machala : Universidad Técnica de Machala, 2020, pp 11.

ZAVALETA, Guillermo; et al. *Biología y ecología del lirio acuático. Control y aprovechamiento del lirio acuático en México.* México : Instituto Mexicano de Tecnología del agua, 1989, 15-80.

Zhao, F, y otros. 2002. "Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*". 2002, pp 1.7.

ZORILLA, Carlos. *Salva la selva.* [En línea] 24 de 4 de 2013. <https://www.salvalaselva.org/exitos-y-noticias/5066/la-mineria-de-cobre-y-sus-impactos-en-el-ecuador>.

ZORRILLA. *Extrativismo.* [En línea] 15 de 07 de 2013, pp 5. <https://extractivismo.com/2013/07/mineria-de-cobre-y-sus-impactos-en-ecuador/>.

ZÚÑIGA, Batista. *Introducción al Estudio de la contaminación del Suelo por Metales Pesados.* México : Universidad autónoma de Yucatán, 1999, pp. 17-109.





ANEXOS

ANEXO A: CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO TIPO TUNEL

<p>Invernadero construido de 25 m²</p> 	<p>Adecuación de las cortinas</p> 
---	--



ANEXO B: MALLA NEGRA DE POLIETILENO

<p>Colocación de la malla de polietileno de 3 x 5 m</p> 	<p>Colocación de los 10 aireadores marca JAD, modelo Aire Pump SC-7500 y un higrómetro</p> 
---	---

ANEXO C: LIMPIEZA, SIEMBRA, AIREACIÓN Y ADAPTACIÓN DE *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

<p>Limpieza a la <i>Echhornia crassipes</i></p> 	<p>Limpieza a la <i>Elodea canadensis</i></p> 
<p>Siembra, aireación y adaptación de <i>Echhornia crassipes</i></p> 	<p>Siembra, aireación y adaptación de <i>Elodea canadensis</i></p> 

ANEXO D: PREPARACIÓN E INCORPORACIÓN DEL METAL PESADO

<p>Preparación del sulfato de Cu (II) pentahidratado</p> 	<p>Incorporación del sulfato de Cu (II) pentahidratado en las muestras de agua</p> 
--	---

ANEXO E: OBSERVACIÓN DE NECROSIS EN *Echhornia crassipes* Y *Elodea canadensis*

Presencia de necrosis en el tallo y hojas a las dos semanas de la etapa experimental en *Echhornia crassipes*



Presencia de necrosis en las hojas a las dos semanas de la etapa experimental en *Elodea canadensis*



ANEXO F: TOMA Y OBSERVACIÓN DE NUEVOS BROTES DE RAÍCES DE *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Cuantificación de brotes de nuevas raíces en *Echhornia crassipes*



Cuantificación de brotes de nuevas raíces en *Elodea canadensis*



ANEXO G: CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

Control y monitoreo de la humedad relativa y temperatura en la parte interna del invernadero

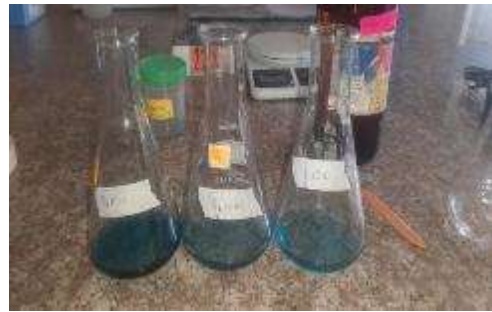


ANEXO H: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA A NIVEL DE LABORATORIO DE *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Dureza del agua de *Echhornia crassipes*



Dureza del agua de *Elodea canadensis*



Conductividad eléctrica, pH, sales y temperatura de *Echhornia crassipes*



Conductividad eléctrica, pH, sales y temperatura de *Elodea canadensis*



ANEXO I: MUESTREO Y ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA CON PRESENCIA DE CU (II) EN LAS MUESTRAS DE AGUA DE *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Muestreo de 400 ml de agua de las unidades experimentales de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*



Análisis de Cu (II) en las muestras de agua de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* con el reactivo VarioCu1



ANEXO J: MUESTREO DE LA BIOMASA VEGETAL DE *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Biomasa vegetal de *Echhornia crassipes*



Biomasa vegetal de *Elodea canadensis*



ANEXO K: ANÁLISIS DE CU (II) EN LA BIOMASA VEGETAL DE *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* A ESCALA DE LABORATORIO

Secado de la biomasa vegetal a temperatura de 60°C por el lapso de 24 horas de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*



Trituración en un molino de mano la biomasa vegetal de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* a escala de laboratorio



Se colocó las muestras de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* en un Shaker orbital a 200 rpm por 24 horas



Se filtró con ayuda de un papel filtro en la se separó la biomasa del líquido




Se añadió el reactivo VarioCu1 a las soluciones de la parte aérea y radicular de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*



Las muestras de la parte aérea y radicular de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis* se sometió a un UV-VIS Spectrophotometer



ANEXO L: RESULTADOS INICIALES DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA DE LA FUENTE DE SAN LUIS EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH.

