



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS FÍSICOS CAUSADOS
POR AGUA CONTAMINADA CON SALES DE CROMO EN *Lemna
minor* Y *Limnobium laevigatum*”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ANDREA CRISTINA CERÓN BURGOS

TUTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Andrea Cristina Cerón Burgos

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: “ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS EFECTOS FÍSICOS CAUSADOS POR AGUA CONTAMINADA CON SALES DE CROMO EN *Lemna minor* Y *Limnobium laevigatum*”, de responsabilidad de la señorita Andrea Cristina Cerón Burgos, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Juan Carlos González

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Andrés Beltrán

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Andrea Cristina Cerón Burgos, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 01 de marzo de 2018

Andrea Cristina Cerón Burgos

C.I. 060458017-5

Yo, Andrea Cristina Cerón Burgos, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Andrea Cristina Cerón Burgos

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a todos aquellos que luchan cada día por superarse y encontrar su lugar en el mundo. No estás solo, no te rindas, no importa cuán difíciles parezcan las cosas ahora, todo mejorará y habrá valido la pena.

A mis padres, Fabián y Ángela, me han inspirado cada día de mi vida y hoy soy quien soy gracias a ustedes. Y a mis hermanos, Andrés y Fabián mis mejores amigos para toda la vida.

Cris

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser el alma mater que me acogió en todos los años de mi carrera. De manera especial a la Facultad de Ciencias, carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, a las autoridades, docentes y personal administrativo quienes con trabajo arduo y conjunto nos acompañan día a día encaminándonos hacia un futuro como profesionales.

A mis padres, quienes siempre me apoyaron a cada paso de mi vida, siempre tuvieron palabras para darme ánimos y quienes fueron una ayuda inmensa para realizar este proyecto.

A ti Cristhian, por tu amor incondicional, tus consejos invaluable y tu paciencia infinita. Por estar a mi lado en los momentos difíciles y haber formado parte de los mejores.

Al Ing. Juan Carlos González, por su apoyo y guía para alcanzar mí meta aspirada, no solo como tutor de este trabajo de titulación sino también como docente y un importante elemento de la institución.

Al Ing. Andrés Beltrán por sus aportes, observaciones y recomendaciones que fueron de gran importancia para el presente proyecto.

ÍNDICE DE GENERAL

RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes de la Investigación	4
1.2. Bases Teóricas.....	6
1.2.1. Fitorremediación	6
1.2.1.1. <i>Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.....</i>	6
1.2.1.2. <i>Fases de transporte de los Contaminantes en la Fitorremediación.....</i>	7
1.2.1.3. <i>Principales mecanismos de Fitorremediación</i>	8
1.2.1.4. <i>Fitorremediación de Metales Pesados</i>	9
1.2.1.5. <i>Fitorremediación con plantas acuáticas</i>	10
1.2.1.6. <i>Sistemas de Fitorremediación Acuática</i>	11
1.2.2. Bioindicadores	12
1.2.2.1. <i>Clasificación de los Bioindicadores</i>	12
1.2.2.2. <i>Ventajas y desventajas de los bioindicadores</i>	13
1.2.2.3. <i>Plantas como bioindicadores</i>	14
1.2.3. Plantas acuáticas (macrófitas acuáticas).....	14
1.2.3.1. <i>Tipos de plantas acuáticas</i>	15
1.2.4. Macrófita acuática Lemna minor Hegelm	16
1.2.4.1. <i>Taxonomía de la Lemna minor Hegelm</i>	17
1.2.4.2. <i>Características de la Lemna minor Hegelm.....</i>	17
1.2.4.3. <i>Parámetros de Crecimiento de Lemna minor Hegelm</i>	18
1.2.4.4. <i>Reproducción y Cultivo de Lemna minor Hegelm.....</i>	19
1.2.4.5. <i>Usos de Lemna minor Hegelm.....</i>	20

1.2.5.	Macrófitas acuáticas <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	21
1.2.5.1.	<i>Taxonomía de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine</i>	21
1.2.5.2.	<i>Características de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine</i>	21
1.2.5.3.	<i>Parámetros de crecimiento de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....</i>	22
1.2.5.4.	<i>Reproducción y cultivo de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....</i>	23
1.2.5.5.	<i>Usos de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....</i>	24
1.2.6.	Metales Pesados.....	24
1.2.7.	Cromo.....	25
1.2.7.1.	<i>Generalidades.....</i>	25
1.2.7.2.	<i>Cromo en la Industria.....</i>	26
1.2.7.2.1.	<i>El Cromo en el Curtido</i>	27
1.2.7.3.	<i>El Cromo y su Impacto Ambiental.....</i>	28
1.2.7.4.	<i>El Cromo y su Impacto en la Salud.....</i>	29

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO Y EXPERIMENTAL.....	31
2.1.	Metodología	31
2.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	31
2.1.2.	<i>Diseño de la Investigación Experimental</i>	31
2.1.3.	<i>Unidad de Análisis.....</i>	32
2.1.4.	<i>Población de estudio.....</i>	32
2.1.5.	<i>Tamaño de la Muestra.....</i>	32
2.1.6.	<i>Selección de la muestra</i>	32
2.1.7.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	33
2.2.	Parte experimental.....	33
2.2.1.	<i>Diseño, construcción y adecuación del lugar de trabajo</i>	33
2.2.2.	<i>Reproducción y adaptación de las macrófitas acuáticas.....</i>	35
2.2.3.	<i>Dimensionamiento de los contenedores.....</i>	35
2.2.4.	<i>Preparación de los contenedores.....</i>	36

2.2.5.	<i>Preparación del medio líquido</i>	36
2.2.6.	<i>Disposición de platas y experimentos</i>	37
2.2.7.	<i>Plan de monitoreo</i>	38
2.2.7.1.	<i>Monitoreo de Parámetros Ambientales</i>	38
2.2.7.2.	<i>Monitoreo para Análisis de Calidad del Agua</i>	38
2.2.7.3.	<i>Monitoreo de los Cambios Físicos en las Especies Vegetales</i>	39
2.2.8.	<i>Análisis de las unidades experimentales</i>	39
2.2.8.1.	<i>Análisis de la Calidad del Agua</i>	39
2.2.8.2.	<i>Análisis de la apariencia física de las plantas</i>	41
2.2.9.	<i>Cálculos para determinación de cambios en el experimento</i>	43
2.2.9.1.	<i>Cálculo para conocer el % de Remoción dado en cada tratamiento</i>	43
2.2.9.2.	<i>Cálculo para determinar la mortalidad en Lemna minor Hegelm</i>	43

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1.	Resultados	44
3.1.1.	<i>Variables de control del experimento</i>	44
3.1.1.1.	<i>Temperatura</i>	44
3.1.1.2.	<i>Humedad</i>	46
3.1.2.	<i>Cambios físicos observados en Lemna minor Hegelm</i>	49
3.1.2.1.	<i>Coloración de las hojas</i>	49
3.1.2.2.	<i>Vigorosidad de la planta</i>	50
3.1.2.3.	<i>Determinación de la población vegetal final</i>	51
3.1.3.	<i>Cambios físicos observados en Limnobium laevigatum Heine</i>	53
3.1.3.1.	<i>Coloración de las hojas</i>	53
3.1.3.2.	<i>Vigorosidad de las Plantas</i>	55
3.1.3.3.	<i>Determinación de la población vegetal final</i>	56
3.1.4.	<i>Caracterización del agua</i>	57
3.1.4.1.	<i>Análisis de los parámetros físico-químicos del agua</i>	57

3.1.4.2.	<i>Análisis de la Concentración de Cromo (VI) en el agua</i>	59
3.1.4.2.1.	<i>Porcentaje de remoción de Cromo (VI)</i>	60
3.2.	Análisis Estadístico	62
3.2.1.	<i>Método</i>	62
3.2.2.	<i>Resultados</i>	63
CONCLUSIONES		66
RECOMENDACIONES		67
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Fases de transporte de contaminantes en la Fitorremediación.....	7
Tabla 2-1. Descripción taxonómica de <i>Lemna minor</i> Hegelm.....	17
Tabla 3-1. Descripción taxonómica de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	21
Tabla 4-1. Propiedades físico-químicas-atómicas del Cromo	25
Tabla 5-1. Algunos usos del cromo en las Industrias.....	27
Tabla 1-2. Contenido de nutrientes de ROSASOL – EVEN.....	35
Tabla 2-2. Diseño y distribución de <i>Lemna minor</i> Hegelm	37
Tabla 3-2. Diseño y distribución de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....	37
Tabla 4-2. Plan de control de parámetros ambientales.....	38
Tabla 5-2. Plan de control de calidad del agua.....	38
Tabla 6-2. Plan de control de los cambios aparentes en las especies vegetales	39
Tabla 7-2. Métodos analíticos para la caracterización del agua.....	40
Tabla 8-2. Escala colorimétrica para cambios en las hojas.....	42
Tabla 9-2. Escala de vigorosidad	42
Tabla 10-2. Valores de referencia para la mortalidad de la población vegetal	42
Tabla 1-3. Control de Temperatura (°C)	44
Tabla 2-3. Control de Humedad (%).....	46
Tabla 3-3. Cambios del color de las hojas de <i>Lemna minor</i> Hegelm.....	49
Tabla 4-3. Vigorosidad de <i>Lemna minor</i> Hegelm.....	50
Tabla 5-3. Diferencia de peso inicial y final de <i>Lemna minor</i> Hegelm	52
Tabla 6-3. Cambios del color de las hojas de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	53
Tabla 7-3. Vigorosidad de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	55
Tabla 8-3. Determinación de la población vegetal final de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	56
Tabla 9-3. Caracterización física-química inicial del agua	57
Tabla 10-3. Caracterización física-química media del agua en <i>Lemna minor</i> Hegelm.....	58
Tabla 11-3. Caracterización física-química media del agua en <i>Limnobium laevigatum</i> Heine ..	58
Tabla 12-3. Caracterización física-química final del agua en <i>Lemna minor</i> Hegelm	58
Tabla 13-3. Caracterización física-química final del agua en <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....	59
Tabla 14-3. Concentración de Cromo (VI) en el agua de <i>Lemna minor</i> Hegelm	59
Tabla 15-3. Concentración de Cromo (VI) en el agua de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	60
Tabla 16-3. Porcentaje de remoción en <i>Lemna minor</i> Hegelm	60
Tabla 17-3. Porcentaje de remoción de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....	61
Tabla 18-3. Análisis de Varianza para Color	63
Tabla 19-3. Separación de medias para las especies - Color.....	63

Tabla 20-3. Análisis de Varianza para Vigor.....	64
Tabla 21-3. Separación de medias para las especies - Vigor	64
Tabla 22-3. Análisis de Varianza para Población	64
Tabla 23-3. Separación de medias para las especies - Población.....	65
Tabla 24-3. Resultados Estadísticos para Remoción de Cromo (VI).....	65
Tabla 25-3. Separación de medias para las especies – Remoción de Cromo (VI).....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Proceso de fitorremediación de metales pesados	10
Figura 2-1. Raíz de lirio acuático en tratamiento con Pb (Rizofiltración)	11
Figura 3-1. Morfología de una macrófita flotante (<i>Eicchornia crassipes</i>)	15
Figura 4-1. Representación de plantas acuáticas fijas al sustrato	16
Figura 5-1. <i>Lemna minor</i> y sus partes.....	18
Figura 6-1. <i>Lemna minor</i> Hegelm.....	20
Figura 7-1. Distribución de las hojas de <i>Limnobium</i>	22
Figura 8-1. Estructura de flotadores y raíces de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	22
Figura 9-1. Curtiembre artesanal	28
Figura 10-1. Causas de un río contaminado con cromo.....	29
Figura 11-1. Cáncer de pulmón.....	30
Figura 1-2. Estructura tipo invernadero para protección del experimento.....	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Método 8023.....	41
Gráfico 1-3. Variación en la coloración de hojas en <i>Lemna minor</i> Hegelm	50
Gráfico 2-3. Vigorosidad de <i>Lemna minor</i> Hegelm.....	51
Gráfico 3-3. Porcentaje de Mortalidad en <i>Lemna minor</i> Hegelm	52
Gráfico 4-3. Variación en la coloración de hojas en <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....	54
Gráfico 5-3. Vigorosidad en <i>Limnobium laevigatum</i> Heine	56
Gráfico 6-3. Porcentaje de remoción de Cromo (VI) de <i>Lemna minor</i> Hegelm	61
Gráfico 7-3. Porcentaje de remoción de Cromo (VI) de <i>Limnobium laevigatum</i> Heine.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Identificación de las especies

Anexo B. Adecuación del invernadero

Anexo C. Disposición final de los experimentos

Anexo D. Contaminación del agua con Dicromato de potasio

Anexo E. Muestras físicas de intoxicación en las plantas

Anexo F. Análisis del agua

Anexo G. Estado de las plantas en los días finales del experimento

Anexo H. Resultado de los Análisis de calidad del agua realizados en el Laboratorio del Calidad del Agua en la Facultad de Ciencias – ESPOCH

SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

%	Porcentaje
° C	Grados Celsius
μS	Micro Siemes
CA	Concentración A
CB	Concentración B
CC	Concentración C
CH₃Hg	Metil Mercurio
CO₂	Dióxido de Carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DHHS	Departamento de Salud y Servicios Humanos
DBO	Demanda biológica de Oxígeno
DQO	Demanda química de Oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
IARC	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
K₂Cr₂O₇	Dicromato de Potasio
Na₂S	Sulfuro de Sodio
NaHS	Sulfhidrato de Sodio
pH	Potencial Hidrógeno
SiO₂	Óxido de Silicio
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TDS	Sólidos Totales Disueltos

RESUMEN

En la presente investigación se realizó una comparación en los efectos físicos causados en *Lemna minor* y *Limnobium laevigatum* por agua contaminada con Cromo (VI) para conocer su potencial como bioindicadores y fitorremediadoras, para lo cual se expuso a dichas especies a agua contaminada con dicromato de potasio en diferentes concentraciones (10 mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L) con tres repeticiones de cada una por un período de 60 días. Previa la experimentación, las especies pasaron por una etapa de adaptación donde se les suministró una solución nutritiva. Para cada réplica se dispuso de 9 L de agua contaminada con cinco plantas de *Limnobium laevigatum* y en el caso de *Lemna minor* con 45 gr. en unidades experimentales separadas, estos experimentos fueron ubicados en un invernadero con control de temperatura y oxigenación continua. Los cambios físicos, tales como cambios de color, crecimiento y vigorosidad en las especies utilizadas para la experimentación fueron registrados cada 10 días, adicionalmente se realizaron análisis del agua contaminada cada 30 días. Al término del tiempo de experimentación se determinó que *Limnobium laevigatum* había sufrido cambios drásticos de color, disminución en su tasa de crecimiento, falta de vigor y mortalidad en un mayor rango que *Lemna minor*. El % remoción de cromo *Lemna minor* fue de 25,1% en el tratamiento A, de 6,55% en B y de 3,96% en C, mientras que de *Limnobium laevigatum* fue de 32,5% en A, 11,65% en B y 7,03% en C. Concluyéndose que la mejor especie para ser usada como bioindicadora es *Limnobium laevigatum* y la mejor como fitorremediadora es *Lemna minor*. Se recomienda el uso de *Limnobium laevigatum* en futuras investigaciones ya que es una especie con gran potencial biorremediador y de la cual se cuenta con pocos estudios.

PALABRAS CLAVE: <BIOTECNOLOGIA> <FITORREMEDIACIÓN> <MACRÓFITAS ACUÁTICAS> <LENTEJA DE AGUA (*Lemna minor*)> <TRÉBOL DE AGUA (*Limnobium laevigatum*)> <CROMO (VI)> <BIOINDICADORES> <REMOCIÓN>

SUMMARY

In the present research, a comparison was made in the physical effects caused of *Lemna minor* and *Limnobium laevigatum* by water contaminated with chromium (Cr) to know their potential as bioindicators and phytoremediators, for which they were exposed to water contaminated with dichromate of potassium in different concentrations (10 mg/L, 20 mg/L and 30 mg/L) with three repetitions of each one for a period of 60 days. Before the experimentation, the species were in an adaptation stage where they were supplied with a nutritious solution. For each sample there were available 9 liters of contaminated water with five plants of *Limnobium laevigatum* and in the case of *Lemna minor* with 45 gr in separate experimental units. These samples were placed in a greenhouse with temperature control and continuous oxygenation. The physical changes, such as changes in color, growth and vigor in the species used for the experimentation were recorded every 10 days, in addition, contaminated water analyzes were performed every 30 days. At the end of the experimental time it was determined that *Limnobium laevigatum* had undergone drastic color changes, decreased growth rate, lack of vigor and mortality in a greater range than *Lemna minor*. The percentage of *Lemna minor* chromium removal was 25.1% in the A treatment, 6.55% in B treatment and 3.96% in C treatment, while in *Limnobium laevigatum* it was 32.5% in A treatment, 11.55% in B treatment and 7.03% in C treatment. It is concluded that the best species to be used as bioindicator is *Limnobium laevigatum* and the best one as phytoremediator is *Lemna minor*. The use of *Limnobium laevigatum* is recommended in future researches since it is a specie with great bioremediation potencial and wich one does not show few studies.

KEYWORDS: <BIOTECHNOLOGY> <PHYTOREMEDIATION> <AQUATIC MACROPHITES> <DUCKWEED (*Lemna minor*)> <WATER CLOVER (*Limnobium laevigatum*)> <CHROMIUM (Cr)> <BIOINDICATORS> <REMOVAL>.

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

En la Sierra centro de nuestro país se concentra una importante industria manufacturera correspondiente a las tenerías o curtiembres. Debido a que, los procesos llevados en esta industria son mayoritariamente artesanales, se ha generado un problema relevante por el manejo inadecuado de los sistemas internos de producción, sobre todo en el curtido, recurtido y acabados, lo que desemboca en alteraciones a la comunidad circundante y comprometiendo la calidad del ambiente a un amplio rango debido a que este contaminante se moviliza por cuerpos de agua lóticos. Este tipo de contaminación es principalmente ocasionada a causa de que estos procesos emplean contaminantes nocivos para el medio ambiente y todos quienes lo habitan, entre estos elementos nocivos se encuentra el Cromo.

El problema con el uso de sales de Cromo o Cromo hexavalente en el curtido es la cantidad de este elemento que no se fija y que permanece en los reflujos y los lodos de depuración, lo cual impide la utilización de los materiales residuales, principalmente de este metal; además de una clara contaminación a los cuerpos de agua; esta contaminación conduce a un riesgo de ingesta tanto en seres humanos como en animales, cuando esto ocurre se produce un cuadro gastrointestinal en forma de vómitos, dolores abdominales, diarreas y hemorragias intestinales. Se han descrito casos de muerte por colapso cardiocirculatorio; si el paciente sobrevive, puede aparecer una insuficiencia renal aguda o desarrollar cáncer de riñón. Es así como el Cromo ha sido clasificado en el grupo 1 de elementos carcinogénicos según la IARC (Cado, 2000).

En estudios del año 2010 se presentan de manera estadística y analítica el impacto ambiental producido por las curtiembres en las aguas residuales, en el que presentan los índices de contaminación de las aguas residuales más relevantes para sales de cromo mayores a 2400 mg/L en el proceso de curtido de los cuales al momento en que los efluentes son vertidos a causas naturales se conoce que las concentraciones finales del contaminante pueden alcanzar valores mayores a los 25 mg/L, valor que sobrepasa los 0,5 mg/L de descarga en aguas residuales y 0,05 mg/L en agua de consumo humano que son los límites máximos establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA). Al exceder los límites permisibles de estos parámetros de control se compromete directamente a la calidad ambiental lo cual contribuye en gran medida a que la calidad del agua se vea afectada cada vez con más fuerza, ocasionando un daño que con el tiempo será irreparable y que afectará la salud y la calidad de vida de quienes habitan a su alrededor o que se lleguen a encontrar con estos cuerpos de agua.

Justificación de la Investigación

Debido a que con el pasar de los años las actividades industriales y fuentes de contaminación han ido en aumento, los seres humanos nos hemos visto en la necesidad de proteger aire, suelo y sobre todo de los recursos hídricos a través de procesos de biorremediación que ayuden a disminuir la contaminación. Por lo que nuevos estudios e implementación de nuevas técnicas biotecnológicas que ayuden a reducir y evitar la contaminación ambiental son de gran importancia. Es así como en esta investigación se ha utilizado la fitorremediación para tratar la contaminación del agua con Cromo hexavalente.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio en el cual se comparen los efectos tóxicos que produce el cromo en las plantas acuáticas conocidas comúnmente como Lenteja de agua (*Lemna minor*) y Trébol de agua (*Limnobium Laevigatum*). Es conocido que en humanos y animales este contaminante causa graves afecciones gastrointestinales y cardiocirculatorios, más no existen estudios suficientes que hayan sido realizados en plantas. Estas dos especies fueron elegidas ya que son plantas comúnmente usadas para tratamiento de aguas residuales, empleadas mayormente para la absorción de contaminantes como metales pesados como es el caso de *Lemna minor* y para la remoción de exceso de materia orgánica, nitrógeno y fósforo como en el caso de *Limnobium Laevigatum*, en donde en ambos casos, se ha demostrado su gran eficiencia en repetidas ocasiones; es por eso que en esta oportunidad se las pondrá a prueba con un contaminante tan dañino resultante de una de las industrias con más desarrollo en nuestra zona. (Arenas, et al., 2011)

Los estudios biotecnológicos que pretendan dar a conocer nuevos métodos de depuración de aguas residuales de esta industria son escasos ya sea porque son técnicas nuevas o por escases de recursos. Al finalizar la investigación, será evaluada la capacidad de remoción de Cromo de *Lemna minor* y *Limnobium Laevigatum*, en donde, al obtenerse resultados positivos se podría poner en práctica el uso de estas plantas para la eliminación de este contaminante tan tóxico, siendo este un método totalmente amigable con el ambiente y que beneficiará significativamente a poblaciones humanas, animales y vegetales que habitan cerca de esta fuente de contaminación y que se ven afectadas por este problema, ya que al comenzar a ser controlado se evitarán daños a la salud y contribuirá al aumento de las poblaciones acuáticas tanto animales como vegetales.

Además, se conocerán datos certeros a través de cambios perceptibles acerca de cómo reaccionan *Lemna minor* y *Limnobium Laevigatum* en presencia de Cromo, con lo cual podrán ser empleadas como bioindicadores para la detección temprana de este metal en diferentes industrias que sufran de este tipo de contaminante y con estudios posteriores que perfeccionen su uso.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Comparar los efectos físicos causados por agua contaminada con sales de Cromo en *Lemna minor* y *Limnobium Laevigatum*.

Objetivos Específicos:

- Conocer los efectos físicos en coloración y vigorosidad causados por Cromo (VI) en *Lemna minor* y *Limnobium Laevigatum*,
- Definir si el Cromo (VI) es un limitante para el aumento de población de las especies utilizadas.
- Determinar el % de Remoción de Cromo (VI) en el agua que tienen *Lemna minor* y *Limnobium Laevigatum* al final de la experimentación.
- Analizar la efectividad de *Lemna minor* y *Limnobium Laevigatum* como fitorremediadoras y potencial bioindicadoras de Cromo (VI) en agua.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la Investigación

La Industria de la curtiembre está dedicada a la transformación de pieles de ganado vacuno y ovino, en material no putrescible llamado cuero, materia prima utilizada en la elaboración de distintos productos como calzado, prendas de vestir, carteras, billeteras, revestimiento para autos y muebles; etc. Lamentablemente, este proceso que en el país se desarrolla de manera mayoritariamente artesanal, presenta una serie de problemas ambientales, que incluyen el consumo excesivo del recurso agua y posterior generación de efluentes contaminantes con presencia de sulfuros, sales de cromo, elevados niveles de DQO, DBO, sólidos suspendidos que son descargados al sistema de alcantarillado y conducidos a un cuerpo receptor, afectando así al medio al ambiente urbano y rural.

El uso del Cromo en la Industria de la Curtiembre se debe a la calidad del cuero que se genera; las sales generan un curtido más uniforme y rápido, y se obtiene además, una mayor superficie. La magnitud de este residual dependerá de la eficiencia del proceso particular del curtido y es determinada por algunas variables como la oferta del metal, el tiempo de operación, la temperatura y el pH del baño de curtido.

Desde hace varios años, la fitorremediación ha sido considerada una de las tecnologías más innovadoras a usarse en el tratamiento de residuos tóxicos, ya sean estos sólidos o líquidos, con el gran objetivo de recuperar a la naturaleza, tanto en suelo como en agua. Aunque hay que tener en cuenta que la viabilidad de su empleo aún se encuentra en vías de evaluación a través de diferentes perspectivas, es así que los estudios que se encuentran disponibles señalan que se trata de una técnica más limpia, efectiva, fácil y barata, en relación con otro tipo de métodos usados en la actualidad, como los físico químicos (Lumelli, 2010).

Es por eso que las investigaciones sobre cómo mejorar esta técnica han sido y seguirán siendo de gran importancia. A lo largo de dichas investigaciones se han usado diferentes tipos de plantas, las cuales pueden ser adaptadas a diferentes medios y funcionar de diferente manera

dependiendo las circunstancias. Entre dichas plantas, existe una de especie acuática denominada *Lemna minor*, las cuales (Arroyave, 2004) presenta como plantas con características morfológicas y ecológicas de gran utilidad para ser empleadas en el mejoramiento de la calidad del ambiente en los ecosistemas acuáticos, además de también ser usadas como alimento para las especies de dicho ecosistema.

Se deben tener en cuenta que *Lemna minor* dispone de varios estudios previamente realizados que han presentado un gran porcentaje de éxito. Uno de ellos es el estudio realizado en marzo del 2015, en donde se realizó la extracción de cobre por *Lemna minor* en agua de la presa José Antonio Alzate de la Cuenca del Río Lerma en el Estado de México. El desarrollo de la planta y el monitoreo de su capacidad fitoextractora se condujo en reactores piloto con agua de esta presa. La planta asimiló las dos formas de cromo presentadas en el ensayo, sin embargo, fue mejor la forma iónica. Se observó una marcada disminución de cobre a los 50 días, la planta resultó ser una buena hiperacumuladora (Barceló-Quintal, et al., 2015)

De igual manera, (Arenas, et al., 2011) realizaron una evaluación de la capacidad biorremediadora de *Lemna minor* la cual fue diseñada en función del tiempo utilizando agua contaminadas con mercurio. En dicho estudio se usó un diseño experimental de 3 bloques al azar las cuales contaban con cinco réplicas cada una: el primero se trataba de un grupo experimental con 100 g de *L. minor*, 7,5 L de agua contaminada con Hg (0,13 mgL⁻¹) y solución nutritiva; el segundo fue un grupo Testigo con 100 g de *L. minor*, 7,5 L de agua y solución nutritiva y el último se trató de un grupo control con mercurio al nivel de 0,13 mgL⁻¹ en agua destilada sin plantas. Al finalizar dicha investigación se demostró que la eficiencia de remoción de mercurio de la *L. minor*, en 22 días, fue de 30%.

En cuanto a nuestra segunda planta acuática a usarse, *Limnobium laevigatum*, podemos decir que no existen tantos casos de investigación en la cual la encontremos como protagonista como fue con *L. minor*, es por eso que los estudios que involucren a *L. laevigatum* son de gran importancia.

En el estudio realizado por (Valderrama, et al., 2005) realizaron un interesante estudio en donde se utilizó *L. laevigatum* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la reducción de contaminación fecal. Todos los tratamientos realizados removieron hasta un 99% de Coliformes fecales y E. coli en el corto tiempo de 6 días, revelándose que *L. laevigatum* posee un gran potencial para la remoción de contaminantes en el agua.

Así también, un estudio realizado previa y únicamente por (Valderrama, 2000) revela que *L. laevigatum* presenta una gran eficiencia en la estabilización y neutralización del pH del agua, además de ayudar en la disminución de las concentraciones de coliformes totales con un 68%,

así como de DBO con un 76%, DQO con un 26% y SST con un 70%, confirmando así el potencial de dicha planta para ser tomada en cuenta en otras investigaciones gracias a su capacidad de absorción de contaminantes.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso el cual tiene el objetivo de disminuir la contaminación, sea de agua o suelo, a través de especies vegetales las cuales poseen una capacidad para extraer, metabolizar y acumular las sustancias tóxicas presentes en el medio contaminado. En este proceso se suelen usar distintos tipos de especies de las que posteriormente ya fue comprobada su capacidad para el saneamiento. Se conoce que hasta estos días se han identificado al menos unas 400 plantas con capacidad para acumular sustancias tóxicas, cada una con distintos grados de eficiencia. Esta técnica no representa peligro algo para la estructura de los cuerpos a ser tratados, es decir que no afecta negativamente sino todo lo contrario. (Lumelli, 2010)

Según (Núñez López, et al., 2004), el término de fitorremediación fue acuñado por primera vez en 1991. Este se conforma de dos palabras, *fito* que vienen del griego planta o vegetal, y *remediare* que viene del latín que significa remediar. Y en el transcurso de los años se ha definido a la fitorremediación como una tecnología sustentable basada en el uso de plantas para reducir de manera *in situ* la concentración y peligrosidad de contaminantes, sean estos orgánicos o inorgánicos, además de sedimentos en agua y partículas en aire.

1.2.1.1. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación

La fitorremediación representa una gran serie de ventajas entre las que podemos mencionar:

- Se puede realizar tanto *ex situ* como *in situ* por lo que no habría necesidad de transportar el sustrato contaminado en cuestión lo que no implicaría una diseminación de contaminantes a través del aire o agua.
- Es una tecnología sustentable y de bajo costo.
- Puede ser usado tanto con contaminantes orgánicos como con inorgánicos.

- No se requiere de personal experto para ser realizado, es decir, cualquier persona lo puede hacer ya que solo implica prácticas convencionales y sencillas de agronomía.
- Es poco perjudicial para el medio ambiente y estéticamente agradable lo que representa una gran aceptación por el común de la población.
- Puede ser empleado para la descontaminación de agua, suelo, aire y sedimentos.
- Mejora la calidad del suelo, no solo descontaminándolo sino también incrementando su calidad física y química debido a la formación de forraje. (Núñez López, et al., 2004)

Pero no todo son ventajas y al igual que otras técnicas también posee ciertas desventajas como son:

- Puede llegar a ser un proceso relativamente lento, en especial si se trata de árboles grandes o arbustos.
- Se recomienda aplicarse únicamente en lugares con concentraciones relativamente bajas de contaminantes, ya que de otra manera el crecimiento y desarrollo de la planta se verá directamente afectado.
- En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes que han sido acumulados en las hojas pueden volver al ambiente.
- Se requieren espacios grandes donde se puede favorecer la aparición y el aumento de plagas. (Núñez López, et al., 2004)

1.2.1.2. Fases de transporte de los Contaminantes en la Fitorremediación

Los mecanismos de transporte del contaminante varían de acuerdo a cada especie de planta además de estar determinado por el tipo de metal, la eficiencia de absorción de la planta, traslocación y secuestro. Por lo que se han definido tres fases en las que las plantas absorben y acumulan metales pesados. (Navarro-Aviñó, 2007)

Tabla 1-1. Fases de transporte de contaminantes en la Fitorremediación

FASE	PROCESO
FASE I	En donde los metales pesados son transportados al interior de la planta y consecuentemente al interior de las células. Siendo la raíz el tejido principal que permite la entrada del contaminante gracias a que posee cargas negativas en sus células que interactúan con las positivas de los metales pesados creando un equilibrio que permite la entrada.

FASE II	Una vez los metales se encuentran dentro de la planta, estos son secuestrados o agrupados gracias a ligandos específicos y quelantes propios de las plantas, como son fitoquelatinas y las metalotioneinas que tienen una gran afinidad por el Zn, Cd, Hg y Cu.
FASE III	En esta última fase se lleva a cabo la compartimentalización y detoxificación, en donde finalmente y gracias a la unión ligando-metal este queda retenido dentro de las vacuolas de las células.

Fuente: (Delgadillo López, et al., 2011)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

En cuanto a la manera en cómo se realiza la fitorremediación dentro de la planta, todo se produce a través de procesos bioquímicos dentro de dicha planta junto con la ayuda de microorganismos que se encuentran asociados a sus raíces, los cuales en conjunto conllevan a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y la estabilización de los contaminantes. (Núñez López, et al., 2004)

1.2.1.3. Principales mecanismos de Fitorremediación

- *Fitoestabilización*

Es un proceso que consiste en la inmovilización de contaminantes en el suelo mediante la absorción de los mismos y su posterior acumulación en las raíces o zona rizósfera si se trata de precipitación. Este mecanismo ayuda a reducir la movilidad de contaminantes evitando su traslado a cuerpos subterráneos de agua o al aire. (Muñoz, 2013)

Una desventaja de esta estrategia es que es únicamente aplicable en suelos que posean textura fina y que tengan alto contenido de materia orgánica. Así es aplicado principalmente en terrenos de gran extensión con contaminación superficial. (Delgadillo López, et al., 2011)

- *Fitoextracción o fitoacumulación*

Este método consiste en la absorción de metales a través de la raíz de la planta y su posterior acumulación en tallos y hojas. Por lo que el primer paso para empezar con esta técnica es la selección de las plantas indicadas para los metales que se encuentren como contaminantes. Una vez la planta se ha terminado de desarrollar, se procede al corte de las mismas y su respectiva incineración para culminar con la ubicación de las cenizas en un lugar seguro. Una ventaja de este proceso es que se puede repetir las veces que se deseen hasta obtener el resultado esperado. (Muñoz, 2013)

- *Fitovolatilización*

En el trabajo de (Delgadillo López, et al., 2011), se redacta a esta estrategia de biorremediación como un método en donde las plantas absorben agua contaminada mientras van creciendo. Muchos de estos contaminantes llegarán a las hojas y posteriormente a evaporarse o volatilizarse en la atmósfera. En este proceso y como dice su nombre, se eliminarán compuestos orgánicos volátiles como: benceno, nitrobenceno, tolueno, etilbenceno y m-xileno, así como arsénico (As), selenio (Se) y mercurio (Hg).

- *Fitoimmobilización*

Como nos cuentan (Carpena & Bernal, 2007), en el mecanismo de la fitoimmobilización se produce la sujeción y reducción de disponibilidad del contaminante a través de la producción de otros compuestos químicos en la unión del suelo con la raíz, los cuales como fue mencionado anteriormente, inactivan las sustancias tóxicas mediante absorción, adsorción o precipitación.

- *Fitodegradación*

Según (Muñoz, 2013) en la fitodegradación, tanto plantas como microorganismos al trabajar en conjunto llegan a degradar los contaminantes orgánicos y convertirlos en productos inofensivos, o en otros casos, convertirlos en CO₂ y H₂O. Los tejidos vegetales son los encargados de metabolizar estos contaminantes al producir enzimas (dehalogenasa y la oxigenasa) que ayudarán en la degradación.

- *Rizofiltración*

Finalmente en la rizofiltración, se usan para eliminar contaminantes de cuerpos de agua los cuales serán absorbidos por la raíz. Usualmente son plantas cultivadas de manera hidropónica una vez que se encuentran completamente desarrolladas para que estas sean capaces de absorber y acumular los contaminantes. (Muñoz, 2013)

1.2.1.4. Fitorremediación de Metales Pesados

La fitorremediación para tratar contaminación con metales pesados ha sido una técnica relativamente nueva, para esto se usan diferentes plantas con la capacidad de bioacumular dichos metales y/o radionucleótidos ya sea en sus hojas o raíces, esto representa una opción rápida y barata para eliminar, disminuir o transformar estos contaminantes. (Toxicología, 1999)

Así que a través de la bibliografía de (Singh, et al., 2013), se ha resumido este proceso en el siguiente diagrama:

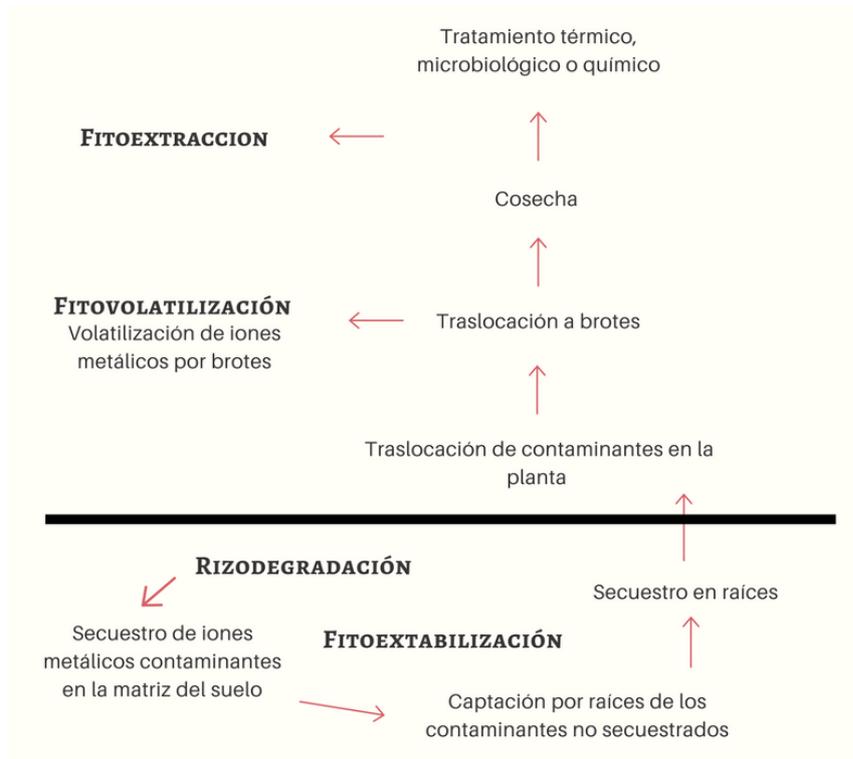


Figura 1-1. Proceso de fitorremediación de metales pesados
Fuente: (Singh, et al., 2013)

1.2.1.5. Fitorremediación con plantas acuáticas

Desde tiempos inmemorables, las plantas vasculares acuáticas han sido consideradas como una plaga en cuerpos de agua que contengan los nutrientes necesarios para su desarrollo. Esto se debe a que poseen una rápida proliferación lo que dificulta el equilibrio de la vida en dichos sistemas acuáticos. No obstante en los últimos años se ha empezado a considerar que estas plantas podrían ser fácilmente manejadas y volverse de gran utilidad gracias a su capacidad para remover y acumular varias clases de contaminantes, además de que su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía, fibra y forraje. (Núñez López, et al., 2004)

Así también (Núñez López, et al., 2004) también nos comenta que según datos históricos, los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales donde se usaban plantas acuáticas fue en los países europeos en los años 60's en donde se usaban juncos y carrizos. Es desde ahí que dichos sistemas se han ido perfeccionando poco a poco además de haberse diversificado gracias a que su aceptación y aplicación es cada vez más grande.

1.2.1.6. *Sistemas de Fitorremediación Acuática*

Los sistemas de fitorremediación acuática pueden presentarse de cuatro tipos:

- *Humedales construidos*

Los mismos que (Núñez López, et al., 2004) definen como, “un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y subemergente, animales y agua que simula los humedales naturales, diseñado y hecho por el hombre para su beneficio.”

- *Sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes*

Estos pueden tratarse de estanques naturales o construidos antropológicamente en donde se ubican plantas flotantes para el tratamiento de aguas residuales.

- *Sistema de tratamiento integral*

Es una combinación del sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes y del de humedales.