 **ESPOCH**
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS INICIALES DE AGUAS

Fecha: 9 de mayo del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Evelyn Mishell Herrera Reinoso

Tipo de muestras: Agua de la fuente de San Luis

Localidad: Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

MUESTRA A

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Conductividad eléctrica	µs/cm	2510- B	1,258
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	761,8
pH	Und	4500- B	7,47
Temperatura	°C	2550- A	25
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	1,442
Dureza	mg/L	2340- C	360

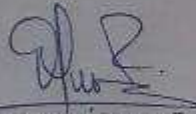
MUESTRA B

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Conductividad eléctrica	µs/cm	2510- B	1,258
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	761,8
pH	Und	4500- B	7,49
Temperatura	°C	2550- A	25
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	1,442
Dureza	mg/L	2340- C	360

MUESTRA B

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Conductividad eléctrica	µs/cm	2510- B	1,258
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	761,8
pH	Und	4500- B	7,45
Temperatura	°C	2550- A	25
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	1,442
Dureza	mg/L	2340- C	360


Atentamente:



Dra. Gina Alvarez R.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

ANEXO M: RESULTADOS INICIALES DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH.

 **ESPOCH**
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS INICIALES DE AGUAS

Fecha: 30 de mayo del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Evelyn Mishell Herrera Reinoso

Tipo de muestras: Agua contaminada con Cobre (II)

Localidad: Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

MUESTRA R1 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	900
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 287
pH	Und	4500- B	8,59
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	284
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	1 192
Cobre (II)	mg/L	8023	10

MUESTRA R2 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 252
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 716
pH	Und	4500- B	8,47
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	320
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	1141
Cobre (II)	mg/L	8023	10

MUESTRA R3 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 374
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 854
pH	Und	4500- B	8,30
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	325
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	893
Cobre (II)	mg/L	8023	10

MUESTRA R1 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 172
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 674
pH	Und	4500- B	8,70
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	321
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	871
Cobre (II)	mg/L	8023	20

MUESTRA R2 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 634
Conductividad	µs/cm	2510- B	2 608
pH	Und	4500- B	8,42
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	324,8
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	966
Cobre (II)	mg/L	8023	20

MUESTRA R3 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 026
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 886
pH	Und	4500- B	8,44
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	360
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	996
Cobre (II)	mg/L	8023	20

MUESTRA R1 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	834
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 191
pH	Und	4500- B	8,59
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	280
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	919
Cobre (II)	mg/L	8023	30

MUESTRA R2 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 153
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 565
pH	Und	4500- B	8,41
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	296
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	901
Cobre (II)	mg/L	8023	30

MUESTRA R3 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 360
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 972
pH	Und	4500- B	8,38
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	368
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	923
Cobre (II)	mg/L	8023	30

MUESTRA R1 - A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	2 669
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 440
pH	Und	4500- B	8,33
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	256
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	839
Cobre (II)	mg/L	8023	10

MUESTRA R2 - A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 057
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 357
pH	Und	4500- B	8,47
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	320
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	759
Cobre (II)	mg/L	8023	10

MUESTRA R3 – A- EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	892
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 275
pH	Und	4500- B	8,45
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	352
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	972
Cobre (II)	mg/L	8023	10

MUESTRA R1 - B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 339
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 833
pH	Und	4500- B	8,50
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	264
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	972
Cobre (II)	mg/L	8023	20

MUESTRA R2 – B- EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	990
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 339
pH	Und	4500- B	8,25
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	336
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	837
Cobre (II)	mg/L	8023	20

MUESTRA R3 – B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	919
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 513
pH	Und	4500- B	8,42
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	368
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	960
Cobre (II)	mg/L	8023	20

MUESTRA R1 - C - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 031
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 231
pH	Und	4500- B	8,78
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	296
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	959
Cobre (II)	mg/L	8023	30

MUESTRA R2 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 103
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 268
pH	Und	4500- B	8,38
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	352
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	708
Cobre (II)	mg/L	8023	30

MUESTRA R3 - C - E


Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	872
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 247
pH	Und	4500- B	8,35
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	376
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	719
Cobre (II)	mg/L	8023	30

Atentamente:

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

ANEXO N: RESULTADOS INTERMEDIO DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH.