- *Sistema de rizofiltración*

El cual está basado en “hacer crecer, mediante cultivos hidropónicos, raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas.” (Núñez López, et al., 2004)



Figura 2-1. Raíz de lirio acuático en tratamiento con Pb (Rizofiltración).

Fuente: (Núñez López, et al., 2004)

A través de tantos estudios, se ha ido demostrando que dichos sistemas son capaces de remover de manera eficaz contaminantes como fosfatos, nitratos, fenoles, metales pesados, bacterias,

virus, entre otros, provenientes de industrias como la lechera, textil, azucarera, destilaría y metalúrgica.

1.2.2. Bioindicadores

La palabra Bioindicador, hace referencia a todas aquellas especies o conjunto de especies que gracias a sus características como sensibilidad a las perturbaciones ambientales, abundancia, éxito reproductivo, etc., pueden ser utilizadas para determinar el estatus de un medio, condiciones ambientales u otras especies. Es decir, que estas cambiaran en presencia de cambios en el ambiente en que habitan. (Gonzalez Zuarth, et al., 2014)

1.2.2.1. Clasificación de los Bioindicadores

De acuerdo al tipo de disturbio que son capaces de detectar, se clasifican en:

- *Indicadores de biodiversidad:* aquellas que reflejan el número de especies de los taxones que viven en conjunto.
- *Indicadores ecológicos:* organismos sensibles a la presencia de cambios ambientales los cuales ayudan a conocer el impacto de dichos cambios sobre otras especies que habitan en la misma localidad.
- *Indicadores ambientales:* especies de las cuales ya se conoce su respuesta a distintos cambios ambientales y son usados para determinar perturbaciones ambientales a través de una respuesta específica. (Gonzalez Zuarth, et al., 2014)

De acuerdo a la manera de reaccionar frente a disturbios ambientales, se clasifican en:

- *Detectores:* son aquellos que sufren un aumento de mortalidad y alteraciones reproductivas ante la presencia de cambios ambientales.
- *Exploradores:* especies que sufren un crecimiento poblacional explosivo ante la desaparición de la competencia o por el aumento de nutrientes que serían ocasionados por disturbios ambientales.
- *Acumuladores:* estos organismos, gracias a su resistencia a ciertos contaminantes son capaces de acumularlos en sus tejidos sin sufrir daño aparente. (Gonzalez Zuarth, et al., 2014)

De acuerdo a su importancia ecológica o popularidad, las especies se clasifican en:

- *Especies bandera*: especies que gracias a su belleza son de gran popularidad entre el público en general e investigadores.
- *Especies centinelas*: aquellas que por ser similares a los humanos, sea en su fisiología o dieta, además de ser sensibles a contaminantes, toxinas o patógenos, ayudan a la identificación temprana de efectos a la salud.
- *Especies claves*: organismos que gracias a sus efectos sobre el ecosistema tienen un papel de gran importancia en la estructura de una comunidad ecológica.
- *Especies sombrilla*: aquellas que ayudan a la protección y conservación de otras especies. (Gonzalez Zuarth, et al., 2014)

1.2.2.2. Ventajas y desventajas de los bioindicadores

Entre las ventajas del uso de bioindicadores tenemos:

- Se pueden encontrar en todos los sistemas lo que favorece realizar estudios comparativos.
- Ya que son sedentarios, permiten un efectivo análisis de los efectos de las perturbaciones.
- Son sensibles a cambios ambientales.
- Son de bajo costo.
- Los efectos causados por los cambios se pueden observar fácilmente.
- Ayudan a la identificación de las fuentes de los contaminantes.

Poseen una gran ventaja frente a equipos o maquinaria ya que los bioindicadores vivirán en su propio hábitat por lo que frente a cualquier perturbación estos estarán activos a cualquier hora o momento. (Capó, 2002)

Entre las desventajas del uso de los bioindicadores, podemos mencionar:

- Estos no ofrecen mediciones puntuales.
- La variación en su genotipo y su edad podrían dificultar su estudio.
- Pueden estar previamente contaminados sin que nos demos cuenta.
- Pueden estar influenciados por otros elementos como su entorno, ya sea suelo, aire o agua.
- Toman de más tiempo
- La información que nos dan es únicamente cualitativa, no cuantitativa. (Capó, 2002)

1.2.2.3. *Plantas como bioindicadores*

El uso de bioindicadores o indicadores biológicos, ayuda en la búsqueda de información sobre la presencia y los niveles en los que se encuentran diferentes tipos de contaminantes en un medio específico. Como se señaló anteriormente, estos cambios se ven reflejados en su comportamiento, reproducción, mortalidad, etc. En cuanto a las plantas, la presencia de contaminantes se verá reflejada en su marchitación, vigorosidad, necrosis, así como existen casos en donde dichos contaminantes al contrario de matar a la planta, la ayudarán a tener una mejor vida. (Cuevas & Gomez, 2016)

Es por eso que las plantas a ser tomadas en cuenta como bioindicadores deben cumplir con ciertas características, como su sensibilidad al contaminante a estudiarse, su capacidad de adaptación al medio en donde se ubicará, además de características físicoquímicas, microclimáticas, biológicas y funcionales, así como los conocimientos previos que podamos tener a cerca de dicha especie y su desarrollo. (Zona, 2016)

- *Vigorosidad*

Al hablar del vigor de una planta nos estamos refiriendo a todas las características externas las cuales se verán afectadas por el medio donde estas se encuentran. Por lo que no es estrictamente necesaria que una planta sea alta, verde o gruesa para ser considerada vigorosa, cada planta tiene sus propias características. (Cordero, 2010)

Se pueden diferenciar dos tipos de vigor: el Vigor Genético que es aquel propio de cada variedad de planta, y el Vigor de Cultivo el cual no dependerá de la variedad sino de otros aspectos como la calidad y rendimiento. (Rey, 2015)

1.2.3. *Plantas acuáticas (macrófitas acuáticas)*

Las plantas acuáticas, como su nombre lo indica, son aquellas que a diferencia de las terrestres, usan el agua como su hábitat pudiendo también habitar pedazos de tierra con altísima cantidad de humedad (lodos). También son conocidas como plantas palustres. (Sanchez, 2017)

Al hablar de macrófitas acuáticas nos referimos a formas macroscópicas de vegetación. Estas son plantas que pueden llegar a alcanzar un tamaño importante dependiendo de los nutrientes que contenga su medio. Por ejemplo los juncos pueden llegar a alcanzar una altura mayor al

metro, los esparganios pueden superar los dos metros y los carrizos pueden superar los tres metros. (Huerto, 2017)

En cuanto a la morfología de estas plantas, todo diferirá dependiendo de la especie de que se trate. Por ejemplo, tenemos al Jacinto de agua, el cual es una planta de agua dulce con crecimiento ascendente, tallo muy corto, color verde y presencia de espigas de flores de lavanda, sus pecíolos son abultados de aire y se encuentran de manera elongada lo que ayuda a su flotabilidad. (Martelo & Lara Borrero, 2011)

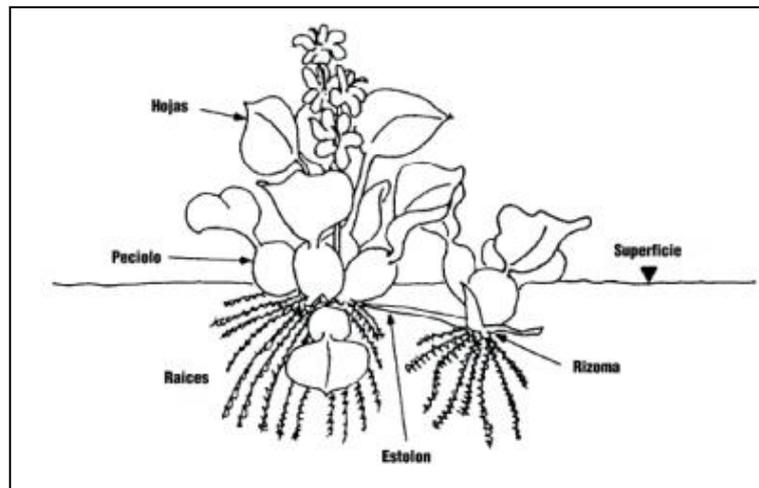


Figura 3-1. Morfología de una macrófita flotante (*Eichhornia crassipes*)

Fuente: (Martelo & Lara Borrero, 2011)

De acuerdo con (Fernandez, 2001) los procesos que se dan para la depuración con macrófitas se realizan a través de tres mecanismos primarios:

- Filtración y sedimentación de sólidos
- Incorporación de nutrientes en plantas y para su posterior cosecha.
- Degradación de la materia orgánica gracias a un grupo de microorganismos facultativos los cuales se encuentran asociados a las raíces y en el fondo de los cuerpos de agua.

1.2.3.1. Tipos de plantas acuáticas

Basándonos en su forma de vida, su morfología y fisiología, las plantas acuáticas pueden dividirse en:

- *Plantas acuáticas fijas al sustrato*

Como su nombre lo indica, las raíces de estas plantas se encuentran enterradas en el suelo del cuerpo de agua donde habitan y generalmente su parte superior se extiende de manera ascendente sobresaliendo del agua (*macrófitas emergentes*), aunque no siempre es así ya que varias pueden permanecer dentro del sistema acuático (*macrófitas sumergidas*) como algunos helechos o musgos, y otras pueden simplemente flotar en la superficie del agua (*macrófitas de hojas flotantes*). (Arreghini, 2015)

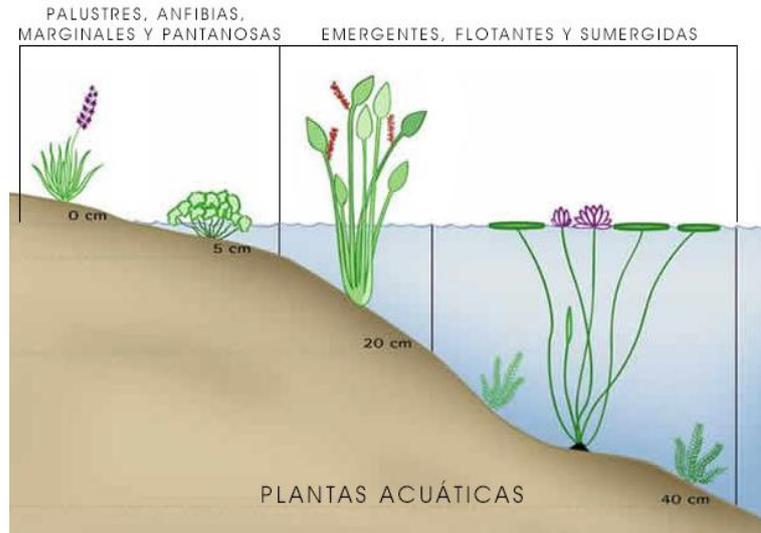


Figura 4-1. Representación de plantas acuáticas fijas al sustrato
Fuente: (AltasCopas, 2017)

- *Plantas acuáticas de libre flotación*

En este tipo de plantas sus tallos y hojas se encuentran flotan sobre la superficie del agua y su raíz, la cual puede ser grande, pequeña o no existir, flota bajo la superficie del agua ya que no se encuentra sujeto al sustrato. Tenemos como ejemplo al lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). (Arreghini, 2015)

1.2.4. *Macrófita acuática Lemna minor Hegelm*

El género *Lemna* hace referencia al conjunto de plantas acuáticas de libre flotación, perteneciente a la familia Lemnaceae, así como al grupo de las angiospermas y monocotiledóneas. Para esta especie es fácil prosperar en cuerpos de agua sin moviendo o de lenta escorrentía, desarrollándose libremente en la superficie del agua. Gracias a su capacidad de adaptación, esta macrófita se ha convertido en la planta flotante más pequeña y simple pudiendo llegar a tener de un tamaño de hasta 1 mm. (Rook, 2004) (Arroyave, 2004)

1.2.4.1. Taxonomía de la *Lemna minor* Hegelm

La taxonomía de la macrófita *Lemna minor* Hegelm fue descrita por el científico sueco Carlos Linneo en 1753, y es detallada a continuación:

Tabla 2-1. Descripción taxonómica de *Lemna minor*

Reino	Plantae
Division	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Arecidae
Orden	Arales
Familia	Lemnaceae
Genero	Lemna
Especie	Minor

Fuente: (Rook, 2004)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

1.2.4.2. Características de la *Lemna minor* Hegelm

La *Lemna minor*, más comúnmente conocida como lenteja de agua o lenteja acuática, es una especie de pequeñas plantas de agua flotantes pertenecientes a la familia de las Lemnaceae.

Sus hojas y tallos están fusionados en una estructura común, es decir, que no se diferencia uno del otro, a este tipo de estructura se la conoce como *fronda* o *talo*. Esta estructura formada es plana y de color verde, de forma suborbicular o elíptica-ovovada en su contorno generalmente simétrico y con una superficie superior lisa. Estas frondas además de poseer tres venas, rara vez superan los 5 mm de diámetro. También poseen dos bolsas ubicadas en cada de lado de la parte inferior de la hoja. (Rook, 2004)

Posee una única raíz, pequeña con una medida máxima de 1 cm y de color blanco. Al ser una planta monoica posee flores unisexuales, las flores masculinas están formadas por un solo estambre y las femeninas por un pistilo con un solo carpelo; estas están escondidas dentro de las bolsas en el extremo basal y es poco común que sean visibles. (Arroyave, 2004)

Gracias a que la lenteja de agua posee una composición de células metabólicamente activas que tienen muy poca fibra estructural, su tejido contiene el doble de proteína, grasa, nitrógeno y fósforo en relación otras plantas vasculares. Es así como cada fronda es capaz de absorber

nutrientes a través de toda la planta o no solo a través de la raíz, de esta manera, la planta asimila de manera directa moléculas orgánicas como carbohidratos simples y aminoácidos. Así también gracias a esta estructura, la fotosíntesis de lenteja de agua está dedicada a la producción de proteínas y ácidos nucleicos lo que la convierte en una planta con un alto valor nutritivo. (Rook, 2004)

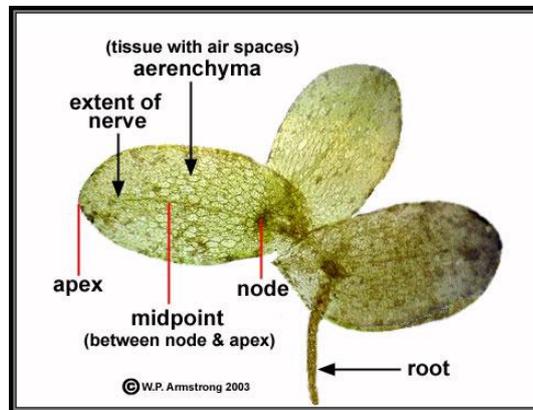


Figura 5-1. *Lemna minor* Hegelm y sus partes
Fuente: (Willows & Valley, 2010)

Finalmente cabe mencionar que su fruto, el cual posee de 1 a 4 semillas, es el más pequeño del mundo, midiendo tan solo 0,3 mm y con un peso de 70 mg. (Armstrong, 1996)

1.2.4.3. Parámetros de Crecimiento de *Lemna minor* Hegelm

Esta es una planta que posee una distribución geográfica mundial, pero es nativa de las regiones templadas de ambos hemisferios incluyendo a América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Se propaga con facilidad en cuerpos de agua dulces, marismas o lagos o arroyos tranquilos, pueden sobrevivir a aguas estáticas o con poco movimiento. (Rook, 2004)

- *Temperatura*

En comparación con otras plantas, la lenteja de agua se puede desarrollar en un rango amplio de temperatura que varía entre 5 y 30°C siendo su rango óptimo entre 15 y 20 °C. Aún así, se conoce que es capaz de sobrevivir en temperaturas de 0 °C por cortos períodos de tiempo, y dado el caso que se encuentre bajo condiciones de congelación, esta permanecerá inactiva en el fondo del cuerpo de agua hasta que vuelvan las condiciones más cálidas. Esto la convierte en una de las plantas acuáticas vasculares más tolerando pudiendo desarrollarse con normalidad en temperaturas de 7 °C. Además cabe mencionar que una vez que la lenteja de agua haya crecido

por sobre toda la superficie, gracias a la radiación proporcionará un incremento y conservación de temperatura en el agua pudiendo alcanzar hasta 10 °C más que las condiciones ambientales. (Jaramillo & Flores, 2012) (Rook, 2004)

- *Iluminación*

Se adapta muy bien a cualquier tipo de iluminación, es decir que puede crecer a pleno sol o sombra densa, así es como para su perfecto crecimiento existe gran variación con respecto a los límites de iluminación tanto máximos como mínimos y sus rangos de saturación, pero todo dependerá de la temperatura del medio y la cantidad de nutrientes que este posea. (Rook, 2004) (Arroyave, 2004)

- *pH*

Puede tolerar un amplio rango de pH, pero sus condiciones óptimas se encuentran entre 4,5 y 7,5. (Poveda, 2014)

- *Necesidad de nutrientes*

Como fue mencionado anteriormente, la lenteja de agua puede desarrollarse en casi cualquier medio, pero su necesidad óptima de nutrientes se verá ligada al consumo de nitrógeno y fósforo, siendo el hierro conocido como uno de sus limitantes. (Arroyave, 2004)

Lemna minor crecerá en agua con valores óptimos de nitrógeno de entre 0,6 y 70 mg/L y valores máximos de entre 200 mg/L y 2800 mg/L. Esta especie usará el nitrógeno manera de iones de amonio o iones nitrato, aunque según estudios cuando ambos se encuentran presentes, preferirá el nitrógeno amoniacal. (Jaramillo & Flores, 2012)

De igual manera el fósforo es de vital importancia para esta especie, siendo la fuente principal los fosfatos. Los límites óptimos para la lenteja de agua son entre 0,4 y 10,9 mg/L, y el límite máximo reportado de 1500 mg/L. Así también se han encontrado plantas de este tipo creciendo en cuerpos de agua con concentraciones muy bajas de fósforo (0,0007 mg/L). (Jaramillo & Flores, 2012)

1.2.4.4. *Reproducción y Cultivo de Lemna minor* Hegelm

Sobre su reproducción, se conoce que puede llegar a reproducirse a través de semillas o de manera vegetativa siendo esta la más común. A diferencia de la mayoría de las plantas, cada fronda de esta especie posee brotes de los que crecerán más frondas, dichos brotes permanecen escondidos en las bolsas de la parte inferior de las hojas más viejas y a medida que van

creciendo estas van emergiendo. Mientras estas nuevas frondas maduran, permanecerán unidas a sus padres para separarse una vez hayan crecido. Aunque también es conocido que la lenteja de agua puede crecer a partir de semillas, producir flores frutos pero esto es muy poco común. (Rook, 2004)



Figura 6-1. *Lemna minor* Hegelm
Fuente: Andrea Cerón, 2017

En cuanto a su cultivo, este se puede dar fácilmente en estanques caseros que posean las condiciones y la cantidad de nutrientes necesarios para su desarrollo. Posee un tiempo de reproducción bastante acelerado pudiendo llegar a cubrir grandes áreas de agua en muy poco tiempo por lo que cuando esto ocurra se deberá empezar a quitar los excesos de plantas para más de ellas pueden seguir creciendo.

1.2.4.5. Usos de *Lemna minor* Hegelm

Entre los usos de la Lenteja de agua, se puede mencionar que:

- Es de gran importancia en la cadena alimentaria, ya que su gran contenido en grasas y proteínas lo ha vuelto una buena fuente de alimento para animales pequeños, como peces y aves de corral.
- Es fácil de cultivar por gran velocidad de reproducción y su gran capacidad de adaptación.
- Poseen una capacidad muy buena para la captación de contaminantes, por lo que es usada en el tratamiento de aguas residuales y fitorremediación en general.
- También es usada en estudios de fitotoxicidad como un buen indicador biológico.