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS INTERMEDIOS DE AGUAS

Fecha: 30 de junio del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Evelyn Mishell Herrera Reinoso

Tipo de muestras: Agua contaminada con Cobre (II)

Localidad: Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

MUESTRA R1 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	850
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 215
pH	Und	4500- B	9
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	304
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	871
Cobre (II)	mg/L	8023	8,71

MUESTRA R2 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 131
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 678
pH	Und	4500- B	8,53
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	328
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	971
Cobre (II)	mg/L	8023	8,58

MUESTRA R3 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	952
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 361
pH	Und	4500- B	8,97
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	384
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	921
Cobre (II)	mg/L	8023	8,69

MUESTRA R1 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 114
Conductividad	µs/cm	2510- B	1,592
pH	Und	4500- B	8,08
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	312
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	928
Cobre (II)	mg/L	8023	18,71

MUESTRA R2 - B- E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 227
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 791
pH	Und	4500- B	8,39
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	376
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	841
Cobre (II)	mg/L	8023	18,68

MUESTRA R3 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1797
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 037
pH	Und	4500- B	8,39
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	384
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	951
Cobre (II)	mg/L	8023	18,72

MUESTRA R1 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	856
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 124
pH	Und	4500- B	8,11
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	369
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	874
Cobre (II)	mg/L	8023	29,09

MUESTRA R2 – C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	815
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 165
pH	Und	4500- B	8,31
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	375
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	887
Cobre (II)	mg/L	8023	28,6

MUESTRA R3 – C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 224
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 762
pH	Und	4500- B	8,24
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	379
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	911
Cobre (II)	mg/L	8023	28,75

MUESTRA R1 - A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 147
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 634
pH	Und	4500- B	9,26
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	325
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	817
Cobre (II)	mg/L	8023	8,98

MUESTRA R2 – A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	926
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 324
pH	Und	4500- B	9,14
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	318
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	841
Cobre (II)	mg/L	8023	8,71

MUESTRA R3 - A- EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	886
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 238
pH	Und	4500- B	8,88
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	345
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	951
Cobre (II)	mg/L	8023	9,25

MUESTRA R1 - B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 218
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 721
pH	Und	4500- B	9,24
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	364
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	821
Cobre (II)	mg/L	8023	17,87

MUESTRA R2 - B- EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	895
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 279
pH	Und	4500- B	8,97
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	329
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	932
Cobre (II)	mg/L	8023	19,3

MUESTRA R3 - B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	786
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 124
pH	Und	4500- B	9,03
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	359
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	897
Cobre (II)	mg/L	8023	19,17

MUESTRA R1 - C - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	788
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 127
pH	Und	4500- B	9,04
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	326
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	835
Cobre (II)	mg/L	8023	28,48

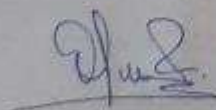
MUESTRA R2 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	744
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 107
pH	Und	4500- B	8,99
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	345
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	713
Cobre (II)	mg/L	8023	29,28

MUESTRA R3 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	894
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 278
pH	Und	4500- B	8,92
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	373
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	721
Cobre (II)	mg/L	8023	28,34


Atentamente:



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

ANEXO Ñ: RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA EN EL LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH.



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS FINALES DE AGUAS

Fecha: 29 de julio del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Evelyn Mishell Herrera Reinoso

Tipo de muestras: Agua contaminada con Cobre (II)

Localidad: Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

MUESTRA R1 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	847
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 210
pH	Und	4500- B	8,5
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	301
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	820
Cobre (II)	mg/L	8023	8,19

MUESTRA R2 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	950
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 358
pH	Und	4500- B	8,23
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	325
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	983
Cobre (II)	mg/L	8023	7,85

MUESTRA R3 - A - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	945
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 347
pH	Und	4500- B	8,67
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	379
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	925
Cobre (II)	mg/L	8023	8,34

MUESTRA R1 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	942
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 536
pH	Und	4500- B	7,98
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	315
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	917
Cobre (II)	mg/L	8023	18,42

MUESTRA R2 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	1 143
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 642
pH	Und	4500- B	8,25
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	377
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	836
Cobre (II)	mg/L	8023	18,35

MUESTRA R3 - B - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	712
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 018
pH	Und	4500- B	9,9
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	382
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	932
Cobre (II)	mg/L	8023	18,4

MUESTRA R1 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	770
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 110
pH	Und	4500- B	8,10
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	374
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	826
Cobre (II)	mg/L	8023	28,81

MUESTRA R2 – C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	838
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 198
pH	Und	4500- B	8,25
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	372
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	824
Cobre (II)	mg/L	8023	28,60

MUESTRA R3 – C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	922
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 109
pH	Und	4500- B	8,26
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	381
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	921
Cobre (II)	mg/L	8023	28,47

MUESTRA R1 - A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	881
Conductividad	µs/cm	mg/L	1 231
pH	Und	4500- B	9,25
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	323
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	812
Cobre (II)	mg/L	8023	8,2