1.2.5. Macrófitas acuáticas *Limnobium laevigatum* Heine

Limnobium laevigatum, comúnmente conocida como Amazon frogbit o mordida de sapo, o trébol de agua. Es una macrófita flotante que ha dado mucho de qué hablar en los últimos años gracias a nuevos aunque aún muy pocos estudios, que la catalogan como una de las plantas acuáticas con más potencial como biorremediadora. Es nativa de Centro y Sur América y crece especialmente en zonas tropicales. (Aponte & Pacherras, 2013)

1.2.5.1. Taxonomía de *Limnobium laevigatum* Heine

La taxonomía de *Limnobium laevigatum* fue descrita por el botánico inglés Nicholas, y es detallada a continuación.

Tabla 3-1. Descripción taxonómica de *Limnobium laevigatum* Heine

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Hydrocharitaceae
Genero	Limnobium
Especie	Laevigatum

Fuente: (Kew, 2010)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

1.2.5.2. Características de *Limnobium laevigatum* Heine

El trébol de agua, es una planta pequeño tamaño que posee hojas generalmente orbiculares las cuales se encuentran dispuestas a manera de roseta. Sus hojas son de apenas de unos pocos centímetros de diámetro (5 cm), con un borde liso y haz brillante. Usualmente las plantas de *Limnobium laevigatum* Heine disponen de una almohadilla en la superficie basal de sus hojas la cual puede alcanzar hasta 1 cm de espesor. (Valderrama, 1996)



Figura 7-1. Distribución de las hojas de *Limnobium*
Fuente: (Rpichu, 2015)

En su estructura se observa que sus hojas están unidas entre sí a través de pequeños tallos, las cuales se encuentran flotando de manera que crecen perpendiculares sobre el agua y no de manera ascendente. Es así como en sus hojas se encuentra un pequeño tejido esponjoso y poroso que ayuda a una perfecta flotación, brindándole estabilidad y manteniéndola firme sobre el agua a pesar del movimiento de la misma.



Figura 8-1. Estructura de flotadores y raíces de *Limnobium laevigatum*
Fuente: Andrea Cerón, 2017

En cuanto a su raíz, se observa que posee raíces largas de color verde claro que pueden alcanzar hasta los 50 centímetros pero todo dependerá del lugar y el espacio que disponga para su crecimiento. Estas suelen funcionar como refugio para peces pequeños.

1.2.5.3. Parámetros de crecimiento de *Limnobium laevigatum* Heine

Como fue mencionado anteriormente, *Limnobium laevigatum* es una especie de macrófitas acuáticas nativas de América, sobre todo se encuentra presente en zonas de climas sub

tropicales, aunque tiene un gran poder adaptación. Suele asentarse en cuerpos de agua sin o con muy poco movimiento.

- *Temperatura*

Es una planta de climas tropicales pero es capaz de adaptarse a un gran rango de temperaturas siendo la mínima de 1 °C. Su rango óptimo se encuentra entre 15 y 25 °C.

- *Iluminación*

Su necesidad lumínica es elevada por lo que sí es cultivada en interiores necesitará de una lámpara fluorescente para su desarrollo óptimo, aunque dicha lámpara deberá ser colocada a una distancia adecuada ya que las hojas pueden llegar a quemarse con mucha facilidad. De igual manera esta especie se puede llegar a adaptar a condiciones de baja iluminación mucho mejor que otras especies.

- *pH*

Es capaz de soportar pH de entre 4,5 y 9, aunque su rango óptimo se encuentra entre 6,1 y 7,8. De igual manera, es capaz de soportar agua medianamente blanda, dura o poco dura.

- *Necesidad de nutrientes*

Al tratarse de una especie flotante, no se necesitara un sustrato para su adecuado desarrollo pero si es vital que el agua donde se encuentra posea una gran cantidad de nutrientes. Al igual que otras especies flotantes, tiene predilección por el Nitrógeno y fósforo, siendo estos nutrientes de gran importancia para su desarrollo.

1.2.5.4. *Reproducción y cultivo de Limnobium laevigatum Heine*

Limnobium laevigatum Heine posee una velocidad de crecimiento media- alta, y puede ser capaz de reproducirse de dos maneras, asexualmente y de forma clonar o por estolones. Siendo la forma asexual la menos común ya que la presencia de flores en este tipo de plantas no es muy usual lo que dificultaría la propagación por este medio. (Poveda, 2014)

En la reproducción clonar, la planta suele extender estolones a manera de brazos de donde surgirán nuevas plantas las cuales permanecerán unidas a su planta madre hasta que alcancen un mejor desarrollo. (Mulca, 2013)

Esta especie es considerada una planta de difícil cuidado ya que a cambios bruscos en su hábitat puede llegar a morir. Su productividad va a varias dependiendo de la época del año siendo verano o la época con mayor temperatura cuando esta alcance su mayor producción de biomasa. (Aponte & Pacherras, 2013)

*1.2.5.5. Usos de *Limnobium laevigatum* Heine*

En los últimos se han desarrollado estudios que demuestran su eficacia para el saneamiento de aguas contaminadas. Como es el caso de (Aponte & Pacherras, 2013) en donde se demostró su eficacia para la remoción de DBO en aguas residuales.

En acuarios plantados se usa como protección para peces subtropicales ya que ayuda a mantener la temperatura del agua, además sus raíces brindan refugio a peces pequeños como los alevines.

1.2.6. Metales Pesados

En la naturaleza podemos encontrar un amplio espectro de elementos que la constituyen, pudiendo ser estos de diferentes fuentes y composiciones distintas. Entre estos elementos que hallamos en la naturaleza se encuentran los metales pesados. Los metales pesados son todos aquellos elementos químicos que por su composición poseen una densidad al menos cinco veces mayor a la del agua, además de ser tóxicos o venenosos en diferentes concentraciones dependiendo del metal en cuestión. (Lenntech, 2010)

Cabe mencionar que los metales pesados son de gran interés económico por lo que desde que fueron descubiertos su explotación únicamente ha ido en aumento. Esto es particularmente perjudicial ya que los metales pesados representan un peligro para el medio ambiente y la salud una vez han sido explotados ya que bajo condiciones normales no representan ningún tipo de problema al ser estos una parte natural de la corteza terrestre. Además de que muchos de estos en pequeñas cantidades, son esenciales para la vida humana, por ejemplo zinc, magnesio, cobre, entre otros, siendo el hierro uno de los más importantes debido a su protagonismo en la formación de hemoglobina, es decir que la ausencia de estos llega a causar enfermedades y daños en la salud, así como su exceso. (Cricyt, 2008)

Al igual que otros elementos en la naturaleza, estos tienen diferentes medios de propagación, siendo los principales:

- Al ser retenidos y luego transformados en el suelo.
- Cuando se volatilizan a la atmósfera.
- Al ser absorbidos por plantas que luego serán consumidas por animales (humanos o no), estos llegarán a ser metabolizados por el organismo.
- Al momento de ser evacuados en aguas de escorrentía, sean estas superficiales o subsuperficiales. (Orejuela, 2016)

Pero la verdadera razón por la cual los Metales Pesados se convierten en un problema es que estos poseen la capacidad de bioacumularse, es decir que estos permanecen en un organismo biológico por una gran cantidad de tiempo sin la opción a ser eliminado o no ser eliminado con prontitud. (Lenntech, 2010)

1.2.7. Cromo

1.2.7.1. Generalidades

Fue descubierto por Johan Gottlob Lehmann quien al realizar un estudio en los Urales divisó un compuesto rojizo (crocoíta), nueve años más tarde, el zoólogo alemán Peter Simon Pallas al pasear por el mismo lugar se volvió a topar con este mineral que más tarde emplearía como pigmento para obras de arte, derivándose de aquí el amarillo brillante y amarillo de cromo. Al finalizar el siglo XVIII, el químico francés Vauquelin tras recibir una muestra de crocoíta y mezclarlo con ácido clorhídrico, pudo producir óxido de cromo. Y fue él quien años más tarde le daría el nombre con el que ahora todos lo conocemos, “Cromo” que viene del griego *chroma* debido a la variedad de colores que producen sus compuestos. Es a partir del siglo XIX cuando se lo empieza a usar de manera más frecuente en pinturas y en aditivos en aceros, y fue ya en el siglo XX donde se implementa de mejor manera su uso en la industria metalúrgica. (Gutzeit, 2008)

El Cromo es un elemento químico, siendo el número 24 en la tabla periódica y perteneciendo al grupo de los metales de transición. Es un metal pesado de color gris y de gran resistencia a la corrosión.

Tabla 4-1. Propiedades físico-químicas-atómicas del Cromo

PROPIEDAD	VALOR
Número atómico	24
Valencia	2, 3, 4, 5, 6
Estados de oxidación	6, 3, 2

Electronegatividad	1,6
Radio covalente (Å)	1,27
Radio iónico (Å)	0,69
Radio atómico (Å)	1,27
Masa atómica (g/mol)	51,996
Densidad (g/ml)	7,19
Punto de ebullición (°C)	2665
Punto de fusión (°C)	1875

Fuente: (Lenntech, 2012)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

El Cromo es obtenido a partir de la Cromita, la cual comercialmente es obtenida después de calentarse en presencia de aluminio. Los depósitos más grandes de cromita se encuentran en África del sur, India y Turquía. Aunque fue en los últimos años que en Rusia fueron descubiertas pequeñas minas de cromo metal en donde el ambiente ha facilitado la formación de cromo elemental. La mayor parte del cromo obtenido es usado en aleaciones con otros minerales para mejorar sus diferentes propiedades. (Guzman, 2011)

1.2.7.2. Cromo en la Industria

A lo largo de los años y desde que fue descubierto, el Cromo ha sido usado en diferentes tipos de Industrias, comenzando desde el arte como pigmento para pinturas y más adelante en otros campos que siguen hasta la actualidad, como es el campo metalúrgico, cerámicos y químicos. Pero el cromo no es usado como tal, sino como aleaciones con otros metales, siendo los principales el níquel, hierro, cobalto o el titanio.

Comenzando con la Industria metalúrgica, según nos cuenta (Gonzalez, 2015) siempre se menciona al cobre como uno de los componentes esenciales para aleaciones con la capacidad de ser inoxidable, ya que el cromo tiene la fama de proporcionar resistencia y brillo en dichas aleaciones. Aunque una de las principales aleaciones de la del Cromo con el Hierro porque es de gran dureza y resistente a las corrosiones. Así mismo, el acero inoxidable es una aleación con cromo el cual se encuentra en presencia de alrededor del 10% lo que le da esa facultad de ser precisamente inoxidable. Este tipo de acero cada vez va abriéndose campo en áreas más amplias como las de construcción, eléctricas, en aparatos de cocina, explotación minera, etc.

Tabla 5-1. Algunos usos del cromo en las Industrias

NOMBRE COMÚN	FORMULA	USO
Cromatos y Dicromatos	$K_2Cr_2O_7$	Como colorantes, inhibidores de la corrosión, fungicidas y esmaltes cerámicos.
Cromato de Plomo	$PbCrO_4$	Colorante conocido como “amarillo de cromo”
Óxido de Cromo	Cr_2O_3	Colorante conocido como “verde de cromo” usado en coloración de vidrios y porcelanas
Dióxido de Cromo	$FeCr_2O_3$	Para recubrimientos
El trióxido de Cromo	CrO_3	Comercializado como ácido crómico
El dicromato de potasio	$K_2Cr_2O_7$	Limpiador de vidrio de laboratorio, fijador de tinte de telas.
bromuro de Cromo	$CrBr$	Conductor eléctrico
Sulfato de Cromo	$Cr_2(SO_4)_3$	Pigmento en pinturas, barnices, cerámicas y tintas

Fuente: (Gonzalez, 2015)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

En cuanto a las industrias cerámicas, el cromo es usado para la fabricación y acondicionamiento de hornos, así como la fabricación de ladrillos y arenas de fundición, además de cristalería. Así como en la Industria química donde se usa en distintos productos como catalizador y pigmento, ya que este brinda un color brillante y permanente. (Gonzalez, 2015)

1.2.7.2.1. El Cromo en el Curtido

Como fue mencionado con anterioridad, el cromo es usualmente utilizado como pigmento en diferentes pinturas y fijador de pinturas para telas, pero este no es todo el uso que se le da ya que es un partícipe importante en el curtido de pieles

El verdadero motivo por el que el Cromo es usado como agente de importancia en este proceso, es porque genera un cuero de mejor calidad, además de que las sales de este elemento dan como resultado un curtido más uniforme, rápido y en una mayor superficie. Por ejemplo, si lo comparamos con las sales de aluminio, estas provocan que el cuero se hinche y que al momento de la ebullición el material se convierta en un cuerpo de consistencia gelatinosa. Así también, el SiO_2 es un elemento que no penetra en la piel de forma regular, consiguiendo que el cuero sea duro, menos resistente y difícil de colorar. Por otro lado, el uso de agentes vegetales es muy lento, durando desde 70 días hasta dos años. (Gratacos, et al., 1962)



Figura 9-1. Curtiembre artesanal
Fuente: (EMAZE, 2015)

Pero el resultado final y la cantidad de cromo como residuo, dependerá de la eficiencia de cada proceso de curtido que está determinado por diferentes variables como: el tiempo de la operación, la temperatura, la oferta del metal y el pH del baño de curtido. Razón por la cual deben existir mayores controles y cuidados en este tipo de procesos, sobre todo en aquellos que se realizan de manera artesanal. (Chavez, 2010)

1.2.7.3. El Cromo y su Impacto Ambiental

El Cromo una vez liberado luego de su utilización, puede ser depositado en tres diferentes fuentes, aire, suelo o agua. Estas emisiones se pueden dar gracias a la actividad humana como son las industrias donde es utilizado, de manera que las formas de liberarlo pueden ser a través de chimeneas o aguas industriales mayoritariamente. (Cado, 2000)

Pero los efectos dependerán de la variedad de Cromo que sea liberado en el ambiente, pudiendo ser Cromo (III) o Cromo (VI) los más comunes, siendo el Cromo (VI) el más peligroso para la salud y el medio ambiente, ya que como fue mencionado anteriormente, los seres humanos necesitamos del Cromo (III) para ciertas funciones de nuestro organismo y este solo sería dañino en concentraciones muy elevadas. Se conoce que las industrias que más lo liberan son las industrias textiles, metalúrgicas, de pinturas, entre otras. (Lenntech, 2012)

En cuanto a la contaminación del aire con cromo, (Cado, 2000) nos dice que no representa un gran peligro, ya que las precipitaciones nos ayudan a remover la presencia de este, de manera que el tiempo promedio que el cromo está presente en el aire es de 10 días, ya que la lluvia o nieve lo llevará a ubicarse en el suelo o cuerpos de agua por lo cual se convertirá en un diferente tipo de contaminación. Mientras que en el agua es una historia diferente ya que este puede permanecer un muy largo tiempo antes de sedimentar al fondo de los diferentes cuerpos de agua.



Figura 10-1. Causas de un río contaminado con cromo
Fuente: (Lopez, 2016)

Un dato curioso de este elemento es que los peces no lo acumulan en su cuerpo como pasa por ejemplo con el mercurio, por lo que no se corre peligro de ingerir animales acuáticos contaminados con cromo, obviamente dependiendo del lugar donde vivamos y que tan expuesto esté nuestro medio a este contaminante. Aún así, se conoce que los peces pueden llegar a sufrir daños en su salud, como llagas en la piel, defectos de nacimiento y formación de tumores, los cuales serían visibles si nos llegásemos a topar con un animal afectado por un contaminante de este tipo. (Lenntech, 2012)

Al hablar de cromo como contaminante del suelo nos referimos a cromo insoluble en agua, de este únicamente cantidades mínimas pueden llegar a ser disueltas, pero todo dependerá de la manera en que este metal se encuentre dispuesto en la corteza terrestre. (Cado, 2000) Teniendo esto en cuenta se debe mencionar que las plantas que se encuentren en tierra contaminada con este elemento, absorberán el mismo y quedarán de igual manera contaminadas. Esto puede suceder en suelos agrícolas donde las plantas que se encuentren en él serán para el consumo humano o animal. Uno de los factores que favorecerá la absorción de cromo por las plantas es la acidez del suelo, siendo el Cromo (III) uno de los más comunes. (Lenntech, 2012)

1.2.7.4. El Cromo y su Impacto en la Salud

La población en general, está expuesta en su mayoría al Cromo (III) de diferentes maneras, como son:

- El consumo de agua contaminada con este metal
- La inhalación de aire proveniente de diferentes industrias, o de otras fuentes como sucede con aerosoles, humo de cigarrillos, combustión de carbón, entre otros.
- El consumo de alimentos contaminados

- Exposición dérmica al usar productos que contengan este elemento, como madera que haya sido tratada con dicromato de cobre, o el uso de prendas o accesorios de cuero que anteriormente fue curtido con sulfato de cromo. (Noriega, 2011)

En general, se promedia que la ingesta diaria de este metal por los seres humanos tanto en aire, agua y aire, es de 0,2 a 0,4 microgramos, los cuales al ser tan pequeños son generalmente eliminados en las heces y no retenido en el cuerpo humano. (Cado, 2000)

El Cromo (III) no es específicamente nocivo para la salud humana ya que es uno de los elementos necesarios por nuestro cuerpo para sintetizar azúcares, proteínas y grasas. Mientras que, la exposición a Cromo (VI) si representa un verdadero problema, es decir, que mientras se necesitan de muy altas concentraciones de Cromo (III) para ocasionar problemas, se necesitará de concentraciones muy bajas de Cromo (VI) para que esto sea así. (OEHHA, 2016)

Comenzando con las vías respiratorias, inhalar altas concentraciones de Cromo (VI) representará la afección del revestimiento interno de la nariz, lo que podría llegar a causar úlceras nasales, alergias como sibilancias o dificultad para respirar, además de problemas más graves como asma o cánceres nasales o de pulmón. (ATSDR, 2016) (OEHHA, 2016)



Figura 11-1. Cáncer de pulmón
Fuente: (Diario Las Américas, 2013)

Pero, ¿qué llega a pasar si se ingiere este metal? Pues sus efectos son muy variados, van desde úlceras estomacales tanto en el estómago como en el intestino delgado, anemia y cáncer al estómago principalmente aunque puede ocasionarse en cualquier órgano del aparato digestivo. Así también, las afecciones el sistema reproductivo son considerables ya que se han observado que produce daño en los espermatozoides causando así esterilidad. (ATSDR, 2016)

La (OEHHA, 2016) ha calculado la cantidad de casos de cáncer producidos por la exposición constante a Cromo (VI) en el lapso de tiempo de 30 años, los cuales son de 25 en un millón, concluyéndose también que la exposición por períodos más cortos disminuirá este riesgo. Estos datos han sido confirmados por organizaciones como la DHHS, IARC y la EPA.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO Y EXPERIMENTAL

2.1. Metodología

2.1.1. *Tipo de investigación*

Esta es una investigación de tipo descriptiva – correlacional, ya que a través de las variables planteadas se verificará la relación que existe entre dichas variables para posteriormente analizar y describir los resultados obtenidos. También se tratará de una investigación de tipo longitudinal debido a que los datos que van a recolectarse serán tomados de manera consecutiva en determinados períodos de tiempos

Es una investigación experimental, ya que se basará en investigar, manipular y analizar diferentes variables en condiciones determinadas con la finalidad de realizar análisis y describir el desarrollo de la investigación, pudiendo así aceptar o rechazar las hipótesis generadas al realizar este estudio.

2.1.2. *Diseño de la Investigación Experimental*

Para el presente estudio se utilizó un Diseño experimental Completamente al Azar (DCA) con: dos especies de plantas acuáticas, tres concentraciones del contaminante (Cromo (VI)) y tres repeticiones de cada concentración. Se tuvo el control de diferentes parámetros ambientales, se determinaron las condiciones iniciales, medias y finales del agua, así como la concentración de Cromo (VI). Además se llevó el control de manera periódica de los efectos físicos causados por el agua contaminada en las dos especies vegetales acuáticas utilizadas en la experimentación, como se detalla más adelante.

Posteriormente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey al 5% para la separación de medias cuando estas sean significativas.

2.1.3. Unidad de Análisis

En la presente investigación se tuvo como unidad de análisis, el agua contaminada con Cromo (VI).

2.1.4. Población de estudio

La población de estudio fueron las macrófitas acuáticas *Lemna minor* y *Limnobium laevigatum*.

2.1.5. Tamaño de la Muestra

- *Agua contaminada con Cromo (VI)*

Se usaron 9 litros de agua contaminada con Cromo (VI) por cada repetición del tratamiento (18) dando un total de 162 litros.

- *Lemna minor*

Basados en estudio de (Arenas, et al., 2011) se determinó el uso de 45 gramos de esta especie, en donde al contar un porcentaje de esta y realizar una multiplicación simple, se determinó un total de 5265 plantas.

- *Limnobium laevigatum*

Teniendo en cuenta el tamaño de las plantas y el espacio que requieren para su correcto desarrollo (Aponte & Pacherras, 2013), se determinó el uso de 5 plantas por cada repetición del experimento, dando un total de 45 plantas.

2.1.6. Selección de la muestra

Las especies vegetales usadas fueron adquiridas a acuicultores de la ciudad de Latacunga, quienes ya poseían dichas plantas adaptadas a climas fríos.

Lemna minor fue obtenida en una porción de 200 gramos para posteriormente ser reproducida. Las plantas de *Limnobium laevigatum* fueron obtenidas en su totalidad.

2.1.7. Técnica de recolección de datos

Para llevar a cabo la recolección de datos se utilizaron diferentes técnicas y métodos requeridos según su naturaleza los cuales se detallan a continuación:

Técnica de Observación

A través de esta técnica obtenemos un registro del comportamiento y características de las especies sujetas a la investigación. Las técnicas de observación que fueron empleadas en el estudio se presentan a continuación:

- Vigorosidad de las especies: se determinó la vigorosidad de las especies cada 30 días basados en la bibliografía de (Barchuk & Diaz, 2000)
- Desarrollo de las especies: el aumento de población de las especies se medirá únicamente al finalizar la experimentación
- Color de las especies: los datos sobre el cambio de coloración de las especies se recolectaron cada 10 días.

Técnica Experimental

Los análisis del agua usada en la experimentación fueron realizados en tres fases: al inicio de la experimentación, a los 30 días de la experimentación y al finalizar la experimentación (60 días).

- Se evaluaron los parámetros físico químicos de agua
- Se analizó la Concentración de Cromo (VI) en el agua

2.2. Parte experimental

2.2.1. Diseño, construcción y adecuación del lugar de trabajo

En la ciudad de Riobamba (Ecuador), parroquia Veloz, ciudadela La Joya, se realizó la construcción de un cobertizo tipo invernadero el cual fue desarrollado de acuerdo a las medidas

necesarias y con el único objetivo de protección al experimento. Para construir este espacio, se tomó en cuenta el tamaño de los experimentos a realizarse además de verificarse que posea un diseño funcional.

La construcción fue realizada utilizando 4 vigas de roble, dos de ellas de 150 cm longitud, y las otras dos de 185 cm de longitud, cada una con un ancho de 9 cm. Estas primeras 4 vigas fueron las principales de la estructura y se ubicaron de manera que las dos más largas estuvieran en la parte posterior y las más pequeñas adelante, esto con el objetivo de que el techo tuviera una inclinación que funcionara como caída de agua en caso de lluvias.



Figura 1-2. Cobertizo tipo invernadero para protección del experimento
Fuente: Andrea Cerón, 2017

Para el techo se usaron vigas más delgadas, dos de ellas con una medida de 245 cm, y otras más pequeñas para los laterales, estas fueron ubicadas de manera que formaran la estructura del techo. Además se adicionaron 3 vigas más ubicadas de manera cruzada en la parte superior de la carpa para dar un mejor soporte. Esta estructura luego pasaría a ser forrada con plástico tipo invernadero sujeto con grapas.

Dentro de la carpa se situó un soporte de madera a manera de reja conformado por 4 vigas de 232 cm y 3 más pequeñas de 128 cm. Este soporte fue superpuesto sobre ladrillos con la finalidad de que los experimentos quedaran unos cuantos centímetros sobre la superficie del suelo y no lo tocaran directamente. Sobre esta estructura se ubicarían las tinas que corresponderían a cada experimento.

2.2.2. Reproducción y adaptación de las macrófitas acuáticas

Una vez obtenidas las especies y para el proceso final de adaptación se añadió un nutriente soluble específico que cumplía con las necesidades de las dos plantas.

- ROSASOL – EVEN

Se trata de un fertilizante completo de la marca belga Rosier, el cual es soluble en agua y posee un balance NPK de 20 – 20 -20 además de otros nutrientes que se detallan a continuación.

Tabla 1-2. Contenido de nutrientes de ROSASOL – EVEN

CONTENIDO		%	
Nitrógeno Total	Nitrógeno amoniacal	4 %	20 %
	Nitrato de nitrógeno	6 %	
	Nitrato ureico	10 %	
P ₂ O ₅ soluble en agua		20 %	
K ₂ O soluble en agua		20 %	
Cobre		75 ppm	
Zinc		230 ppm	
Manganeso		320 ppm	
Boro		100 ppm	

Fuente: (Rosier, 2016)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Para la aplicación de este fertilizante se tuvieron en cuenta las recomendaciones del fabricante. Además del uso de los cálculos correspondientes, lo cual también debe tomarse en cuenta si se tratase de otro tipo de cultivo con otras necesidades nutricionales, entonces será prudente buscar otro fertilizante o realizar los cálculos necesarios según se trate de cultivos en suelo o hidropónicos.

2.2.3. Dimensionamiento de los contenedores

Teniendo en cuenta la morfología de las especies acuáticas a usarse y basados en el estudio de (Arenas, et al., 2011) se trabajó con contenedores de 29 cm de largo, por 25 cm de ancho y 14 cm altura. Así es como se obtuvo el volumen a usarse en la experimentación, calculado como un recipiente cúbico.

Ecuación 1-2:

$$Volumen = a * b * c$$

En donde a, b y c, representan el largo, ancho y altura del recipiente respectivamente. De este volumen total y basados en la bibliografía de (Jaramillo & Flores, 2012) y (Arenas, et al., 2011) se determinó utilizar 9 litros para la experimentación.

2.2.4. Preparación de los contenedores

Para esta investigación se utilizaron 20 recipientes plásticos cada uno con una capacidad de 10 litros. Antes de ser usados se limpiaron minuciosamente con agua y posteriormente fueron desinfectados con alcohol para así evitar cualquier clase de contaminación externa y ralentizar la posible aparición de algas al fondo de los recipientes.

2.2.5. Preparación del medio líquido

Para la preparación del medio líquido se utilizó agua destilada en donde se disolvió Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) con una pureza del 99%. Basándonos en estudios realizados por (Prieto, et al., 2009) y (Gordillo & Toledo, 2013) se decidió trabajar con concentraciones de 10, 20 y 30 mg/L.

Para obtener estas concentraciones deseadas y teniendo en cuenta que el reactivo usado se encuentra mezclado con otros elementos, se realizó la disolución basándonos en la relación que existen entre los componentes. Por lo que se aplicó una multiplicación entre volumen, la concentración deseada y el peso molecular.

Ecuación 2-2:

$$Volumen * Concentración deseada * Peso Molecular = gramos a pesar$$

Teniendo esto en cuenta y de manera más detallada, se expresa la siguiente fórmula:

Ecuación 3-2:

$$L * \left(\frac{mg Cr^{+6}}{L} \right) * \left(\frac{gr K_2Cr_2O_7}{2(gr Cr^{+6})} \right) = mg K_2Cr_2O_7$$

Finalmente, se realizará la transformación correspondiente de las unidades, en este caso de miligramos a gramos.

2.2.6. Disposición de platas y experimentos

Una vez las especies fueron adaptadas y se contaba con la cantidad necesaria, se procedió a la disposición en cada experimento, cuyo diseño se encuentra detallado en las siguientes tablas.

Tabla 2-2. Diseño y distribución de *Lemna minor* Hegelm

Macrófita Acuática	Concentración de Cromo (VI)	Número de Repetición	Peso de Plantas	Abreviatura a Usarse
<i>Lemna minor</i>	A	1	45 g	MA1
		2	45 g	MA2
		3	45 g	MA3
	B	1	45 g	MB1
		2	45 g	MB2
		3	45 g	MB3
	C	1	45 g	MC1
		2	45 g	MC2
		3	45 g	MC3

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Tabla 3-2. Diseño y distribución de *Limnobium laevigatum* Heine

Macrófita Acuática	Concentración de Cromo (VI)	Número de Repetición	Cantidad de Plantas	Abreviatura a Usarse
<i>Limnobium laevigatum</i>	A	1	5	LA1
		2	5	LA2
		3	5	LA3
	B	1	5	LB1
		2	5	LB2
		3	5	LB3
	C	1	5	LC1
		2	5	LC2
		3	5	LC3

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

2.2.7. Plan de monitoreo

2.2.7.1. Monitoreo de Parámetros Ambientales

En cuanto a la medición de los distintos parámetros a estudiarse y tener en cuenta, se dispuso el siguiente plan de monitoreo.

Tabla 4-2. Plan de control de parámetros ambientales

Parámetro	Frecuencia	Equipo	Técnica
Temperatura	Diaria. Tres veces al día (6 am, 2 pm y 10 pm)	Termómetro ambiental con sensor para el agua.	Observación
Humedad	Diaria. Tres veces al día (6 am, 2 pm y 10 pm)	Higrómetro	

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

2.2.7.2. Monitoreo para Análisis de Calidad del Agua

En el plan de control de la Calidad del Agua se estableció que los análisis serían realizados cada 30 días. En los monitoreos de calidad del agua se analizaron los parámetros que se mencionan a continuación.

Tabla 5-2. Plan de control de calidad del agua

Parámetro	Frecuencia	*Método
Características del agua	Una inicial y luego cada 30 días	pH 4500-B
Temperatura 2510-B		
Conductividad 2550-A		
Sal Potenciométrico		
Sólidos Totales Disueltos 2540-D		
Concentración de Cromo (VI)	Una inicial y luego cada 30 días	8023

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

2.2.7.3. Monitoreo de los Cambios Físicos en las Especies Vegetales

Se tuvieron en cuenta aspectos que puedan ser evaluados en las dos especies de macrófitas acuáticas.

Tabla 6-2. Plan de control de los cambios aparentes en las especies vegetales

Especie	Parámetro	Frecuencia	Técnica
<i>Limnobium</i>	Color de las hojas	Cada 10 días	Observación
<i>laevigatum</i>	Vigorosidad	Cada 30 días	
	Disminución de la población	Al finalizar el experimento	
<i>Lemna minor</i>	Color de las hojas	Cada 10 días	
	Vigorosidad	Cada 30 días	
	Disminución de la población	Al finalizar el experimento	

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

2.2.8. Análisis de las unidades experimentales

2.2.8.1. Análisis de la Calidad del Agua

Los análisis de los parámetros físico-químicos del agua así como la concentración de Cromo (VI) fueron realizados en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, según los equipos y métodos que se mencionan a continuación.

- *Análisis de los parámetros Físico-químicos del agua*

La medición del pH, dureza, conductividad, sólidos disueltos y concentración de sal, fueron medidos a través del Equipo Consort C562 el cual es un analizador multiparamétrico digital que nos brinda medidas exactas de los parámetros que deseamos conocer.

Tabla 7-2. Métodos analíticos para la caracterización del agua

Parámetro	*Método
pH	4500-B
Conductividad	2510-B
Temperatura	2550-A
Sal	Potenciométrico
Sólidos Disueltos	2540-D

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Análisis de la concentración del Cromo (VI)*

Para conocer la concentración de Cromo (VI) del agua se utilizó un Espectrofotómetro DR 2800 para lo cual se emplearon los siguientes pasos:

a) Diluciones

Ya que las concentraciones de Cromo (VI) que teníamos en nuestra agua era muy alta y teniendo en cuenta que el espectro del fotómetro solo mide en un espectro de (0,01 – 0,700 mg/L), se debieron realizar diluciones. Dichas diluciones fueron llevadas a cabo de la siguiente manera:

- ✓ Para la concentración A (10 mg/L)

Primera dilución: 10 mL de muestra + 90 mL de agua destilada

Segunda dilución: 50 mL de dilución 1 + 50 mL de agua destilada

- ✓ Para la concentración de B (20 mg/L)

Primera dilución: 10 mL de muestra + 90 mL de agua destilada

Segunda dilución: 25 mL de dilución 1 + 75 mL de agua destilada

- ✓ Para la concentración C (30 mg/L)

Primera dilución: 10 mL de muestra + 90 mL de agua destilada

Segunda dilución: 16,6 mL de dilución 1 + 83,4 mL de agua destilada

b) Uso del espectrofotómetro (Método 8023)

Para el uso del espectrofotómetro utilizado en la presente investigación, para la medición de cromo hexavalente presente en las muestras de agua se siguieron los pasos especificados por el fabricante.

Dicha técnica se encuentra especificada en el siguiente diagrama:

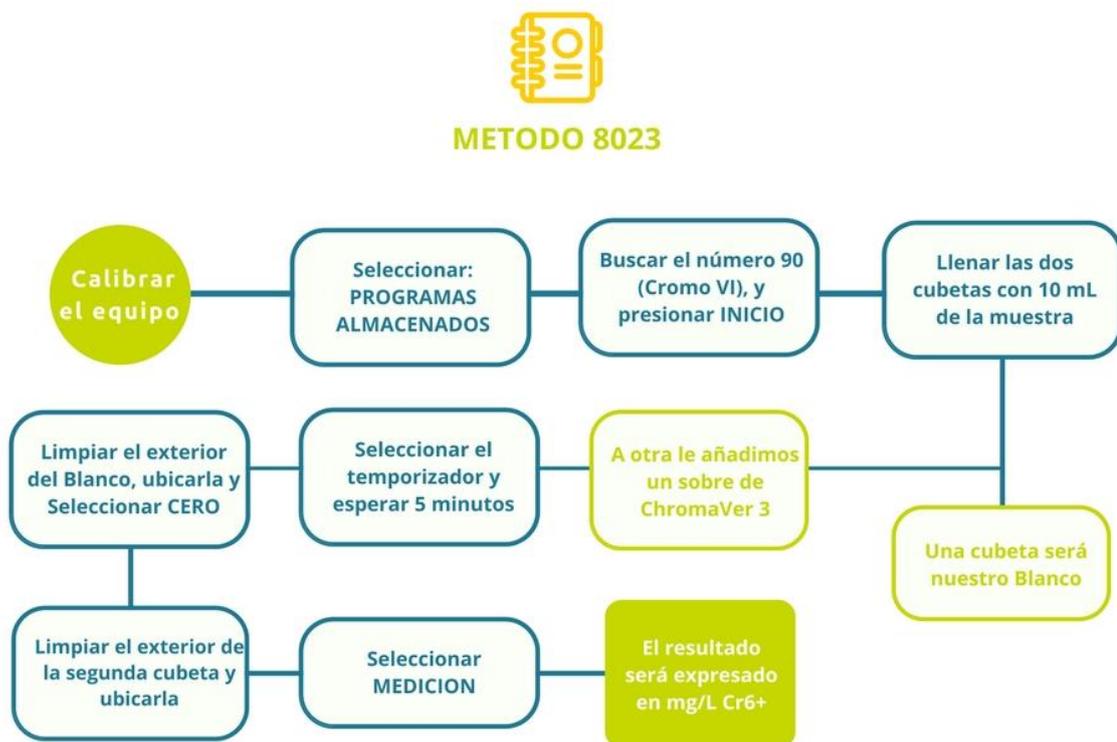


Gráfico 1-2. Método 8023
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

2.2.8.2. *Análisis de la apariencia física de las plantas*

Gracias a la presencia de un grupo testigo de cada especie el cual no fue expuesto a ningún tipo de contaminante, podremos tener un control de los cambios físicos de las plantas. Este grupo se usará como referencia para valorar los cambios evidentes que se den a lo largo del experimento.

- *Coloración*

Debido a que se tratan de datos cualitativos, las observaciones de los cambios de color en las plantas fueron asignadas a números cada uno correspondiente a un color, lo que facilitaría su análisis final.

La escala utilizada es especificada a continuación:

Tabla 8-2. Escala colorimétrica para cambios en las hojas

Escala	Color
5	Verde
4	Verde claro
3	Amarillo
2	Café
1	Café oscuro

Fuente: (Silva, 2017)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Vigorosidad*

De igual manera, al tratarse de datos cualitativos se evaluó la vigorosidad de las plantas a través de una escala adaptada a los valores a evaluarse.

Tabla 9-2. Escala de vigorosidad

Estado	Valor
Muy vigorosa	4
Vigorosa	3
Medianamente vigorosa	2
Débil	1

Fuente: (Orejuela, 2016)

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Mortalidad de las Especies*

Finalmente, se usaron los siguientes valores de referencia para conocer la mortalidad de población vegetal. Estos valores fueron únicamente utilizados para *Limnobium laevigatum* Heine debido a que gracias al tamaño de la especie fue más fácil de evaluar este parámetro. Para *Lemna minor* Hegelm fue utilizada una ecuación la cual se especifica más adelante.

Tabla 106-2. Valores de referencia para la mortalidad de la población vegetal

Criterio	Estado	Valor
Muerte de la planta	Si	1
	No	0

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

2.2.9. Cálculos para determinación de cambios en el experimento

2.2.9.1. Cálculo para conocer el % de Remoción de Cromo (VI) en cada tratamiento

Una vez completado el tiempo del experimento, se procedió a determinar el % de Remoción de Cromo (VI) en cada tratamiento, para esto se utilizarán la siguiente ecuación:

Ecuación 4-2:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentración inicial } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) - \text{Concentración final } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{Concentración inicial } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} * 100$$

2.2.9.2. Cálculo para determinar la mortalidad en *Lemna minor* Hegelm

Para la especie *Lemna minor* Hegelm la tasa de mortalidad vegetal se calculará por diferencia de pesos de la siguiente manera.

Ecuación 5-2:

$$\text{Mortalidad en la especie} = \text{Peso final} - \text{peso inicial}$$

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Variables de control del experimento

3.1.1.1. Temperatura

Los datos de temperatura tomados a lo largo de la duración del experimento son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 1-3. Control de Temperatura (°C)

Día	Hora		
	6 AM	2 PM	10 PM
1	13,1	19,0	15,0
2	13,3	19,5	15,5
3	12,5	22,6	16,0
4	13,5	20,5	15,9
5	13,1	19,8	15,7
6	13,2	19,2	15,6
7	12,8	20,1	14,4
8	9,4	18,2	14,8
9	12,1	21,0	15,5
10	13,0	20,4	14,3
11	10,8	19,1	14,5
12	11,8	18,0	15,3
13	12,9	17,5	14,2
14	12,0	17,7	14,4

15	11,9	17,7	15,8
16	13,1	19,1	15,6
17	13,1	20,1	15,1
18	13,1	18,7	15,2
19	12,4	19,5	15,3
20	12,4	20,1	15,4
21	13,1	20,0	15,5
22	13,5	19,8	15,0
23	13,1	17,8	15,0
24	12,2	17,5	13,0
25	12,6	17,8	13,2
26	12,7	18,3	14,0
27	12,8	17,5	13,5
28	13,0	17,7	14,1
29	12,9	17,7	13,9
30	13,1	19,1	15,3
31	13,4	18,7	14,5
32	13,0	18,0	14,2
33	12,5	18,5	14,4
34	12,7	18,0	15,0
35	12,6	17,5	14,8
36	12,8	17,9	14,8
37	12,6	17,8	14,9
38	12,9	18,1	15,8
39	13,2	18,7	15,6
40	13,4	19,0	15,8
41	13,1	18,5	15,4
42	12,9	18,3	14,7
43	12,8	18,0	15,4
44	12,9	18,2	15,5
45	12,7	17,8	15,0
46	13,1	17,9	15,0
47	12,6	17,6	14,6
48	12,4	18,1	14,9
49	13,1	18,5	14,6

50	12,5	19,1	14,0
51	12,2	18,3	13,5
52	12,0	18,8	13,8
53	11,9	17,8	13,3
54	12,1	18,3	13,7
55	12,5	17,9	13,6
56	12,6	17,8	13,8
57	12,8	18,1	13,0
58	12,5	18,3	13,2
59	13,2	18,5	14,0
60	13,4	17,2	14,5
Promedio	18°C		

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Podemos observar la representación de la variación de la temperatura tomada a lo largo de la duración del experimento. Dichos datos fueron obtenidos en tres momentos diferentes del día, cada uno con una diferencia de 8 horas. En esta representación podemos observar que el rango de temperaturas más altas se presenta a las 2:00 PM y las más bajas a las 6:00 AM.