MUESTRA R2 – A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	954
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 364
pH	Und	4500- B	9,17
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	321
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	874
Cobre (II)	mg/L	8023	7,58

MUESTRA R3 - A - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	863
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 243
pH	Und	4500- B	8,71
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	348
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	957
Cobre (II)	mg/L	8023	8,52

MUESTRA R1 - B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	1850
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 215
pH	Und	4500- B	9,31
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	361
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	818
Cobre (II)	mg/L	8023	16,4

MUESTRA R2 - B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	991
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 417
pH	Und	4500- B	8,87
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	322
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	932
Cobre (II)	mg/L	8023	17,81

MUESTRA R3 - B - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Sólidos Disueltos	mg/L	2540- D	881
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 259
pH	Und	4500- B	9
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	361
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	834
Cobre (II)	mg/L	8023	18,28

MUESTRA R1 - C - EC

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	877
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 253
pH	Und	4500- B	9,07
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	334
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	825
Cobre (II)	mg/L	8023	27,23

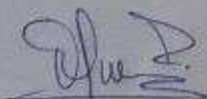
MUESTRA R2 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	800
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 143
pH	Und	4500- B	9
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	342
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	810
Cobre (II)	mg/L	8023	28,25

MUESTRA R3 - C - E

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Solidos Disueltos	mg/L	2540- D	793
Conductividad	µs/cm	2510- B	1 134
pH	Und	4500- B	8,85
Temperatura	°C	2550- A	25
Dureza	mg/L	2340- C	375
Salinidad	mg/L	Potenciómetro	715
Cobre (II)	mg/L	8023	26,85


Atentamente:



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

ANEXO O: RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL TEJIDO VEGETAL EN EL
LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESPOCH

 **ESPOCH**
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE BIOMASA VEGETAL

Fecha: 8 de agosto del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Evelyn Mishell Herrera Reinoso

Tipo de muestras: Biomasa vegetal de las especies de *Echhornia crassipes* y *Elodea canadensis*

Localidad: Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

MUESTRA Aérea R1- A -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,151
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,888
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,018

MUESTRA Radicular R1- A -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,64
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,751
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,952

MUESTRA Aérea R2- A -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,258
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,246
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,352

MUESTRA Radicular R2- A -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,015
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,181
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,199

MUESTRA Aérea R3- A -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,751
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,859
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,653

MUESTRA Radicular R3- A -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,583
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,695
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,925

MUESTRA Aérea R1- B -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,952
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	2,294
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	2,152

MUESTRA Radicular R1- B -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,252
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,952
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,191

MUESTRA Aérea R2- B -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,736
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,545
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,815

MUESTRA Radicular R2- B -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,814
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,645
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,012

MUESTRA Aérea R3- B -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,716
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,951
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,831

MUESTRA Radicular R3- B -EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,959
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,831
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,889

MUESTRA Aérea R1- C-EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,525
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,574
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,463

MUESTRA Radicular R1- C-EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,233
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,156
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,358

MUESTRA Aérea R2- C-EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,709
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,617
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,835

MUESTRA Radicular R2- C-EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,161
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,985
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,956

MUESTRA Aérea R3- C-EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,792
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,595
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,601

MUESTRA Radicular R3- C-EC

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,615
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,325
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,524

MUESTRA Aérea R1- A -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,242
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,345
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,296

MUESTRA Radicular R1- A -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,399
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,544
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,623

MUESTRA Aérea R2- A -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,562
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,365
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,324

MUESTRA Radicular R2- A -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,795
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,762
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,620

MUESTRA Aérea R3- A -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,351
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,321
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,243

MUESTRA Radicular R3- A -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,478
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,356
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,221

MUESTRA Aérea R1- B -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,325
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,309
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,227

MUESTRA Radicular R1- B -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,378
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,301
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,197

MUESTRA Aérea R2- B -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,341
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,372
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,256

MUESTRA Radicular R2- B -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,230
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,298
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,452

MUESTRA Aérea R3- B -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,273
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,302
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,264

MUESTRA Radicular R3- B -E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,207
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,427
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,332

MUESTRA Aérea R1- C-E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,298
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,273
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,156

MUESTRA Radicular R1- C-E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,257
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,408
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,201

MUESTRA Aérea R2- C-E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,436
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,361
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,964

MUESTRA Radicular R2- C-E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,387
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,165
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,227

MUESTRA Aérea R3- C-E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,257
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,195
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	1,287

MUESTRA Radicular R3- C-E

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,243
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,31
Cobre II	mg/Kg	UV-VIS Spectrophotometer	0,298

Atentamente.


Ing. Geovana Lobato



TÉCNICO DOCENTE RESPONSABLE DEL LABORATORIO



esPOCH

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: 24/05/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Evelyn Mishell Herrera Reinoso
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0770-DBRA-UTP-2023