Se determinó una temperatura promedio de 18 °C en donde se conoce que las especies vegetales usadas en la experimentación pueden desarrollarse con normalidad.

3.1.1.2. Humedad

Los datos de humedad tomados a lo largo de la experimentación son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 2-3. Control de Humedad (%)

Día	Hora		
	6 AM	2 PM	10 PM
2	90	40	86
3	89	39	90
4	90	39	89
5	96	39	87
6	90	46	78

7	81	53	71
8	80	33	76
9	79	35	77
10	87	42	93
11	90	44	87
12	87	54	95
13	76	64	90
14	90	48	90
15	84	38	89
16	92	45	87
17	94	56	86
18	96	57	84
19	94	60	88
20	88	60	90
21	88	59	86
22	91	55	85
23	92	63	86
24	90	65	88
25	91	64	86
26	92	54	89
27	91	65	90
28	89	63	88
29	90	61	86
30	88	45	81
31	88	51	78
32	89	49	78
33	90	39	80
34	90	39	78
35	91	55	79
36	90	52	90
37	92	53	78
38	91	50	79
39	93	51	83
40	89	39	84
41	88	42	88

42	90	46	91
43	91	50	89
44	90	49	93
45	87	64	95
46	88	63	98
47	85	61	88
48	87	51	84
49	87	48	75
50	91	45	80
51	90	48	91
52	85	50	76
53	88	62	78
54	90	53	81
55	86	60	85
56	84	60	89
57	80	55	83
58	89	55	90
59	90	57	82
60	87	59	80
Promedio	75%		

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Podemos observar la representación de la variación de la humedad ambiental tomada a lo largo de la duración del experimento. Dichos datos fueron obtenidos en tres momentos diferentes del día, cada uno con una diferencia de 8 horas. En esta representación podemos observar que el rango más alto de Humedad relativa es a las 6:00 AM y 10:00 PM, mientras que el rango más bajo está registrado a las 2:00 PM, esto se debe a que como recordaremos los rangos de temperatura más altos pertenecían a este momento del día lo que generará una humedad ambiental menor aunque no siempre es el caso.

Se determinó una humedad ambiental promedio del 75%. Teniendo en cuenta que se trata de plantas acuáticas, este tipo de valores no afectarán directamente a la planta pero si habrá una relación con la temperatura.

3.1.2. Cambios físicos observados en *Lemna minor* Hegelm

3.1.2.1. Coloración de las hojas

A continuación se presentan los cambios observados en la coloración de las hojas de *Lemna minor* expresados en una escala numérica la cual fue previamente detallada.

Tabla 3-3. Cambios del color de las hojas de *Lemna minor* Hegelm

Concentración A	Día	Repetición		
		1	2	3
	10	5	5	5
	20	5	5	5
	30	5	4	5
	40	4	4	4
	50	4	4	4
	60	4	3	3
Concentración B	Día	Repetición		
		1	2	3
	10	5	5	5
	20	4	4	4
	30	4	4	4
	40	3	4	4
	50	3	3	3
	60	2	3	2
Concentración C	Día	Repetición		
		1	2	3
	10	5	5	5
	20	4	4	4
	30	4	3	4
	40	3	3	3
	50	3	2	3
	60	2	1	2

5: Verde
 4: Verde claro
 3: Amarillo
 2: Café
 1: Café oscuro

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Como podemos observar en el Gráfico 1-3, la coloración en *Lemna minor* va cambiando según el pasar de los días. Es así como a los 20 días de experimentación se observan los primeros cambios en la coloración de las Concentraciones B y C manteniéndose de esta manera hasta los 30 días. A los 40 días de experimentación las plantas sometidas a la Concentración A empiezan a presentar cambios, pasando de un 5 (verde oscuro) a un 4 (verde claro), lo cual va decreciendo hasta llegar a los 60 días de experimentación en donde la Concentración A presenta una valoración de 3 (amarillo) mientras que las Concentraciones B y C una valoración de 2 (café).

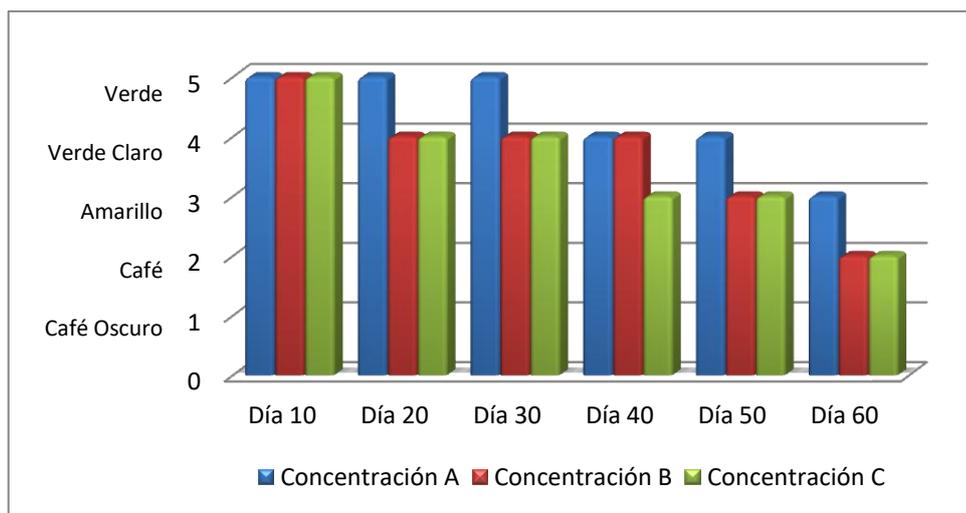


Gráfico 1-3. Variación en la coloración de hojas en *Lemna minor* Hegelm
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

3.1.2.2. Vigorosidad de la planta

A continuación se presentan los cambios observados en la vigorosidad de las macrófitas acuáticas *Lemna minor* Hegelm expresados en una escala numérica.

Tabla 47-3. Vigorosidad de *Lemna minor* Hegelm

Concentración	Día	Repetición		
		1	2	3
A	30	4	3	4
	60	3	2	2
B	Día	Repetición		
		1	2	3
B	30	3	3	3
	60	1	2	1

Concentración C	Día	Repetición		
		1	2	3
30		3	2	3
60		1	1	1

4: Muy vigorosa
3: Vigorosa
2: Medianamente vigorosa
1: Débil

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizador por: Andrea Cerón, 2017

Como se puede observar en el Gráfico 2-3, la vigorosidad en *Lemna minor* Hegelm se vio afectada por el experimento observándose de manera descendente. A los 30 días las plantas en la Concentración A se mantienen Muy vigorosas (4), mientras que en las Concentraciones B y C se encuentran Vigorosas (3). Al finalizar la experimentación, las plantas en la Concentración A se encuentran Medianamente vigorosas (2) mientras que en las Concentraciones B y C son débiles (1).

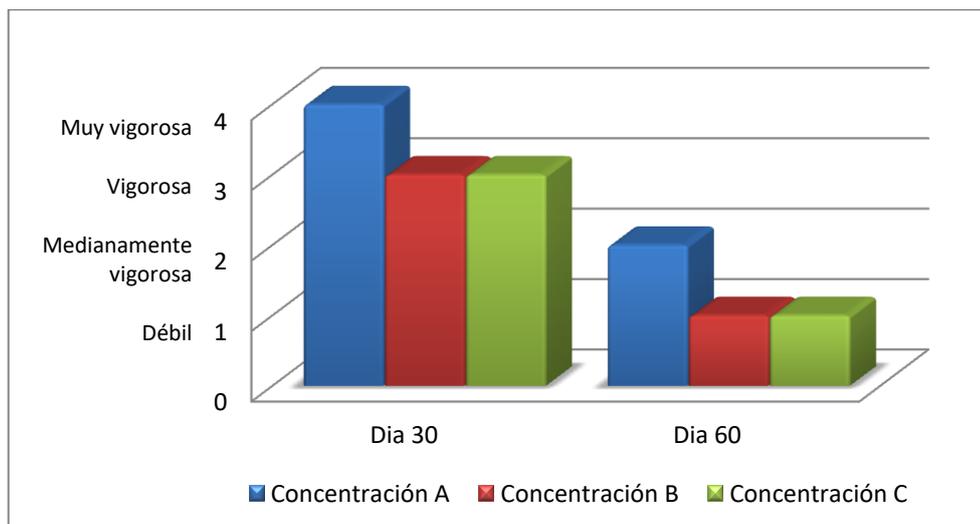


Gráfico 2-3. Vigorosidad de *Lemna minor*
Realizador por: Andrea Cerón, 2017

3.1.2.3. Determinación de la población vegetal final

Al ser *Lemna minor* una especie relativamente pequeña de la cual es difícil conocer la diferencia final de población a simple vista, para calcularlo se realizó una comparación de su peso final con su peso inicial.

Tabla 5-3. Diferencia de peso inicial y final de *Lemna minor* Hegelm

Concentración A	Peso	Repetición		
		1	2	3
	Inicial (gr)	45	45	45
	Final (gr)	52	48	50
	RESULTADO	+7	+3	+5
Concentración B	Peso	Repetición		
		1	2	3
	Inicial (gr)	45	45	45
	Final (gr)	43	47	44
	RESULTADO	-2	+2	-1
Concentración C	Peso	Repetición		
		1	2	3
	Inicial (gr)	45	45	45
	Final (gr)	37	42	39
	RESULTADO	-8	-3	-6

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
 Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Como se presenta en los resultados obtenidos, en cuanto a las Concentraciones A y B, existió un aumento de población vegetal siendo A el aumento más significativo. Todo lo contrario pasó en C en donde no solo no aumentó la población sino que disminuyó lo que implica que parte de esta especie murió en el transcurso del experimento.

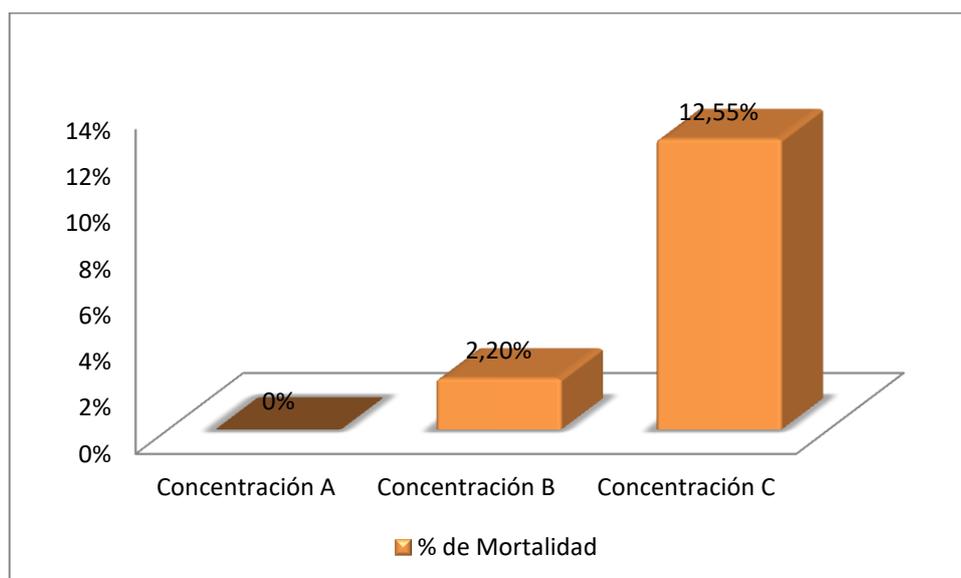


Gráfico 3-3. Porcentaje de Mortalidad en *Lemna minor* Hegelm
 Realizador por: Andrea Cerón, 2017

Como podemos observar en el Gráfico 3-3, al finalizar la experimentación la Concentración B mató al 2,20% de las plantas, mientras que en la Concentración C terminó con el 12,55% de las plantas. Esto nos demuestra que la presencia de Cromo (VI) en concentraciones relativamente bajas no es un limitante para la reproducción *Lemna minor*. Mientras que en su mayor concentración tiene resultados letales.

3.1.3. Cambios físicos observados en *Limnobium laevigatum* Heine

3.1.3.1. Coloración de las hojas

A continuación se presentan los cambios observados en la coloración de las hojas de *Limnobium laevigatum* expresados en una escala numérica.

Tabla 68-3. Cambios del color de las hojas de *Limnobium laevigatum* Heine

Concentración A	Día	Repetición														
		1					2					3				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
20	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	5	4	4	
30	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	
40	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	
50	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	
60	2	3	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2	
Concentración B	Día	Repetición														
		1					2					3				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
20	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	
30	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	
40	3	3	3	3	2	3	4	3	2	3	3	3	2	3	3	
50	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2	2	
60	2	1	2	2	1	1	2	2	1	3	2	2	1	2	2	

Concentración C	Día	Repetición														
		1					2					3				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
10	4	4	5	5	4	4	4	5	4	5	4	5	5	4	4	
20	3	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	
40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	
50	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

5: Verde
4: Verde claro
3: Amarillo
2: Café
1: Café oscuro

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

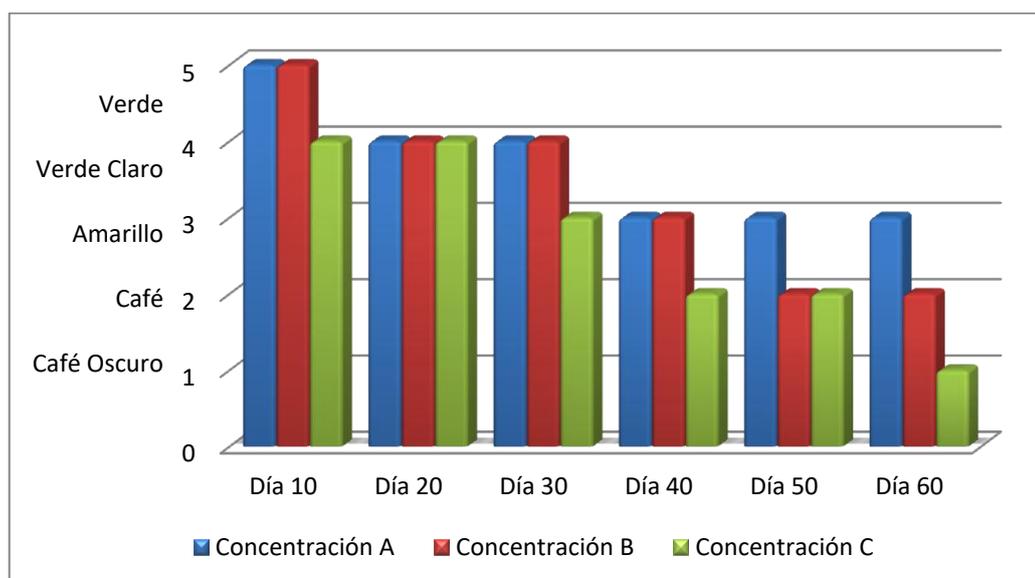


Gráfico 4-3. Variación en la coloración de hojas en *Limnobium laevigatum* Heine
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Como se puede observar en el siguiente Gráfico, la variación de color *Limnobium laevigatum* sufrió un cambio radical a lo largo de los 60 días de experimentación. Las plantas en la Concentración A pasaron de un 5 (verde) a un 3 (amarillo) a los 60 días de experimentación. En la Concentración B las plantas tuvieron una valoración de 2 (café oscuro) al finalizar los 60 días de experimentación, mientras que las plantas en la Concentración C fueron aquella que sufrieron el mayor cambio siendo su valoración final de 1 (café oscuro).

3.1.3.2. Vigoridad de las Plantas

A continuación se muestran los datos obtenidos en la experimentación con respecto a la Vigoridad de la Planta.

Tabla 7-3. Vigoridad de *Limnobium laevigatum* Heine

Concentración A	Día	Repetición														
		1					2					3				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
30	3	4	3	3	4	3	4	2	3	3	2	3	3	4	3	
60	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	
Concentración B	Día	Repetición														
		1					2					3				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
30	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3	
60	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	
Concentración C	Día	Repetición														
		1					2					3				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
30	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

4: Muy vigorosa
 3: Vigorosa
 2: Medianamente vigorosa
 1: Débil

Fuente: Datos obtenidos por el investigador
Realizador por: Andrea Cerón, 2017

Como se puede observar en el siguiente Gráfico, la vigoridad de las plantas de *Limnobium laevigatum* se vio afectada de manera descendente. Al pasar los 30 días de experimentación, tanto en la Concentración A como en la Concentración B las plantas se encontraban Vigorosas (3) mientras que en la Concentración C las plantas se encontraban Medianamente vigorosas (2). Al finalizar los 60 días de investigación, la Concentración A poseía plantas Medianamente vigorosas (2), mientras que en las Concentraciones B y C fueron débiles (1).

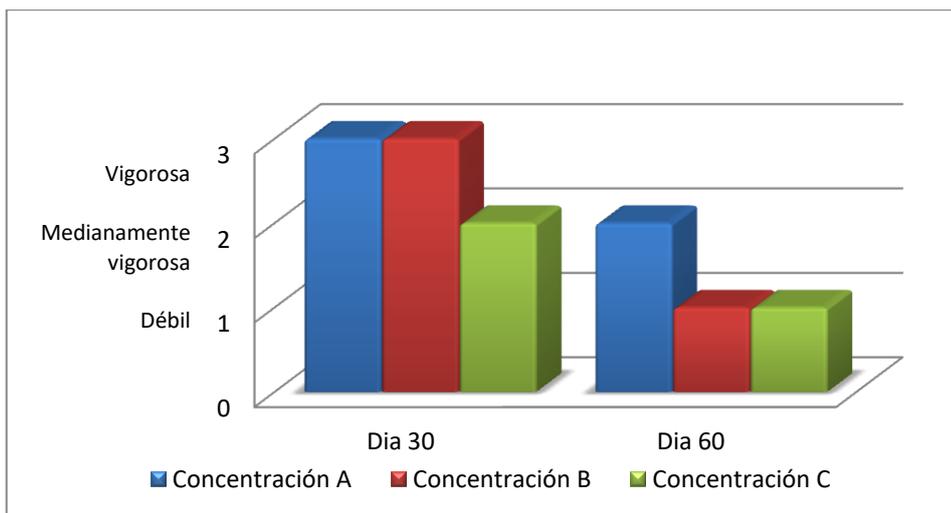


Gráfico 5-3. Vigorosidad en *Limnobium laevigatum* Heine
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

3.1.3.3. Determinación de la población vegetal final

En cuanto a la especie *Limnobium laevigatum* Heine, la determinación de su aumento de población puede ser detectado a simple vista gracias al tamaño de las plantas, por lo que únicamente se evaluó con la escala previamente conocida.

Tabla 89-3. Determinación de la población vegetal final de *Limnobium laevigatum*

Concentración A			
Día	Repetición		
	1	2	3
60	1	1	0
Concentración B			
Día	Repetición		
	1	2	3
60	0	0	1
Concentración C			
Día	Repetición		
	1	2	3
60	0	0	0

1: Si
0: No

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Es así como después de evaluar la presente tabla, nos podemos dar cuenta de que existió un mínimo aumento de en la población vegetal que en su mayoría corresponde a la Concentración A, mientras en la Concentración C no existió presencia de nuevas especies. Esto demuestra que la presencia de Cromo (VI) es un limitante para la reproducción de *Limnobium laevigatum* Heine en todas las concentraciones de Cromo (VI).

3.1.4. Caracterización del agua

3.1.4.1. Análisis de los parámetros físico-químicos del agua

Se realizaron los análisis de las características principales del agua tanto en la Concentración A, como en las Concentraciones B y C. Estos análisis fueron hechos de manera inicial, a la mitad de la experimentación y al finalizarla, es decir a los 60 días.

Los resultados iniciales se muestran a continuación:

Tabla 9-3. Caracterización inicial del agua

Parámetro	Unidad	Concentración A	Concentración B	Concentración C
pH	-	6,65	6,64	6,63
T	°C	20,7	20,7	20,7
Conductividad	μS/cm	1180	1190	1200
Sal	‰	0,2	0,2	0,2
TDS	mg/L	205	209	214

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Si observamos los resultados presentados en la tabla de Caracterización inicial del agua, podemos observar como todos los parámetros estudiados cambian al aumentar la concentración del contaminante, a excepción de la temperatura que se mantiene en 20,7 °C en los cuatro casos de análisis, así como el % de sal que se mantiene en 0,2. Se puede ver un aumento progresivo en pH, conductividad y TDS según aumenta la concentración del contaminante. La Concentración C es aquella que posee los datos más elevados en los parámetros mencionados anteriormente.

A continuación se muestran los resultados de los análisis de agua en la etapa media y final de la experimentación.

- *Lemna minor* Hegelm en la Etapa Media

Tabla 10-3. Caracterización físico- química media del agua en *Lemna minor* Hegelm

Parámetros	Concentración A			Concentración B			Concentración C		
	MA1	MA2	MA3	MB1	MB2	MB3	MC1	MC2	MC3
pH (Unid.)	7,15	6,99	7,00	7,06	7,04	6,98	6,97	6,99	6,78
T (°C)	17,4	17,3	17,3	17,3	17,4	17,3	17,4	17,3	17,3
Conductividad (µS/cm)	1100	1030	1030	1130	1010	1060	1030	1130	1046
Sal (‰)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,7	0,6	0,5
TDS (mg/L)	145	180	173	172	170	192	178	179	189

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Limnobium laevigatum* Heine en la Etapa Media

Tabla 1110-3. Caracterización física-química media del agua en *Limnobium laevigatum* Heine

Parámetros	Concentración A			Concentración B			Concentración C		
	LA1	LA2	LA3	LB1	LB2	LB3	LC1	LC2	LC3
pH (Unid.)	7,00	6,92	6,78	6,76	6,77	6,77	6,67	6,75	6,80
T (°C)	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Conductividad (µS/cm)	1100	1170	1110	1150	1100	1180	1190	1100	1140
Sal (‰)	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
TDS (mg/L)	146	165	160	164	176	176	174	173	165

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Lemna minor* Hegelm en la Etapa Final

Tabla 12-3. Caracterización física-química final del agua en *Lemna minor* Hegelm

Parámetros	Concentración A			Concentración B			Concentración C		
	MA1	MA2	MA3	MB1	MB2	MB3	MC1	MC2	MC3
pH (Unid.)	7,18	7,06	7,14	7,11	7,11	7,16	7,17	7,07	6,99
T (°C)	19,02	19,02	19,02	19,02	19,02	19,02	19,02	19,02	19,02
Conductividad (µS/cm)	1020	1030	1030	1020	1020	1020	1120	1030	1035
Sal (‰)	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6
TDS (mg/L)	145	182	172	155	156	162	150	177	187

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
 Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Limnobium laevigatum* Heine en la Etapa Final

Tabla 13-3. Caracterización física-química final del agua en *Limnobium laevigatum* Heine

Parámetros	Concentración A			Concentración B			Concentración C		
	LA1	LA2	LA3	LB1	LB2	LB3	LC1	LC2	LC3
pH (Unid.)	6,50	6,63	6,44	6,55	6,52	6,64	6,53	6,61	6,60
T (°C)	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
Conductividad (µS/cm)	1040	1038	1035	1038	1040	1045	1050	1060	1020
Sal (‰)	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
TDS (mg/L)	207	203	199	201	205	205	198	188	192

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
 Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Como se puede observar en las tablas presentadas, tanto los valores del agua de *Lemna minor* Hegelm como de *Limnobium laevigatum* Heine se mantienen relativamente constantes, es decir, que el cambio físico químico del agua no fue tan importante de manera que pueda afectar significativamente a las especies acuáticas del experimento. Los valores se mantuvieron siempre en el rango apto para la supervivencia de *Limnobium laevigatum* Heine y *Lemna minor* Hegelm.

3.1.4.2. Análisis de la Concentración de Cromo (VI) en el agua

Se llevaron a cabo tres análisis de la Concentración de Cromo (VI) en el agua. Uno inicial para confirmar que la concentración estuviera correcta, un intermedio y uno final para confirmar el porcentaje de remoción de dicho compuesto.

- *Lemna minor* Hegelm

Tabla 1411-3. Concentración de Cromo (VI) en el agua de *Lemna minor* Hegelm

Muestra (mg/L)	Concentración A			Concentración B			Concentración C			Mét.
	MA1	MA2	MA3	MB1	MB2	MB3	MC1	MC2	MC3	
Inicial (día 1)	10	10	10	20	20	20	30	30	30	8023
Media (día 30)	7,87	7,99	7,79	18,78	18,90	18,88	29,05	28,96	28,98	8023
Final	7,52	7,48	7,49	18,65	18,75	18,69	28,88	28,75	28,81	8023

(día 60)										
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Limnobium laevigatum* Heine

Tabla 1512-3. Concentración de Cromo (VI) en el agua de *Limnobium laevigatum* Heine

Muestra (mg/L)	Concentración A			Concentración B			Concentración C			Mét.
	LA1	LA2	LA3	LB1	LB2	LB3	LC1	LC2	LC3	
Inicial (día 1)	10	10	10	20	20	20	30	30	30	8023
Media (día 30)	6,74	7,02	6,88	17,99	18,04	18,14	28,12	27,87	27,95	8023
Final (día 60)	6,68	6,87	6,71	17,65	17,80	17,58	28,00	27,80	27,88	8023

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

3.1.4.2.1. Porcentaje de remoción de Cromo (VI)

A continuación se presenta el porcentaje de remoción calculado usando los promedios de remoción de cada experimento.

- *Lemna minor* Hegelm

Tabla 16-3. Porcentaje de remoción en *Lemna minor* Hegelm

Experimento	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Porcentaje De Remoción
A	10	7,49	25,1
B	20	18,69	6,55
C	30	28,81	3,96

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Como se puede observar en la presente tabla, el tratamiento de *Lemna minor* Hegelm con más porcentaje de remoción pertenece al de la concentración A con un 25,1% de remoción. Y el más bajo es el del tratamiento C con un 3,96%.

Esto se puede observar de una mejor manera en el siguiente gráfico:

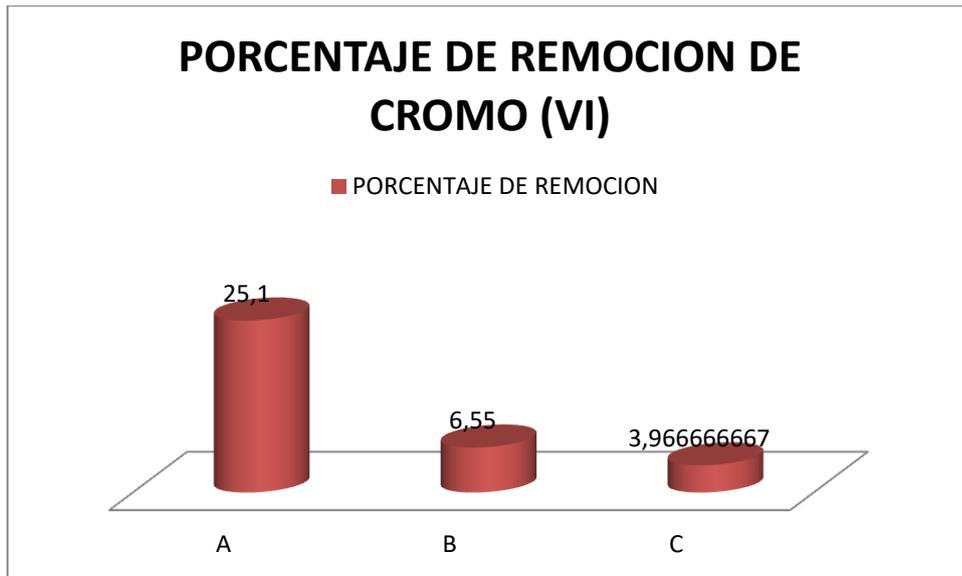


Gráfico 6-3. Porcentaje de remoción de Cromo (VI) de *Lemna minor* Hegelm
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

- *Limnobium laevigatum* Heine

Tabla 17-3. Porcentaje de remoción de *Limnobium laevigatum* Heine

Concentración	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Porcentaje De Remoción
A	10	6,75	32,5
B	20	17,67	11,65
C	30	27,89	7,03

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Mientras que el porcentaje de remoción más eficaz en *Limnobium laevigatum* Heine también se trató del tratamiento A con 32,5%, así como el menor que fue en la concentración C con un 7,03%.

Al comparar los datos obtenidos en las dos macrófitas acuáticas, podemos observar que el mayor porcentaje de remoción fue dado gracias a *Limnobium laevigatum* Heine con un 32,5% en su concentración A, mientras que el menor fue de *Lemna minor* Hegelm con un 3,96% en su concentración C.

De igual manera, esto se puede ver reflejado en el siguiente gráfico.

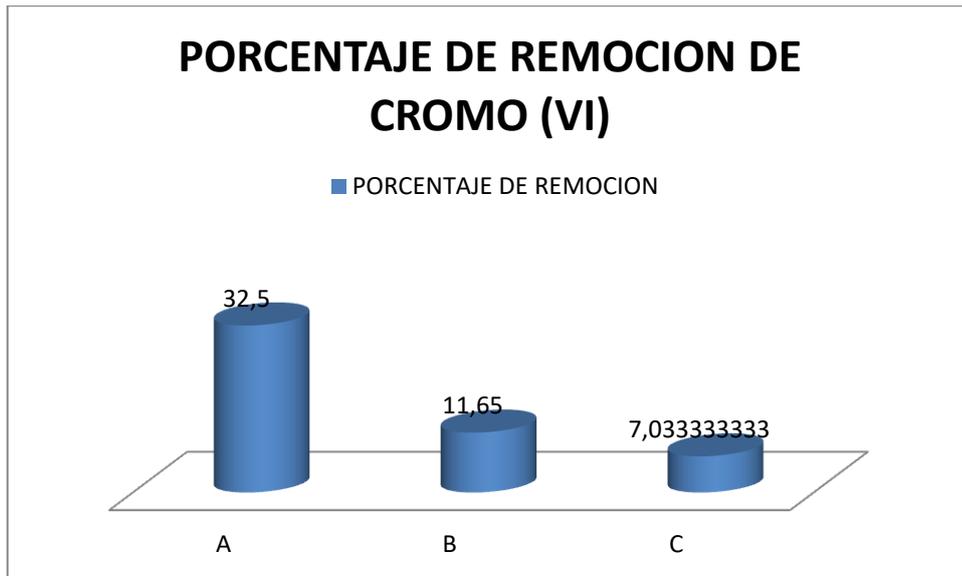


Gráfico 7-3. Porcentaje de remoción de Cromo (VI) de *Limnobium laevigatum* Heine
Realizado por: Andrea Cerón, 2017

3.2. Análisis Estadístico

3.2.1. Método

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el método de varianza ANOVA seguido de una prueba de Fisher y un test de Tukey para determinar el impacto producido por el contaminante en el estado físico de las dos especies en sus repeticiones, así como la capacidad de absorción del contaminante en el agua.

Dado que los datos obtenidos para la evaluación de la capacidad como bioindicadores son de origen cualitativo, se procedieron a transformarlos a datos numéricos a través de escalas que fueron mencionadas anteriormente, así tenemos el color, vigorosidad y aumento de población de las especies. Mientras que los valores obtenidos para la concentración de cromo fueron usados de manera directa.

3.2.2. Resultados

Una vez procesados los datos se obtuvieron los siguientes resultados:

- *Resultados estadísticos para Color*

Tabla 18-3. Análisis de Varianza para Color

F. Var	G.l	S. Cuad.	C- Medio	Fisher	P. Fisher
Total	17	12,02			
F. A.	1	2,14	2,14	12,01	0,005
Concent.	2	7,72	3,86	21,71	0,0001
Int. AB	2	0,03	0,02	0,09	0,92
Error	12	2,13	0,18		
CV %			20,08		
Media			2,10		

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

A continuación se procedió a realizar la separación de medias:

Tabla 19-3. Separación de medias para las especies - Color

F. A.	Media	Grupo
L. minor	2,44	A
L. laevigatum	1,76	B

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Con los resultados obtenidos a los 60 días de experimentación, la utilización de *L. minor* permitió registrar un valor de 2,44 puntos equivalente a café en la escala colorimétrica previamente establecida. Este valor difiere significativamente ($p < 0,02$) de *L. laevigatum* con la cual se obtuvo una cifra de 1,76 equivalente a café oscuro. Esto nos da como resultado que *L. laevigatum* se vio afectada por el contaminante (Cromo VI) a una mayor escala que *L. minor*, dando como resultado la muerte inminente de las especies.

- *Resultados estadísticos para Vigor*

Tabla 2013-3. Análisis de Varianza para Vigor

F. Var	G.l	S. Cuad.	C- Medio	Fisher	P. Fisher
Total	17	5,00			
F. A.	1	0,22	0,22	1,92	0,19
Concent.	2	2,63	1,32	11,38	0,00
Int. AB	2	0,76	0,38	3,31	0,07
Error	12	1,39	0,12		
CV %			23,53		
Media			1,44		

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Tabla 2114-3. Separación de medias para las especies - Vigor

F. A.	Media	Grupo
L. minor	1,56	a
L. leavigatum	1,33	a

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Una vez transcurridos los 60 días de experimentación, *L. minor* permitió registrar un valor de 1,56 puntos los cuales equivalen a Débil en la escala de vigorosidad, este valor difiere significativamente ($p < 0,05$) del obtenido con *L. laevigatum* de 1,33 el cual también se ubica en el rango de Débil en la escala de vigorosidad. Estos resultados nos demuestran el mal estado de la planta al finalizar el experimento lo cual se refleja también en el color y aumento de población discutidos anteriormente, con lo cual concluimos el deceso de las especies a los 60 días del estudio.

- *Resultados estadísticos para Población*

Tabla 2215-3. Análisis de Varianza para Población

F. Var	G.l	S. Cuad.	C- Medio	Fisher	P. Fisher
Total	17	4,44			
F. A.	1	2,00	2,00	12,00	0,00
Concent.	2	0,44	0,22	1,33	0,30
Int. AB	2	0,00	0,00	0,00	
Error	12	2,00	0,17		
CV %			91,86		
Media			0,44		

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Tabla 23-3. Separación de medias para las especies – Población

F. A.	Media	Grupo
L. minor	0,78	a
L. laevigatum	0,11	b

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

A los 60 días de experimentación, el aumento de población de *L. minor* permitió registrar un valor de 0,78 puntos, equivalente a una negativa en el aumento de Población pero siendo muy aproximada al resultado positivo de los mismos. A diferencia de *L. laevigatum* que obtuvo un total de 0,11 puntos, siendo el resultado más aproximado a un aumento negativo en la población de las especies expresándose aún así como una diferencia significativa ($p < 0,02$). Esto nos demuestra que *L. minor* fue la especie que mayor aumento de población presentó en el transcurso del experimento, esto se debe a la resistencia de la especie frente al contaminante, ya que las especies de *L. laevigatum* empezaron a morir de forma temprana.

- *Resultados estadísticos para Cromo (VI)*

Tabla 24-3. Resultados Estadísticos para Remoción de Cromo (VI)

F. Var	G.l	S. Cuad.	C- Medio	Fisher	P. Fisher
Total	17	1356,47			
F. A.	1	3,60	3,60	534,67	0,00
Concent.	2	1352,73	676,36	100450,06	0,00
Int. AB	2	0,06	0,03	4,37	0,04
Error	12	0,08	0,01		
CV %			0,46		
Media			17,89		

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Tabla 25-3. Separación de medias para las especies – Remoción de Cromo (VI)

F. A.	Media	Grupo
L. minor	18,34	a
L. laevigatum	17,44	b

Fuente: Resultados obtenidos por el investigador

Realizado por: Andrea Cerón, 2017

Con los resultados obtenidos a los 60 días de experimentación, la utilización de *L. minor* permitió registrar un valor de 18,44 puntos, este valor difiere significativamente ($p < 0,02$) de *L. laevigatum* con la cual se obtuvo una cifra de 17,44. Esto nos da como resultado que *L. minor* presentó una mayor remoción de Cromo (VI) en relación a *L. laevigatum*.

CONCLUSIONES

- Se conocieron los efectos físicos en coloración y vigorosidad causados por Cromo (VI) en *Lemna minor* Hegelm y *Limnobium Laevigatum* Heine, determinándose que *Lemna minor* Hegelm sufrió de cambios en el color de sus hojas pasando de un verde brillante a amarillo en la concentración más baja, y resultando de color café en la concentración más alta, así también se demostró que el Cromo (VI) afecta a su vigorosidad de manera que al finalizar la experimentación todas las plantas se encontraban débiles. Para *Limnobium Laevigatum* Heine la experimentación resultó letal, pasando de un color verde brillante a café oscuro en todas las concentraciones del experimento, así como una debilidad absoluta.
- Se definió que el Cromo (VI) es un limitante para el aumento de población de *Limnobium Laevigatum* Heine aún en la concentración más baja de la experimentación resultando letal para la especie. Mientras que para *Lemna minor* Hegelm la concentración A no afectó a la tasa de crecimiento pero las concentraciones B y C resultaron ser limitantes y letales.
- Se determinó el % de Remoción de Cromo (VI) en el agua que tienen las dos especies acuáticas al final de la experimentación. Mientras que *Lemna minor* Hegelm presentó un porcentaje de remoción de 25,1 % en el tratamiento A, un 6,55% en el tratamiento B y 3,96% en el tratamiento C, *Limnobium Laevigatum* Heine presentó un porcentaje de remoción de 32,5% en cuanto al tratamiento A, un 11,65% en el tratamiento B y 7,03% en el tratamiento C, por lo que podemos concluir que la especie con mayor capacidad de remoción es *Limnobium Laevigatum* Heine.
- Se analizó la efectividad de las especies como fitorremediadoras y bioindicadoras de Cromo (VI) en agua determinándose que la mejor especie con potencial como bioindicador es *Limnobium Laevigatum* Heine ya que presenta una mayor sensibilidad frente a la presencia del contaminante. Y la mejor especie fitorremediadora es *Lemna minor* Hegelm debido a la resistencia que de la misma en presencia de Cromo (VI) y su capacidad de remoción.

RECOMENDACIONES

- Escoger cuidadosamente las especies a ser estudiadas para garantizar mejores resultados al finalizar la experimentación, ya que si las plantas se encuentran enfermas o contaminadas de alguna manera los resultados finales no serán fiables.
- Brindar el medio ambiental óptimo para que las especies puedan desarrollarse en todo su potencial y que la experimentación dé mejores resultados.
- Tener los cuidados necesarios tanto al tomar las muestras de agua como al momento de analizarlas para así evitar contaminación de cualquier tipo que puedan alterar los datos finales.
- Utilizar *Lemna minor* Hegelm como biorremediadora de metales pesados ya que es una especie que ha demostrado tener características que la convierten en una planta muy útil para procesos de fitorremediación.
- Realizar futuras investigaciones en donde se utilicen diferentes concentraciones del contaminante Cromo (VI).
- Se recomienda realizar más estudios que involucren a *Limnobium Laevigatum*, ya que es una especie que ha demostrado su capacidad como bioindicadora y de la cual aún no se han realizado estudios suficientes.

BIBLIOGRAFIA

ALTASCOPAS. *Plantas acuáticas*. [En línea] (Reporte), 2017. [Consulta: 10 Septiembre 2017] Disponible en: <http://www.altascopas.com/blog/2017/1/11/plantas-acuticas>

APONTE, H. & PACHERRES, C. Crecimiento Y Propagación De *Limnobium Laevigatum* (Hydrocharitaceae) Bajo Diferentes Concentraciones De Nutrientes. *The Biologist*, 2013. Vol. 11, pp. 69-78.

ARENAS, A., MARCÓ, L.-M. & TORRES, G. Evaluación de la planta *Lemna minor* como Biorremediadora. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 2011. Pp. 1-11.

ARMSTRONG, W. *The World's Smallest Fruit*. [En línea] (Reporte), 1996. [Consulta: 15 Septiembre 2017] Disponible en: <http://www2.palomar.edu/users/warmstrong/plfeb96.htm>

ARREGHINI, S. *Plantas acuáticas (macrofitas)*. [En línea] (Reporte), 2015. [Consulta: 15 Septiembre 2017] Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/PlantAcuat.htm>

ARROYAVE, M. La Lenteja De Agua (*Lemna Minor* L.): Una Planta Acuática Promisoria. *EIA*, 2014. Vol. 1, pp. 33-38.

ATSDR. *Cromo (Chromium)* [En línea] (Blog), 2016. [Consulta: 7 Septiembre 2017]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html

BARCELÓ-QUINTAL, I., et al. Uso de la *Lemna minor* L para la fitoextracción de cobre disuelto en una presa mexicana. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2015. Pp. 23-39.

BARCHUK, A. & DIAZ, M. P. *Vigor de crecimiento y supervivencia de plantaciones de *Aspidosperma quebracho-blanco* y de *Prosopis chilensis* en el Chaco árido*. Vol. 8, pags. 17-29. [En línea] (Artículo), 2000. [Consulta: Diciembre 2017] Disponible en: http://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q8_02-Barchuk.pdf

CADO, O. *Sales de cromo: Su relación con el medio ambiente*. Gerencia Ambiental, 2000. Pp. 15-30.

CAPÓ, M. *Principios de Ecotoxicología. Diagnostico, Tratamiento y Gestión del Medio Ambiente*. Madrid, 2002

CARPENA, R. O. & BERNAL, M. P. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 2007. Vol. 16, pp. 1-3.

CHAVEZ, A. Descripción De La Nocividad Del Cromo Proveniente De La Industria Curtiembre Y De Las Posibles Formas De Removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2010. Vol. 11, pp. 41-50.

CORDERO, F. *Vigorosidad*. [En línea] (Blog), 2010. [Consulta: 20 Enero 2018] Disponible en: <https://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20091208212402AA4mnNd>

CRICYT, Metales Pesados. *Cricyt*. [En línea] (Reporte), 2008 [Consulta: 3 Septiembre 2017] Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>

CUEVAS, J. & GOMEZ, N. *Plantas como indicadores ambientales*, 2016. Concepcion: Universidad de Concepcion.

DELGADILLO LÓPEZ, A. E., et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *scielo.org*, 2011. Vol. 14.

DOMINGUEZ, A. Cáncer de pulmón: silencioso enemigo. *Diario Las Américas*. [En línea] (Reportaje), 2013. [Consulta: 8 Septiembre 2017] Disponible en: <https://www.diariolasamericas.com/cancer-pulmon-silencioso-enemigo-n2897457>

EMAZE. Curtiembre. *Emaze*. [En línea] (Reporte), 2015. [Consulta: 8 Septiembre 2017] Disponible en: <https://www.emaze.com/@ALLRRIOR>

FERNANDEZ, J. Filtro autoflotante de macrofitas para la depuración de aguas residuales. En: E. U. d. Salamanca, ed. *El agua, un bien para todos : conservación, recuperación y usos : 6ª Jornadas Ambientales*, 2001. Salamanca: Universidad de Salamanca, pp. 171-180.

GERMILLAC, M. Curtiembre. *Virtualpro*. [En línea] (Reporte), 2006 [Consulta: Agosto 2017] Disponible en: <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/curtiembre>

GONZALEZ ZUARTH, C. A., et al., Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. *Academia*. [En línea] (Reporte), 2014. [Consulta: 20 Enero 2018] Disponible en: https://www.academia.edu/15617373/BIOINDICADORES_Guardianes_de_nuestro_futuro_ambiental.

GONZALEZ, H., Cromo. *Vdocuments*. [En línea] (Reporte), 2015. [Consulta: 8 Septiembre 2017] Disponible en: <https://vdocuments.site/documents/cromo-revisado-rmuoz-noviembre-1.html#>

GORDILLO, G. E. & TOLEDO, C. E. *Técnicas Ambientales De Producción Mas Limpia En La Industria*, 2013. Quito: Universidad Central del Ecuador.

- GRATACOS, E., et al.** *Tecnología química del cuero*, 1962. Barcelona: Emporium.
- GUTZEIT, A.** *China's First Emperor*, 2008. China: The History Channel.
- GUZMAN, M.** Elementos de la tabla periódica. *Maritodqinorganica*. [En línea] (Blog), 2011 [Consulta: 5 Septiembre 2017] Disponible en: <http://maritodqinorganica.blogspot.com/>.
- HUERTO, J.** *Plantas Macrófitas*. [En línea] (Reporte), 2017 [Consulta: 10 Octubre 2017] Disponible en: <https://www.floresyplantas.net/plantas-macrofitas/>
- JARAMILLO, M. & FLORES, E.** *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua) y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*, 2012. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- KEW.** *Catalogue of Life: 2010 Annual Checklist*. [En línea] (Documento), 2010. [Consulta: 10 Octubre 2017] Disponible en: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2010/details/species/id/7284090>
- LARA, J.** Feed Your Livestock AND Your Family With Prolific, Fast-Growing Duckweed, 2015. *Off The Grid News*.
- LENNTech.** Metales pesados. *Lenntech*. [En línea] (Reporte), 2010 [Consulta: 2 Septiembre 2017] Disponible en: <https://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>.
- LENNTech.** Propiedades químicas del Cromo. *Lenntech*. [En línea] (Blog), 2012 [Consulta: 5 Septiembre 2017] Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>.
- LOPEZ, M. J.** La contaminación del agua con Cromo. *Aguas Residuales*, 2016. P. 1.
- LUMELLI, M. F.** *Fitorremediación. Alcances y aplicación en el agro ecosistema argentino*. [En línea] (Blog), 2010 [Consulta: 5 Agosto 2017] Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2371>
- MALDONADO, A.** *Principales estrategias de fitorremediación*. [En línea] 2006 [Consulta: 9 Septiembre 2017] Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Principales-estrategias-en-fitorremediacion-En-el-sistema-suelo-plantamicroorganismo-los_315760800
- MARTELO, J. & LARA BORRERO, J.** Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencias*, 2011. Vol.(15), pp. 221-243.
- MULCA, P.** *Limnobium laevigatum* [En línea] 2013 [Consulta: 29 Septiembre 2017] Disponible en: <http://www.pezadicto.com/limnobium-laevigatum/>

MUÑOZ, V. *Mecanismos de fitorremediación* [En línea] (Blog), 2013 [Consulta: 10 Septiembre 2017] Disponible en: <http://colaboraconambien.blogspot.com/2013/03/mecanismos-de-fitorremediacion.html>.

NAVARRO-AVIÑÓ, J. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 2007. Vol. 16, pp. 10-25.

NORIEGA, A. *El cromo como tóxico ambiental*. [En línea] 2011 [Consulta: 2 Septiembre 2017] Disponible en: <http://www.ecologiahoy.com/el-cromo-como-toxico-ambiental>

NÚÑEZ LÓPEZ, R. A., et al. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 2004. Pp. 69-82.

OEHHA. *Efectos del Cromo Hexavalente sobre la salud*. 2016, California.

OREJUELA, J. *Evaluación de la eficacia de la Heliconia Psittacorum (Heliconiaceae) cultivada hidropónicamente para la fitorremediación de aguas con presencia de Cromo (VI)*. 2016, Riobamba: ESPOCH

PALOMINO, D. *Plantas como bioindicadores* [En línea] (Blog), 2016. [Consulta: 20 Enero 2018] Disponible en: <http://verdezona.blogspot.com/2016/06/plantas-como-bioindicadores.html>

POVEDA, A. *Evaluación De Especies Acuáticas Flotantes Para La Fitorremediación De Aguas Residuales Industrial Y De Uso Agrícola Previamente Caracterizadas En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua*. 2014. Ambato: UTA.

REY, F. *Vigor de la Planta*. [En línea] 2015 [Consulta: 1 Febrero 2018] Disponible en: http://www.aiscosolutions.com/makeitcotton/?page_id=13

ROOK. *Lemna minor*. [En línea] 2004 [Consulta: 11 Septiembre] Disponible en: <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/lemna.html>

ROSIER. *Rosazol-even*, 2016. Moustier: s.n.

RPICHU, 2015. *portalpez.com*. [En línea] [Consulta: 10 Noviembre 2017] Disponible en: <http://atlas.portalpez.com/limnobium-laevigatum-vt1715.html>

SANCHEZ, M. *Que son las plantas acuáticas*. [En línea] (Blog), 2017 [Consulta: 10 Octubre 2017] Disponible en: <https://www.jardineriaon.com/que-son-las-plantas-acuaticas.html>

SILVA, N. *Evaluación en el laboratorio de la sensibilidad de Spirogyra spp. como bioindicador de plaguicidas organofosforados*. 2017, Riobamba.

SINGH, O., et al. *Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil.* [En línea] (Reporte), 2013. [Consulta: 30 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00253-003-1244-4>

TOXICOLOGÍA, X. *XIII Congreso Español de Toxicología*, 1999. Granada.

VALDERRAMA, L., et al. *Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (E. Crassipes, Lemna Sp. Y L. Laevigatum) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas*, 2005. Bogotá, Universidad Javeriana, pp. 193-201.

VALDERRAMA, L. T. *Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, Limnobium Laevigatum Y Eichhornia Crassipes para el tratamiento de aguas residuales agro industriales*, 1996. *Vniversitarias Scientiarum*. Vol. 12, pp. 83-97.

WILLOWS, L. & VALLEY, C. *Lemnaceae (Araceae): Lemna valdiviana (Valdivia Duckweed)* [En línea] (Blog), 2010 [Consulta: 10 Octubre 2017] Disponible en: <http://www2.palomar.edu/users/warmstrong/coyck2.htm>

ANEXOS

Anexo A. Identificación de las especies

<p><i>Limnobium laevigatum</i> Heine</p>	 A photograph of a Limnobium laevigatum plant, showing its characteristic long, thin, fibrous roots and a cluster of small, green, rounded leaves at the top.
<p><i>Lemna minor</i> Hegelm</p>	 A photograph of a Lemna minor plant, showing its small, green, oval-shaped leaves and a cluster of fine, hair-like roots.

Anexo B. Adecuación del invernadero

<p>Instalación de la reja de soporte</p>	 A photograph showing the installation of a white wooden support frame (reja) inside a greenhouse. The frame is placed over a bed of green grass or similar vegetation.
--	---

Vista final de la reja de soporte dentro de la carpa tipo invernadero



Anexo C. Adaptación y reproducción de las plantas

Proceso de pesado del fertilizante para las macrófitas acuáticas.

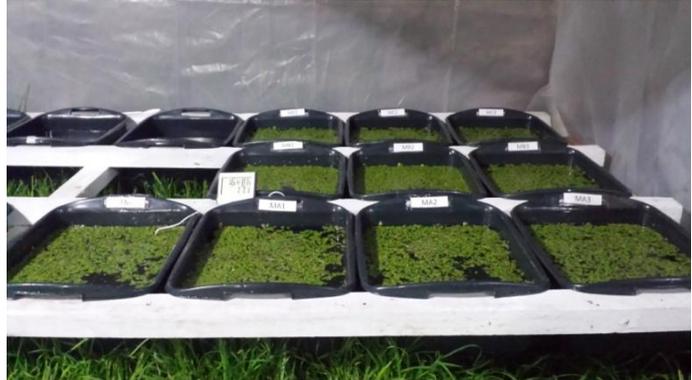


Reproducción de *Lemna minor* y
revisión física de *Limnobium
laevigatum*



Anexo C. Disposición final de los experimentos dentro del invernadero

Disposición final de los experimentos dentro del invernadero



Anexo D. Contaminación del agua con Dicromato de potasio

Incorporación del dicromato de potasio (K_2Cr_2O) al agua de experimentación.



Mezcla del agua con dicromato de potasio (K_2Cr_2O)



Anexo E. Muestras físicas de intoxicación en las plantas

<p>Cambio de color en <i>Limnobium laevigatum</i></p>	
<p>Pérdida de raíz en <i>Limnobium laevigatum</i></p>	
<p>Cambio de color en <i>Lemna minor</i></p>	

Anexo F. Análisis del agua

<p>Preparación de las muestras para análisis en el laboratorio.</p>	 A photograph of a laboratory bench with various glass bottles, some containing liquids, and other equipment like a scale and a notebook.
<p>Análisis de pH, conductividad, % de sal, temperatura y sólidos totales disueltos.</p>	 A photograph of a Consort ES45 multi-parameter meter. The digital display shows a reading of 3.59. A probe is inserted into a small white cup containing a yellowish liquid.
<p>Reacción de ChromaVer3 en la presencia de Cromo hexavalente</p>	 A photograph of two glass vials labeled '991'. The vial on the left contains a pink liquid, while the vial on the right contains a clear liquid.

Anexo G. Estado de las plantas en los días finales del experimento

Linnobium laevigatum Heine



Lemna minor Hegelm



Anexo H. Resultado de los Análisis de calidad del agua realizados en el Laboratorio del Calidad del Agua en la Facultad de Ciencias – ESPOCH

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS (Etapa Inicial)
Análisis solicitado por: Andrea Cristina Cerón Burgos
Tipo de muestras: Agua contaminada con Cromo (VI)
Localidad: Riobamba

AGUA CONTAMINADA CON CROMO (VI)

Muestra A

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6,65
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	383
Temperatura	°C	2550-A	20,7
Sal	‰	Potenciométrico	0,2
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	205
Cromo (VI)	mg/L	8023	10

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra B

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,64
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	393
Temperatura	°C	2550-A	20,7
Sal	‰	Potenciométrico	0,2
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	209
Cromo (VI)	mg/L	8023	20

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra C

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6,63
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	400
Temperatura	°C	2550-A	20,7
Sal	‰	Potenciométrico	0,2
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	214
Cromo (VI)	mg/L	8023	30

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS (Etapa media)
Análisis solicitado por: Andrea Cristina Cerón Burgos
Tipo de muestras: Agua contaminada con Cromo (VI)
Localidad: Riobamba

Muestra LA1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	7,00
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1100
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	546
Cromo (VI)	mg/L	8023	6,74

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LA2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6,92
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1170
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	565
Cromo (VI)	mg/L	8023	7,02

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LA3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,78
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1110
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	560
Cromo (VI)	mg/L	8023	6,88

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LB1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,76
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1150
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	664
Cromo (VI)	mg/L	8023	18

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LB2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,77
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1100
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,7
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	676
Cromo (VI)	mg/L	8023	18,1

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LB3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,77
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1180
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,7
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	676
Cromo (VI)	mg/L	8023	18,2

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LC1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,67
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1190
Temperatura	°C	2550-A	19,5
Sal	‰	Potenciométrico	0,7
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	574
Cromo (VI)	mg/L	8023	28,14

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LC2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,75
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1100
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	19,5
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,7
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	573
Cromo (VI)	mg/L	8023	28,89

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LC3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,80
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1140
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	19,5
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	565
Cromo (VI)	mg/L	8023	27,96

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MA1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7,15
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1100
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,4
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	545
Cromo (VI)	mg/L	8023	7,87

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MA2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,99
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1030
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,3
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	580
Cromo (VI)	mg/L	8023	7,99

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MC1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,97
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1030
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,4
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,7
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	578
Cromo (VI)	mg/L	8023	29,1

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MC2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,99
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1130
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,3
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	579
Cromo (VI)	mg/L	8023	28,92

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MC3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,78
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1040
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,3
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	589
Cromo (VI)	mg/L	8023	28,98

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.


 Dra. Giná Álvarez R.
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Muestra MA3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7,00
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1030
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,3
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	573
Cromo (VI)	mg/L	8023	7,79

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MB1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7,06
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1130
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,3
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	572
Cromo (VI)	mg/L	8023	18,78

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MB2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7,04
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1010
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,4
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	570
Cromo (VI)	mg/L	8023	18,90

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MB3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,98
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1060
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	17,3
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	592
Cromo (VI)	mg/L	8023	18,88

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
 FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS (Etapa final)

Análisis solicitado por: Andrea Cristina Cerón Burgos
 Tipo de muestras: Agua contaminada con Cromo (VI)
 Localidad: Riobamba

Muestra LA1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6,50
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1040
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	19,4
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	607
Cromo (VI)	mg/L	8023	6,68

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LA2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	6,63
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1035
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	19,4
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	603
Cromo (VI)	mg/L	8023	6,87

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LA3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6,44
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1035
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-A	19,4
Sal	$\%$	Potenciométrico	0,5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	599
Cromo (VI)	mg/L	8023	6,72

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LB1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.55
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1038
Temperatura	°C	2550-A	19.4
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	601
Cromo (VI)	mg/L	8023	17.66

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LB2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.52
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1040
Temperatura	°C	2550-A	19.4
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	605
Cromo (VI)	mg/L	8023	17.80

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LB3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.64
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1045
Temperatura	°C	2550-A	19.4
Sal	‰	Potenciométrico	0.5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	605
Cromo (VI)	mg/L	8023	17.58

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LC1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.53
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1050
Temperatura	°C	2550-A	19.4
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	598
Cromo (VI)	mg/L	8023	28.2

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MA3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.14
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1030
Temperatura	°C	2550-A	19.2
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	672
Cromo (VI)	mg/L	8023	7.49

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MB1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.11
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1020
Temperatura	°C	2550-A	19.2
Sal	‰	Potenciométrico	0.4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	655
Cromo (VI)	mg/L	8023	18.60

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MB2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.11
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1020
Temperatura	°C	2550-A	19.0
Sal	‰	Potenciométrico	0.4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	656
Cromo (VI)	mg/L	8023	18.76

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MB3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.16
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1020
Temperatura	°C	2550-A	19.0
Sal	‰	Potenciométrico	0.5
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	662
Cromo (VI)	mg/L	8023	18.68

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LC2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.61
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1060
Temperatura	°C	2550-A	19.4
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	588
Cromo (VI)	mg/L	8023	27.90

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra LC3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.60
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1020
Temperatura	°C	2550-A	19.4
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	592
Cromo (VI)	mg/L	8023	27.84

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MA1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.18
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1020
Temperatura	°C	2550-A	19.0
Sal	‰	Potenciométrico	0.4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	545
Cromo (VI)	mg/L	8023	7.52

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MA2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.06
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1030
Temperatura	°C	2550-A	19.2
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	582
Cromo (VI)	mg/L	8023	7.48

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MC1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.17
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1020
Temperatura	°C	2550-A	19.2
Sal	‰	Potenciométrico	0.4
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	650
Cromo (VI)	mg/L	8023	28.89

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MC2

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	7.07
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1030
Temperatura	°C	2550-A	19.5
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	577
Cromo (VI)	mg/L	8023	28.74

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Muestra MC3

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6.99
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1035
Temperatura	°C	2550-A	19.2
Sal	‰	Potenciométrico	0.6
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	587
Cromo (VI)	mg/L	8023	28.80

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.




 Dra. Gina Álvarez R.
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS