



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**“EVALUACIÓN DE LA BIOCONCENTRACIÓN DE DOS ESPECIES
DE MACROFITAS ACUÁTICAS (*Eichhornia crassipes* y *Lemna spp*) EN
LA FITORREMEDIACIÓN DE UN MEDIO CONTAMINADO CON
PLOMO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: SANTIAGO RODRIGO MERA PONCE.

TUTOR: Ing. ANDRES AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS.

Riobamba - Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“EVALUACIÓN DE LA BIOCONCENTRACIÓN DE DOS ESPECIES DE MACROFITAS ACUÁTICAS (*Eichhornia crassipes* y *Lemna spp*) EN LA FITORREMEDIACIÓN DE UN MEDIO CONTAMINADO CON PLOMO”**, de responsabilidad del Sr. Egresado Santiago Rodrigo Mera Ponce, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Firma

Fecha

Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos

**TUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

.....

.....

Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Santiago Rodrigo Mera Ponce, 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, 10 de junio del 2016.

Santiago Rodrigo Mera Ponce

180423562-8

Yo, Santiago Rodrigo Mera Ponce, 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.

SANTIAGO RODRIGO MERA PONCE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, docentes y autoridades que día a día comparten sus conocimientos, inculcando sabiduría en cada uno de nosotros, me marcho eternamente agradecido a esta politécnica por acogerme y darme la oportunidad de ser un profesional en lo que tanto me apasiona.

A mi familia, y a mis padres por darme la fuerza y todo su apoyo para culminar la carrera

SANTIAGO RODRIGO MERA PONCE

DEDICATORIA

En primer lugar agradezco a Dios por darme la fuerza para seguir adelante cuando pensaba que todo estaba perdido, aprender de los errores es lo que hace a las personas más grandes y prosperas de este mundo.

A mi madre Amada Georgina ya que para mí siempre ha sido un ejemplo de lucha y perseverancia en la vida, gracias por todo mama te amo.

A mi Padre Rodrigo German y a mis hermanos Verónica y Sebastián ya que sin su apoyo y paciencia jamás hubiera logrado dar este paso tan importante en mi vida.

La humildad es una virtud que me llevo para todo la vida, ya que con ella sé que llegare a cumplir todas las metas que me proponga en ella.

SANTITO.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
KEYWORDS:	xiv
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
GENERAL	3
ESPECIFICOS	3
CAPITULO I	4
1. MARCO TEORICO	4
1.1 Agua contaminada en el Ecuador	4
<i>1.1.1 Contaminantes del agua.</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Índices de calidad del agua.</i>	<i>6</i>
1.2 Fitosistemas de tratamiento de aguas residuales	7
<i>1.2.1 Filtros verdes.</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2 Humedales.</i>	<i>7</i>
1.3 Fitodepuración en humedales.	7
<i>1.3.1 Fitodepuración y humedales.</i>	<i>7</i>
<i>1.3.2 Concepto de macrofita.</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1 Tipos de plantas en los humedales.</i>	<i>8</i>
1.3.1.1 Plantas acuáticas estrictas: Hidrofitos.	8
1.3.1.2 Plantas acuáticas sumergidas.....	9
1.3.1.3 Plantas anfibias emergentes.	9
1.3.1.4 Plantas Flotantes.	9
1.4 Los humedales artificiales como ecosistemas.	10
<i>1.4.1 Procesos activos de la vegetación en la depuración.</i>	<i>11</i>
1.4.1.1 Oxigenación del medio.	11
1.4.1.2 Extracción de nutrientes.	12

1.4.1.3	Metales traza.....	13
1.5	Filtro de macrófitas en flotación.....	14
<i>1.5.1</i>	<i>Ventajas del sistema.....</i>	<i>15</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Duración de las plantas.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.3</i>	<i>Tratamientos de las plantas.....</i>	<i>16</i>
1.6	Plantas flotantes.....	17
<i>1.6.1</i>	<i>Eichhornia crassipes (Jacinto de agua).....</i>	<i>17</i>
1.6.1.1	Descripción.....	17
1.6.1.2	Ciclo de desarrollo.....	17
1.6.1.3	Aplicación.....	18
1.6.1.4	Implantación.....	18
<i>1.6.2</i>	<i>Lemna spp. (Lentejas de agua).....</i>	<i>19</i>
1.6.2.1	Descripción.....	19
1.6.2.2	Ciclo de desarrollo.....	20
1.6.2.3	Aplicación.....	20
1.6.2.4	Implantación.....	20
1.7	Biotecnología utilizada como método de eliminación de metales pesados.....	21
<i>1.7.1</i>	<i>Fitorremediación.....</i>	<i>22</i>
1.7.1.1	Fitorremediación acuática.....	24
1.8	Tolerancia y adsorción de metales pesados por parte de las plantas.....	24
<i>1.8.1</i>	<i>Mecanismos internos de tolerancia.....</i>	<i>27</i>
1.8.1.1	Quelación de los metales.....	27
1.8.1.2	Fitoquelatinas.....	28
1.8.1.3	Metalotioneinas.....	29
1.9	Metales pesados.....	30
<i>1.9.1</i>	<i>Fuentes de metales pesados.....</i>	<i>30</i>
<i>1.9.2</i>	<i>Plomo.....</i>	<i>31</i>
1.9.2.1	Toxicidad del plomo.....	32
1.9.2.2	Plomo en el Ecuador.....	34
CAPITULO II.....		37
2.	METODOLOGIA.....	37
2.1	Muestreo de las macrófitas acuáticas.....	37
2.2	Identificación Botánica de las especies.....	38

2.3	Preparación del medio para desarrollar la investigación experimental de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i>.	39
2.3.1	Componentes Experimentales.	39
2.3.1	Condiciones Ambientales para el medio experimental.	40
2.3.2	Nutriente.	40
2.3.3	Contaminante	41
2.4	Fase de adaptación.	42
2.5	Fase de nutrición del medio.	43
2.6	Fase de contaminación del medio.	44
2.6.1	Ajuste del contaminante.	44
2.7	Monitoreo y recolección de muestras.	46
2.7.1	Determinación de pH.	46
2.7.2	Determinación de conductividad.	47
2.7.3	Absorción atómica.	47
2.8	Método de llama directa de acetileno y aire	47
 CAPÍTULO III		47
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	48
3.1	Concentraciones finales de Plomo.	48
3.2	Factor de Bioconcentración.	48
3.3	Porcentaje de remoción.	49
3.4	Nutriente.	50
3.5	Contaminante.	50
3.6	Monitoreo.	54
3.7	Análisis estadístico.	57
 CONCLUSIONES		62
 RECOMENDACIONES		63
 BIBLIOGRAFÍA		
 ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Tipos de contaminantes en el agua.....	5
Tabla 1-2:	Efectos de los usos del agua.....	6
Tabla 1-3:	Nutrientes indispensables para las plantas.	13
Tabla 1-4:	Fitorremediación.....	23
Tabla 1-5:	Mecanismos de tolerancia múltiple.....	25
Tabla 1-6:	Fuentes de metales pesados.....	31
Tabla 1-7:	Propiedades del Plomo.....	32
Tabla 2-1:	Coordenadas geográficas.	37
Tabla 3-1:	Concentraciones finales de Plomo.	48
Tabla 3-2:	Factor de Bioconcentración.	49
Tabla 3-3:	Porcentaje de remoción.....	50
Tabla 3-4:	Especies vegetales antes y después del tratamiento.	51
Tabla 3-5:	Medición de pH.	54
Tabla 3-6:	Medición de conductividad.....	55
Tabla 3-7:	Variables estadísticas.	57
Tabla 3-8:	Medias, desviación estándar y coeficiente de variación.....	58
Tabla 3-9:	Test Shapiro.....	58
Tabla 3-10:	Test Bartlett.....	59
Tabla 3-11:	Anova un factor.	59
Tabla 3-12:	Contrastes de Tukey.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Agua contaminada.....	5
Figura 1-2:	Tipos de plantas en los humedales.....	10
Figura 1-3:	Canales aeríferos corte longitudinal	11
Figura 1-4:	Red de canales aeríferos corte transversal.	12
Figura 1-5:	Macrófitas en flotación.....	15
Figura 1-6:	Jacinto de agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>)	19
Figura 1-7:	Lentejas de agua (<i>Lemna spp</i>).....	21
Figura 1-8:	Métodos convencionales para la remoción de metales pesados.	21
Figura 1-9:	Tipos de Fitorremediación en plantas.....	23
Figura 1-10:	Mecanismo de quelación.	28
Figura 1-11:	Manifestaciones clínicas del Plomo.....	33
Figura 2-1:	Laguna de guano	38
Figura 2-2:	Nutriente RootMost.....	40
Figura 2-3:	Nitrato de Plomo	41
Figura 3-1:	Variación de pH.	54
Figura 3-2:	Variación de la conductividad.	56
Figura 3-3:	Diagrama de cajas.	60

INDICE DE ANEXOS

Fotografías A:	Preparación de la solución contaminante.
Fotografías B:	Muestreo de macrófitas.
Fotografías C:	Medición de pH.
Fotografías D:	Medición de conductividad.
Fotografías E:	Tratamientos.
Fotografías F:	Análisis de plomo en tejidos.
Fotografías G:	Análisis de plomo en agua.
Fotografías H:	Análisis de laboratorio (agua).
Fotografías I:	Análisis de laboratorio (tejidos).

RESUMEN

Se realizó una Fitorremediación de agua contaminada con plomo a nivel de laboratorio en la ciudad de Riobamba, se utilizó dos especies de macrofitas acuáticas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna spp*). El agua a utilizar fue contaminada con Nitrato de plomo debido a que esta sal es soluble en agua, hasta llegar a una concentración inicial de 5 ppm. Para el tratamiento de Fitorremediación se construyó un invernadero y se utilizó 6 contenedores de vidrio, una bomba de oxígeno, y dos tipos de macrofitas acuáticas, las cuales fueron transportadas desde la Laguna de Guano. Se aplicaron 3 tipos de tratamiento, A (*Lemna spp*), B (*Eichhornia crassipes*) y C (*Lemna spp* y *Eichhornia crassipes*). Para la fase de adaptación primero se colocó a las macrofitas acuáticas en los contenedores de vidrio a continuación se añadió un nutriente líquido llamado Rootmost, cuando las macrofitas se adaptaron, siguió la fase de intoxicación, en donde se añadió la solución contaminante hasta una concentración de 5 ppm, finalmente se tiene la fase de absorción del contaminante la cual tuvo una duración de 14 días, para lo cual es necesario controlar el pH y la conductividad, se observó los cambios físicos en los respectivos tratamientos presentándose necrosis y también clorosis con el paso de los días. Finalmente, se analizó tanto el medio acuoso como la biomasa de las especies vegetales, dando como resultado que el tratamiento C (*Lemna spp* y *Eichhornia crassipes*) presentó los mejores resultados, registrando un porcentaje de remoción del 77.8 % y un factor de bioconcentración mayor a 100, por lo que se concluye que tanto *Eichhornia crassipes* y *Lemna spp* al actuar combinadas demuestran eficacia en la Fitorremediación de un medio contaminado con Plomo. Se recomienda utilizar este tipo de tratamientos biológicos en la recuperación de aguas residuales industriales ya que presentan bajos costos de mantenimiento y un buen potencial de descontaminación.

Palabras clave

<FITORREMEDIACION>,<MACROFITAS ACUATICAS>,<PLOMO>,<FASE DE ADAPTACION>,<FASE DE INTOXICACION>,<FASE DE ABSORCION>

ABSTRACT

This research was carried out to make a Phytoremediation of contaminated water lead at the laboratory in Riobamba city, two species of aquatic macrophytes Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Duckweed (*Lemna spp*) were used. The water used was contaminated with lead Nitrate because this salt is soluble in water, up to an initial concentration of 5 ppm. Phytoremediation for treating a greenhouse and was built and 6 glass containers, an oxygen pump, and two types of aquatic macrophytes, which were transported from the lake Guano. Three types of treatments were applied : a) (*Lemna spp*), b) (*Eichhornia crassipes*) and c) (*Lemna spp* and *Eichhornia crassipes*). For the first adaptation phase is collocated to aquatic macrophytes, in glass containers then added a liquid nutrient called Rootmost, when macrophytes adapted them followed in it was poisoning phase, where in the contaminant solution was added to a concentration of 5 ppm and it has the absorption phase contaminant which taken 14 days, for which it is necessary to control pH and conductivity, physical changes was observed in the respective treatments presenting necrosis and also chlorosis with passage of time. Finally, both the aqueous medium were analyzed as biomass vegetables species, resulting treatment c) (*Lemna spp* and *Eichhornia crassipes*) provided the best results, registering a removal percentage of 77.8% and higher bioconcentration factor 100, so it is concluded that both *Lemna spp* and *Eichhornia crassipes* the current combined demonstrate efficacy in phytoremediation of lead-contaminated environment. It is recommended to use this type of biological treatment in the recovery of industrial waste water since they have low maintenance costs and good potential decontamination.

Keywords:

<PHYTOREMEDIATION>, <MACROPHYTES ACUATICAS>, <LEAD>, <ADAPTATION PHASE>, <PHASE OF POISONING>, <ABSORPTION PHASE>.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales es la contaminación de los recursos hídricos (lagos, ríos, vertientes, etc.). En nuestro país uno de los problemas que se presentan habitualmente es la eliminación de aguas contaminadas con metales pesados ; los sistemas actuales que se implementan son costosos por lo que se propone a la fitorremediación como una técnica de bajo costo y potencialmente sustentable; esta técnica propone la absorción y acumulación de metales por medio de procesos biológicos realizados por plantas acuáticas ya que este tipo de plantas son capaces de bioacumular la mayoría de metales pesados, y así evitar los problemas ambientales que promueven los mismos.

Las macrofitas acuáticas son consideradas indispensables en los ecosistemas acuáticos ya que proporcionan protección y alimento para un gran número de organismos. Muchas de este tipo de plantas son consideradas como maleza debido a su carácter invasivo obstruyendo flujos de agua, una utilidad para este tipo de plantas es que sirven como alimento para animales pero la principal alternativa es como fitorremediadoras, ya que son capaces de absorber ciertas sustancias contenidas en el agua y además de oxigenar las mismas debido a sus órganos aeríferos.

La importancia de la eliminación del Plomo, es que por su alta toxicidad afecta tanto al hombre como a los demás seres vivos, provocando daños severos al hígado, riñones, cerebro acumulándose en los llamados órganos blancos, para evaluar el grado de exposición humana, se suele medir la concentración de plomo en sangre.

La presente investigación nos demuestra una gran preeminencia debido a que se está investigando diversas especies de macrofitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes* y *Lemna spp*) en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados (Plomo) y sus efectos de adaptabilidad al medio contaminado.

Con esta investigación se propone la disponibilidad de tratamientos terciarios mediante la fitorremediación de metales pesados por parte de este tipo de plantas, ya que las mismas cuentan con una gran capacidad de hiperacumulación de metales pesados, por lo que se considera como una alternativa viable para nuestro país.

JUSTIFICACIÓN

El emplear diversos tipos de macrofitas acuáticas en la descontaminación de ambientes perturbados por diversas actividades industriales puede presentar ciertas ventajas comparado con las tecnologías generalmente utilizadas ya que este tipo de procesos biológicos presentan menores costos y suelen ser mas efectivos para tratar grandes volúmenes y pequeñas concentraciones.

La utilización de macrofitas acuáticas como descontaminantes de aguas contaminadas con metales pesados (fitorremediación) es una técnica novedosa ya que esta requiere de bajos costos de implementación y operación, también es una técnica auto sostenible, que ayudaría de gran manera a la descontaminación de aguas principalmente de origen minero industrial ayudando de esta manera a la conservación de los ecosistemas y salud de los pobladores, generaría ciertos ingresos; la viabilidad que presenta este proyecto es adecuado ya que la disponibilidad de recursos es factible debido a que la materia prima necesaria para la investigación se la puede encontrar en el medio y es de fácil acceso; adicionalmente las macrofitas acuáticas crecen de manera natural en lagunas y estuarios, debido a que estas plantas poseen una gran capacidad de absorción de contaminantes se podría estimar que los resultados a obtenerse serán idóneos y confiables; la información necesaria para sustentar esta investigación se la puede encontrar en tesis y en algunos libros científicos, en los cuales se demuestran con investigaciones anteriores la metodología y factibilidad de utilizar este tipo de plantas.

Este estudio experimental será de gran ayuda para dar a conocer nuevas alternativas acerca de la degradación de contaminantes, y su posible implementación en fábricas y empresas de nuestro país que descarguen aguas residuales contaminadas con cierto tipo de metales principalmente con Plomo como es el caso de las industrias mineras, fabricantes de vidrios, productoras de baterías, productoras de papel etc. Estos procesos de fitorremediación serian de gran ayuda para reducir gastos y proponer tratamientos terciarios que sean amigables con el medio ambiente.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la eficacia de utilizar macrófitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes* y *Lemna spp*) en la fitorremediación de un medio contaminado con Plomo a 5 ppm.

ESPECIFICOS

- Promover el crecimiento y estabilización de las macrófitas acuáticas en un medio contaminado con Plomo para lograr un correcto desempeño en el proceso de biorremediación.
- Cuantificar las concentraciones de Plomo absorbidas por las dos especies de macrófitas acuáticas del medio contaminado para determinar su capacidad de biorremediación.
- Comparar el desempeño de descontaminación de cada una de las especies utilizadas en la investigación.
- Determinar si existe un potencial de bioconcentración en cada uno de los tratamientos planteados para conocer su capacidad de acumulación del contaminante.
- Evaluar la toxicidad del Plomo en las dos especies de macrófitas acuáticas, a una concentración única de 5 ppm para determinar la existencia de cambios físicos como fisiológicos en las especies vegetales.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1 Agua contaminada en el Ecuador

Principalmente en nuestro país las obras a las que se les brinda una mayor atención son a la construcción y mantenimiento de canales de riego, embalses, sistemas de agua potable y alcantarillado. Esencialmente existe un gran interés por dotar de agua a determinadas poblaciones o ciertas actividades, sin embargo la calidad del agua que se provee es muy baja debido a que no se realizan los debidos esfuerzos para mejorar las provenientes de actividades industriales, domesticas e incluso agropecuarias.(ECUADOR, 2012 pág. 62)

Las diversas opiniones sobre la contaminación del recurso hídrico en nuestro país se basan generalmente en anécdotas más que en datos reales, ya que no se disponen de datos actualizados de la contaminación de este tipo de recursos. Distintos tipos de organizaciones, empresas y ciertas investigaciones han logrado demostrar cierto grado de contaminación existente en distintos tipos de aguas. (ECUADOR, 2012 pág. 74)

Cabe mencionar que el agua que se encuentra en los cursos de los ríos, generalmente en abundancia no es apta para poder utilizarla en ganadería, riego de cultivos, etc. Lo que conlleva a tener abundante agua pero con una baja calidad es decir inutilizable. “Esto tiene consecuencias importantes en la gestión de los recursos hídricos ya que la falta de agua en las zonas bajas aumenta la presión sobre los páramos y ecosistemas de altura para suplir de agua de buena calidad a las poblaciones locales.”(ECUADOR, 2012 pág. 76)



Figura 1-1: Agua contaminada

Fuente: Agua Ecuador, 2012, pág. 76

1.1.1 Contaminantes del agua.

Los diversos tipos de contaminantes de acuerdo a su clasificación físico- química es la siguiente:

Tabla 1-1: Tipos de contaminantes en el agua

Microorganismos	Bacterias, virus, hongos y algas
Bionutrientes	Compuestos fosforados y nitrogenados
Compuestos Químicos Orgánicos	Hidratos de carbono, aminoácidos, proteínas, aceites y grasas, hidrocarburos, jabones y detergentes, pesticidas etc.
Compuestos Químicos Inorgánicos	Sales: aniones y cationes; ácidos y bases; elementos tóxicos: metales y no metales; elementos radioactivos; gases; especies minerales no disueltas.
Agente Físico	Calor

Realizado por: Mera Santiago, 2016

También existen contaminantes como los pesticidas y bionutrientes, tomando en cuenta a los metales, policlorobifenilos, dioxinas e hidrocarburos. En la siguiente tabla podemos observar los usos y efectos sobre la calidad del agua.

Tabla 1-2: Efectos de los usos del agua.

Usos	Efectos sobre la calidad el agua
Irrigación/ Residuos animales	Salinización del agua superficial y subterránea, disminución del oxígeno disuelto.
Industria/ Minera	Disminución de oxígeno disuelto, contaminación del agua con metales y compuestos orgánicos; drenaje ácidos de minas
Termoeléctrica	Incremento de la temperatura del agua
Doméstico/ Industrial	Disminución de oxígeno disuelto

Fuente: Spiro, 2007.pag 35

1.1.2 *Índices de calidad del agua.*

Existen varios tipos de parámetros dependiendo su uso, entre los principales índices tenemos:

- Índice biológico.
- Índice físico-químico.

Índices Biológicos: Los indicadores biológicos son considerados como aquellos cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema sobre el cual habitan, permitiendo detectar la presencia de elementos contaminantes nuevos e insospechados. (ARCE, 2006 pág. 122)

Índices bióticos: valoran el estado ecológico en el que se encuentra las especies combinando la diversidad de ciertos grupos taxonómicos y la tolerancia a la polución provocado por algún proceso de contaminación.

1. Biological monitoring working party (BMWP).
2. Índice biótico de Trent (TBI).
3. Índice de Chandler.

Índice de diversidad: Mide la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio, considerando los siguientes componentes: riqueza (número de especies presentes), equitatividad (uniformidad en la distribución de los individuos) y abundancia (número total de organismos presentes).

Entre los índices de diversidad más utilizados tenemos:

1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H).
2. Índice de diversidad de Simpson-Gini (Y).
3. Índice de Berger-Parker (B).
4. Índice de diversidad de McIntosh. (ARCE, 2006 pág. 122)

1.2 Fitosistemas de tratamiento de aguas residuales

1.2.1 Filtros verdes.

Este tipo de filtros reciben aguas residuales para su posterior depuración, sin embargo pueden existir algunos inconvenientes ya que pueden llegar a contaminar los acuíferos debido a que existen superficies de suelo con o sin vegetación. (Revista Ecosistemas, 2008 págs. 122-125).

1.2.2 Humedales.

Aquí se puede encontrar gran cantidad de macrofitas acuáticas (flotantes, enraizadas, libres, etc.); una característica principal es que pueden tener parte de sus órganos sumergidos o flotando generalmente en zonas encharcadas o acuosas. (Revista Ecosistemas, 2008 págs. 122-125).

Existen dos tipos de humedales que pueden ser: Naturales y artificiales, y la inundación puede ser: temporal y permanente. Se pueden utilizar humedales tanto naturales como artificiales para depurar aguas residuales ya que aquí existe una interacción entre los microorganismos y las plantas superiores de esta manera ayuda a la degradación de la materia orgánica. (Revista Ecosistemas, 2008 págs. 122-125).

1.3 Fitodepuración en humedales.

1.3.1 Fitodepuración y humedales.

La fitodepuración proviene de dos voces (phyto = planta, depurare = limpiar, purificar), esto quiere decir que la fitodepuración se considera como la capacidad de purificar o descontaminar diversos tipos de aguas residuales aplicando distintos procesos biológicos como fisicoquímicos mediante la utilización de diversas plantas superiores.

Relacionando los humedales naturales con los artificiales cabe mencionar que los artificiales presentan una serie de ventajas entre ellas tenemos.

- Mantenimiento sencillo.
- Bajo coste.
- Mayor eficacia en aguas residuales con carga orgánica.
- Bajo impacto visual.
- Proporcionan apariencia natural. (FLORPEDIA, 2013 pág. 55)

1.3.2 *Concepto de macrofita.*

Una macrofita es considerada como cualquier tipo de planta que puede ser observada a simple vista, por lo tanto las plantas que crecen en los humedales son llamadas macrofitas acuáticas (plantas vasculares, musgos acuáticos y algas). (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 págs. 184-190)

En el área de investigación sobre humedales, ya sean naturales o artificiales, se utiliza la denominación ‘macrofita’ de manera no estrictamente coincidente con el concepto botánico, los investigadores científicos consideran a las macrofitas como plantas acuáticas ya que la mayoría de plantas que podemos encontrar en los humedales son angiospermas (plantas con semilla), generalmente se utiliza el termino macrofita de manera restrictiva esto es para referirse especialmente a plantas acuáticas con semilla. (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 págs. 184-190)

1.3.1 *Tipos de plantas en los humedales.*

Dependiendo el grado de adaptación que poseen las macrofitas acuáticas tenemos:

Hidrofitos: plantas acuáticas en sentido estricto.

Higrofitos terrestres: son aquellas plantas que se encuentran en el suelo pero con una saturación de agua baja o alta. (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 pág. 191)

1.3.1.1 *Plantas acuáticas estrictas: Hidrofitos.*

Son plantas que se encuentran muy bien adaptadas a las condiciones de vida acuática; comparándolas con las plantas terrestres sabemos que estas se encuentran enraizadas en suelos

aireados donde se encuentra la llamada atmosfera del suelo. Las plantas para poder subsistir necesitan oxígeno y dióxido de carbono en proporciones de 210 y 0.3 cm³/L de aire, respectivamente. (SPIRO, y otros, 2000 págs. 56-60)

1.3.1.2 *Plantas acuáticas sumergidas.*

Como su nombre lo dice son plantas que contienen sus órganos vegetativos sumergidos bajo el agua; estas plantas son capaces de oxigenar el agua en donde se desarrollan; manteniendo sus órganos sumergidos conllevan a que el oxígeno desprendido por el proceso de fotosíntesis pase directamente al agua. (SPIRO, y otros, 2000 págs. 56-60)

1.3.1.3 *Plantas anfibia emergentes.*

Estas plantas se caracterizan por tener cierta parte de sus órganos vegetativos sumergidos bajo el agua, y otra parte fuera de esta.

Son plantas que se encuentran enraizadas en el fango o suelo encharcado, asomando una pequeña parte de su cuerpo por encima de la lámina de agua. Este tipo de plantas también pueden ser llamadas helófitas (pantano). En gran cantidad de humedales artificiales podemos encontrar un gran número de especies de este tipo como son las eneas, caña, esparganio; este tipo de plantas son muy prácticas en procesos de floculación y sedimentación obteniéndose resultados favorables. (SPIRO, y otros, 2000 págs. 56-60)

1.3.1.4 *Plantas Flotantes.*

Son consideradas como plantas en las que sus órganos vegetativos se encuentran flotando sobre la película de agua; aquí podemos encontrar a la lenteja de agua que es considerada como una especie de libre flotación, la cual muestra sus raíces suspendidas en agua. Las plantas flotantes enraizadas, presentan sus órganos superiores flotando en la superficie del agua y se caracterizan por presentar sus raíces adheridas al fondo del humedal un claro ejemplo de este tipo de plantas son los nenúfares. (ESCOBAR, 2010 pág. 9)

Existen dos tipos de plantas flotantes muy importantes en lo que concierne a sistemas de tratamientos de aguas, estas son la lenteja de agua (*Lemna minor*) y Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*); la primera tiene una gran capacidad para proliferarse vegetativamente y es de diminuto tamaño, la segunda posee un tamaño vistoso y es muy productiva. Este tipo de especies vegetales

actúan extrayendo nutrientes del medio y son de gran ayuda al evitar la propagación de algas, proporcionando sombra al agua y evitando que penetren los rayos solares. El único inconveniente se presenta cuando estas plantas se reproducen incontroladamente, evitando la oxigenación del humedal. (ESCOBAR, 2010 pág. 10)

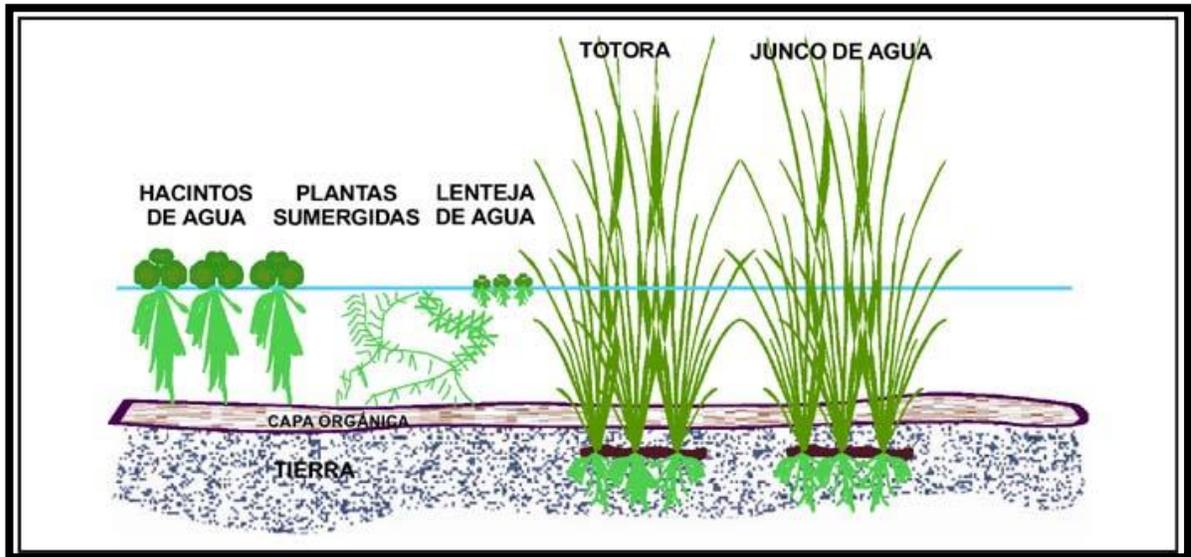


Figura 1-2: Tipos de plantas en los humedales.

Fuente: (MARKER, 2011 pág. 62)

1.4 Los humedales artificiales como ecosistemas.

Los humedales combinan diversos procesos como son los físicos, químicos y biológicos, brindando un equilibrio ecológico para las comunidades de organismos que en el habitan; en el caso de los humedales artificiales estas condiciones o procesos deben ser controlados. (ANSOLA, 2001 págs. 145-155)

Algunas de las características que diferencia a un humedal artificial de un natural son las siguientes:

- Se presenta un flujo de agua más estable.
- No se encuentra sometido a fluctuaciones estacionales.
- El tiempo de retención del agua depende del operador.
- La carga contaminante a tratar es más elevada.

Un factor ambiental muy importante es la temperatura, actúa retardando los procesos biológicos pero no afecta a los físicos (filtración y sedimentación). (ANSOLA, 2001 págs. 145-155)

1.4.1 *Procesos activos de la vegetación en la depuración.*

Existen diversas funciones para los diversos tipos de plantas existentes en los humedales artificiales, entre las más importantes mencionaremos la captación de contaminantes del agua, y el proceso realizado a partir de las hojas hasta las raíces denominadas intercambio gaseoso. Asimismo las macrofitas acuáticas acumulan metales pesados como aniones eutrofizantes (fosfatos y nitratos principalmente). (BRIX, 1998 págs. 15-25)

1.4.1.1 *Oxigenación del medio.*

Dentro de los mecanismos de aireación de sus tejidos, se tiene que el aire ingresa al interior de la planta a través de unos pequeños orificios tanto en hojas y tallos, denominadas lenticelas; para que a las raíces se les suministre oxígeno es necesario que se desarrolle un tejido denominado aerénquima, este tejido contiene grandes espacios huecos interconectados, permitiendo el intercambio de gaseoso por toda la planta o especie vegetal. (BRIX, 1998 pág. 30)

Gracias al intercambio gaseoso ocurrido en las raíces, se desarrolla un microambiente rico en oxígeno en los alrededores de las raíces. Los microorganismos aerobios que habitan en los alrededores de las raíces promueven la reducción de la carga contaminante y por lo tanto la disminución de la materia orgánica contenida en el medio. La cantidad de oxígeno liberada por las macrofitas acuáticas es muy complicado estimarla principalmente por que las técnicas experimentales utilizadas no son muy fiables. Por ejemplo se estima que las plantas flotantes liberan de 0.25 a 9.6 g O₂/m²/día.(BRIX, 1998 pág. 32)

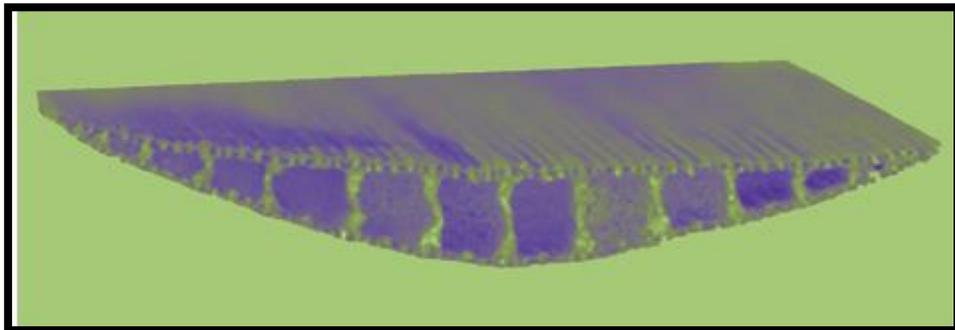


Figura 1-3: Canales aeríferos corte longitudinal

Fuente: (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 pág. 198)

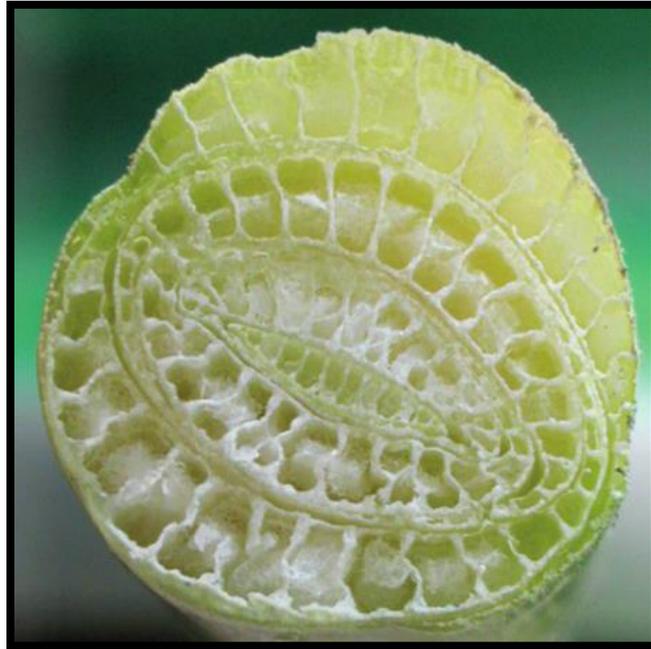


Figura 1-4: Red de canales aeríferos corte transversal.

Fuente: (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 pág. 199)

1.4.1.2 Extracción de nutrientes.

Para que una planta extraiga nutrientes como diversos tipos de contaminantes contenidos en el agua es necesario conocer diversos factores propios de cada macrófitas acuática. El rendimiento de la planta está considerado por los g de peso seco generados por unidad de superficie, de esta manera se sabe la cantidad de contaminante en gramos contenida en la planta. (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 págs. 212-215)

La acumulación de contaminantes mediante la utilización de macrófitas acuáticas resulta considerable, el tejido vegetal de la macrófitas es el medio en el cual se adhiere el contaminante. Existen 3 grupos de elementos indispensables para la el desarrollo y subsistencia de las plantas:

Tabla 1-3: Nutrientes indispensables para las plantas.

Macronutrientes	Micronutrientes	Oligoelementos
<ul style="list-style-type: none">• Nitrógeno• Fosforo• Potasio	<ul style="list-style-type: none">• Azufre• Calcio• Magnesio	<ul style="list-style-type: none">• Hierro• Magnesio• Cobre• Cinc• Boro• Molibdeno
Proporción de 1-2%, 0.1-1% y 0.5-1% del peso seco	Proporción < 0.5%	Proporciones muy pequeñas (ppm)

Fuente: Mera Santiago, 2016

También hay que mencionar que hay otros elementos que no siendo indispensables son acumulados por algunas plantas, aspecto que se aprovecha para la biorremediación y fitorremediación, que es la recuperación a través de procesos biológicos de áreas (suelos, aguas) puntualmente contaminados por actividades industriales generadores de diversos tipos de contaminantes (metales pesados, hidrocarburos.). (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 págs. 212-215)

1.4.1.3 Metales traza.

Los metales traza son elementos que se encuentran en cantidades muy pequeñas, existen metales traza que son indispensables para la vida especialmente para el crecimiento de plantas y animales, pero otros que en cantidades elevadas nos provocan severos daños toxicológicos, por ejemplo, el plomo, cobalto y cromo. (FERNANDEZ, 2004 págs. 125-140)

Cuando analizamos diversos tipos de aguas residuales, para brindarles un correcto tratamiento y nos encontramos que este tipo de agua, se encuentra contaminada con metales pesados, es indispensable que se realicen otro tipo de tratamientos biológicos a estos tratamientos se los conoce con el nombre de biorremediación. (FERNANDEZ, 2004 págs. 125-140)

Una de las técnicas fundamentales de la biorremediación, es en la que se emplea diversos tipos de plantas, el tipo de planta utilizado depende del metal a remediar, aprovechando la capacidad de acumulación de las diversas especies vegetales. (FERNANDEZ, 2004 págs. 125-140)

Dentro de los procesos de remoción de metales tenemos a los llamados físico-químicos:

- Intercambio catiónico.
- Formación de quelatos con el sustrato o con los sedimentos.
- Unión con materiales húmicos.
- Precipitación de sales insolubles como sulfatos o carbonatos.

Todos los procesos mencionados anteriormente, ayudan a la separación de los metales contenidos en el agua, mediante la acumulación en el fondo del humedal. Aquí puede ocurrir una resuspensión de los metales y casualmente su solubilización siempre y cuando el sedimento sea removido. (FERNANDEZ, 2004 págs. 125-140)

Dentro de los procesos biológicos para la remoción de metales tenemos:

- Extracción por plantas.
- Extracción por bacterias.
- Extracción por algas.

Las macrófitas acuáticas absorben los contaminantes por medio del llamado sistema radicular, y su capacidad de bioacumulación dependerá siempre del tipo de metal a tratar. Para determinar la capacidad de extracción nos basamos en que a mayor cantidad de biomasa generada por la especie vegetal mayor será la cantidad de contaminante eliminada del medio. (FERNANDEZ, 2004 págs. 125-140)

1.5 Filtro de macrófitas en flotación.

Los filtros de macrófitas acuáticas, ayudan a dar tratamientos terciarios y también secundarios, como la eliminación de materia orgánica e inorgánica en sistemas de tratamientos de aguas convencionales. Los microorganismos que se encuentran adheridos a las raíces de la planta, ayudan a descomponer la materia orgánica y disminuir los sólidos suspendidos. Este sistema de macrófitas también se lo puede utilizar en efluentes que sean ricos en nutrientes es decir en nitrógeno, fosforo y

potasio, es decir en aguas eutrofizadas o en aguas residuales industriales o agrarias. (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 pág. 220)

Las macrófitas acuáticas son capaces de descontaminar incluso aguas que contienen compuestos fenólicos, de esta manera acumulando importantes cantidades de metales pesados en sus tejidos, lo único que hay que tomar en cuenta es la elección de la macrófitas a utilizar en el tratamiento ya que cada especie de macrófitas posee características distintas. (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 pág. 222)



Figura 1-5: Macrófitas en flotación.

Fuente: (FERNANDEZ GONZALES, y otros, 2001 pág. 210)

1.5.1 Ventajas del sistema.

Como principales ventajas de este sistema de macrófitas acuáticas en flotación tenemos las siguientes:

- Costos mínimos en la construcción, debido a que no se necesita un relleno.
- Implantación sencilla, se colocan directamente en el canal ya que son plantas flotantes.
- Existe un mejor desempeño del sistema ya que no se acumulan sedimentos arrastrados por el agua (colmatación).

- Reducción de costos al no existir sedimentos al fondo del canal, evitando así su mantenimiento y limpieza de los mismos.
- Excelente sistema de depuración al mantener a las raíces sumergidas en el agua.
- Producción de biomasa en grandes cantidades.
- Los lodos se auto digieren en el fondo del canal, por lo que no es necesaria su retirada periódica.

Número de plantas

Se recomienda del orden de 10 plantas por m² de canal. (GERSBERG, y otros, 2000 págs. 363-368)

1.5.2 Duración de las plantas.

Las plantas utilizadas son capaces de vivir largos periodos de tiempo (perennes), esto le confiere al filtro una duración ilimitada, controlando únicamente las plagas que pueden afectar a las macrofitas. Cuando el efluente contiene sustancias toxicas, las plantas pueden sufrir necrosis y morir, en estos casos la solución es realizar una nueva implantación de especies vegetales. (GERSBERG, y otros, 2000)

Las plantas inician su acción depuradora inmediatamente después de ser implantadas, en climas cálidos su acción es mucho más efectiva. (GERSBERG, y otros, 2000 págs. 363-368)

1.5.3 Tratamientos de las plantas.

Como se mencionó anteriormente el cuidado primordial que se debe tener con estas plantas, es el tratamiento de plagas o enfermedades y el reemplazo de las plantas que presentan necrosis o daños vistosos. La biomasa recolectada puede ser utilizada de las siguientes maneras:

- Como combustible
- Alimentación del ganado
- Artesanías locales
- Producción de compost

(GERSBERG, y otros, 2000 págs. 363-368)

1.6 Plantas flotantes.

Son consideradas como plantas en las que sus órganos vegetativos se encuentran flotando sobre la película de agua; aquí podemos encontrar a la lenteja de agua que es considerada como una especie de libre flotación, la cual muestra sus raíces suspendidas en agua. Las plantas flotantes enraizadas, presentan sus órganos superiores flotando en la superficie del agua y se caracterizan por presentar sus raíces adheridas al fondo del humedal un claro ejemplo de este tipo de plantas son los nenúfares. (ESCOBAR, 2010 pág. 100)

1.6.1 *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

1.6.1.1 Descripción.

Es un género de plantas acuáticas flotantes, no enraizada, herbácea perenne nativo de América tropical, se considera como una especie invasiva. Forman rosetas de hojas pecioladas, anchas y ovales o acorazonadas, y espigas apicales de llamativas flores embudadas. Crecen flotando en el agua, sin enraizarse en el fondo. Al cubrir una gran superficie de agua con rapidez, pueden ahogar ríos y bloquear la luz solar para el resto de la vida acuática. Se distingue muy fácilmente de otras plantas flotantes por poseer hojas relucientes con peciolo hinchado y vistosas flores azuladas-lilas. (FONT QUER, 1995 págs. 385-390)

A esta planta los peciolo le sirven de flotadores porque están enormemente hinchados y tienen abundante tejido aerífero y su limbo es de color verde brillante, generalmente estas especies alcanzan los 50 cm de altura. Se trata de plantas americanas del género *Pontederia*, que da el nombre a la familia. Estas plantas presentan flores vistosas que son zigomorfas. (FONT QUER, 1995) En la parte que se encuentra cubierta por la película de agua encontramos a las raíces, las cuales son densas, ramificadas y presentan un color negro-azulado vistoso que las protege de los herbívoros. Sus raíces llegan a medir hasta 3 m de longitud, los estolones ayudan a su reproducción vegetativa. (FONT QUER, 1995 págs. 385-390)

1.6.1.2 Ciclo de desarrollo.

El Jacinto de agua es una planta de crecimiento rápido, que se expande a través de toda la superficie de agua por medio de estolones, de esta manera forma una cubierta vegetal de un color verde muy

llamativo, debido a su acelerada reproducción se la considera como una planta invasiva. (FONT QUER, 1995 págs. 390-395)

Sin embargo, estas características son muy ventajosas cuando se utiliza en ambientes controlados para el tratamiento de aguas residuales. Esta planta como ya lo mencionamos se reproduce por estolones desarrollando renuevos esto se aprecia mejor en climas tropicales, pero también puede reproducirse mediante semilla, un estolón es la sucesión de nudos y entrenudos, cada uno puede desarrollar una hoja y raíces. (FONT QUER, 1995 págs. 390-395)

1.6.1.3 Aplicación.

Este tipo de especies vegetales crecen bien en climas tropicales, estanques, lagos y pantanos, tolera variaciones de pH, conductividad, disponibilidad de nutrientes, velocidad de flujo y salinidad. El único factor limitante es la temperatura la cual debe estar en un rango de 20 a 30 °C para que su crecimiento sea rápido, el crecimiento disminuye hasta el punto de estancarse en el rango de 8-15 °C. Las condiciones óptimas para su desarrollo son 90% de humedad y un rango de 22.5-35°C. (VIDAL, 1998 págs. 110-120)

Los jancitos de agua son grandemente empleados en tratamiento de aguas residuales domésticas, tomando en cuenta la carga orgánica que contengan estas aguas. Es importante que la profundidad mínima sea de 1 metro para que las raíces se encuentren bien sumergidas en el estanque. Estas plantas también son utilizadas para la remoción de nitrógeno y fósforo en tratamientos terciarios, la efectividad del proceso depende de la cantidad de plantas que implantemos en el medio. En lo que corresponde a biomasa puede producir alrededor de 100 toneladas de materia seca por hectárea al año (t/ha/año). También es eficaz para la remoción de sólidos en suspensión, y es utilizado para corregir los problemas derivados del desarrollo incontrolado de algas de las lagunas de oxidación. (VIDAL, 1998 págs. 110-120)

1.6.1.4 Implantación.

La propagación de estas plantas se las realiza a partir de renuevos, es decir se ponen plantas individuales para que se reproduzcan en toda la película de agua. Estas plantas se obtienen por división de una población madre, individualizándose las agrupaciones de ‘rosetas’ con raíces.

La planta puede sobrevivir cuando se la expone 24 h a temperaturas del orden de 0.5 a -5°C , pero muere si desciende por debajo de -6°C . (VIDAL, 1998 págs. 123-126)



Figura 1-6: Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*)

Fuente: Mera Santiago, 2016

1.6.2 *Lemna spp. (Lentejas de agua).*

1.6.2.1 *Descripción.*

Las lentejas de agua pertenecen al género *Lemna* de la familia Lemnaceae, este tipo de plantas acuáticas flotan en la superficie de agua, no son enraizadas y poseen un diminuto tamaño, son plantas angiospermas y existen especies que miden apenas 1 mm de longitud. Es común encontrar a este tipo de especies creciendo en aguas eutrofizadas debido a los nutrientes existentes en las mismas. (GEOFF, 2006 págs. 515-523)

Su aspecto externo es diminuto con especies desde 1 a 15 mm de longitud, se los denomina frondes por que no se diferencia la hoja y el tallo, cuando presentan una sola raíz se les conoce con el nombre de *Lemna* y si presentan más raíces se denominan *Spirodela*, las raíces presentan longitudes menores a 1 cm. Los frondes rara vez producen flores diminutas, cada fronde contiene una sola raíz,

con una funda tubular en su extremo. Para identificar el género botánico o la especie se toma en cuenta el tamaño del fronde y la presencia o no de raíces. Esta especie se reproduce vegetativamente desarrollando nuevos frondes. (GEOFF, 2006 págs. 515-523)

1.6.2.2 *Ciclo de desarrollo.*

A este tipo de especie le encanta la luz solar y se consideran como invasivas gracias a su acelerado proceso de propagación, formando un tapiz verde en las superficies de agua donde crecen, toleran los climas tropicales pero los climas fríos inhiben su crecimiento. Su crecimiento puede ser controlado espumándolas con frecuencia. (GEOFF, 2006). Su mecanismo de reproducción es vegetativo, el fronde madre genera nuevos frondes hijos, este mecanismo es altamente efectivo llegando a duplicarse en tan solo 24 horas. Un solo fronde puede generar de 10-20 frondes durante su etapa de vida. (GEOFF, 2006 págs. 515-523)

1.6.2.3 *Aplicación.*

Se desarrollan bien en medios eutrofizados o con carga orgánica abundante. La temperatura es un factor muy importante, a 27 °C se duplican cada 4 días estas especies vegetales son utilizados comúnmente en sistemas de tratamientos de aguas residuales o industriales, ayudan a reducir el crecimiento espontaneo de algas, cubriendo la superficie de agua y evitando que los rayos solares penetren al fondo del sistema. En lo que corresponde a carga orgánica son capaces de bajar altos niveles de DBO y sólidos en suspensión .Las lentejas de agua contienen altos contenidos de nitrógeno en sus tejidos (7% peso seco), siendo excelentes medios para reducir niveles elevados de nitrógeno en el agua por medio de su biomasa. El contenido de fosforo en sus estructuras es bajo (0.8% peso seco), por lo que la remoción de fosforo dependerá de la cantidad de biomasa que se genere en el tratamiento. Aproximadamente, un metro cuadrado de superficie de lámina de agua cubierta con *Lemna* equivale a 25 g de peso seco de biomasa. (WETZEL, 1991 págs. 320-352)

1.6.2.4 *Implantación.*

Para que estas plantas se dispersen se debe tener una muestra de agua que contenga especies de este género y liberarlas en el medio en el cual se necesita que proliferen. Si las condiciones ambientales son las adecuadas tomando en cuenta la temperatura, cuando la temperatura es muy baja se presenta una pigmentación rojiza, la propagación será perfecta por medio de reproducción vegetativa. (WETZEL, 1991 págs. 320-352)

Por ejemplo, un único ejemplar de *Lemna spp*, que ocupa un área superficial aproximada de 0.12 cm², en menos de un año puede formar una colonia que cubra una superficie de más de 1 m² de la lámina de agua. (WETZEL, 1991 págs. 320-352)



Figura 1-7: Lentejas de agua (*Lemna spp*)

Fuente: Mera Santiago, 2016

1.7 Biotecnología utilizada como método de eliminación de metales pesados.

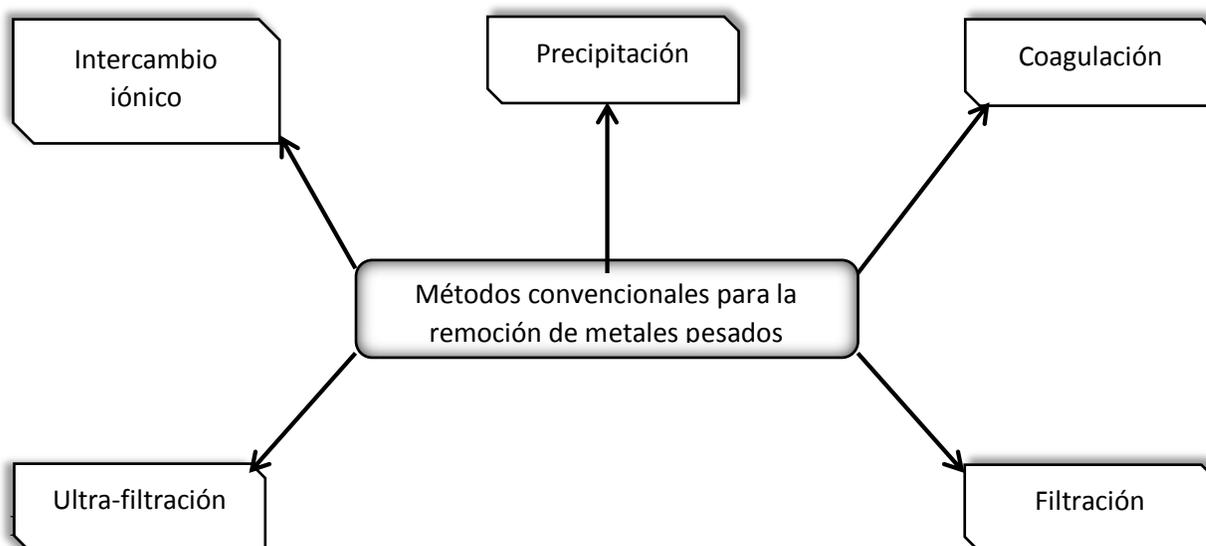


Figura 1-8: Métodos convencionales para la remoción de metales pesados.

Fuente: Mera Santiago, 2016

Sin embargo este tipo de métodos convencionales presentan costos muy elevados, necesiándose gran cantidad de construcciones (estaciones de bombas) y tecnologías nuevas para poder desarrollar este tipo de tratamientos, la cantidad de compuestos químicos necesarios para el desarrollo de estos métodos convencionales son costosos, incluyendo la mano de obra capacitada y los costes energéticos para el funcionamiento de la misma. Los lodos que generan este tipo de métodos son abundantes, necesitando de manera inmediata ser tratados para poder darles su adecuada disposición final, lo cual genera elevados costos. (HOWARD, 2000 págs. 60-80)

La biotecnología ambiental es la aplicación y uso de procesos biológicos novedosos para la protección, cuidado y restauración de ambientes contaminados, afectados por la mano del hombre, tomando en cuenta el uso sustentable de recursos. La biotecnología nos ayuda a obtener un crecimiento económico en armonía mediante el uso racional de recursos. (CASTILLO RODRIGUEZ, 2005 págs. 30-42)

1.7.1 Fitorremediación.

La fitorremediación es un proceso sustentable, en el que se utiliza diversas especies vegetales (plantas) para estabilizar, remover, transferir o reducir contaminantes peligrosos (orgánicos e inorgánicos) tanto en agua, suelo y aire de modo in situ o ex situ, generando mediante el sistema radicular algunos procesos bioquímicos como pueden ser mineralización, reducción, degradación, volatilización de los contaminantes existentes. (VOLKE, y otros, 2001 págs. 30-38)

Tabla 1-4: Fitorremediación.

Fitorremediación		
Fitoquelación	Fitofiltración	Fitoacumulación
Se basa en la aplicación de agentes quelantes como el EDTA (etilendiaminotetracético), para atrapar y solubilizar los metales disponibles en el suelo, seguido de una acumulación pasiva de los complejos metálicos en las partes aéreas de las plantas en la corriente de transpiración.	En esta se utilizan partes de las plantas como filtros o bioabsorbentes en columnas por las cuales se hará pasar el agua contaminada y de esta forma remover los metales, ya que éstos se unen o pegan a la pared celular de la biomasa vegetal presente en la columna. Una vez que se satura el material vegetal en la columna se pueden reobtener los metales por métodos de desprendimiento.	Es en la cual se cultivan plantas tolerantes a altas concentraciones de metales pesados para absorberlos y acumularlos en sus partes aéreas principalmente. Al final del período de crecimiento las plantas son cosechadas, secadas o incineradas y los materiales ricos en contaminantes son depositados en contenedores especiales o añadidos a una fundidora en donde se recuperan.

Fuente: (DELGADILLO, y otros, 2011 pág. 11)

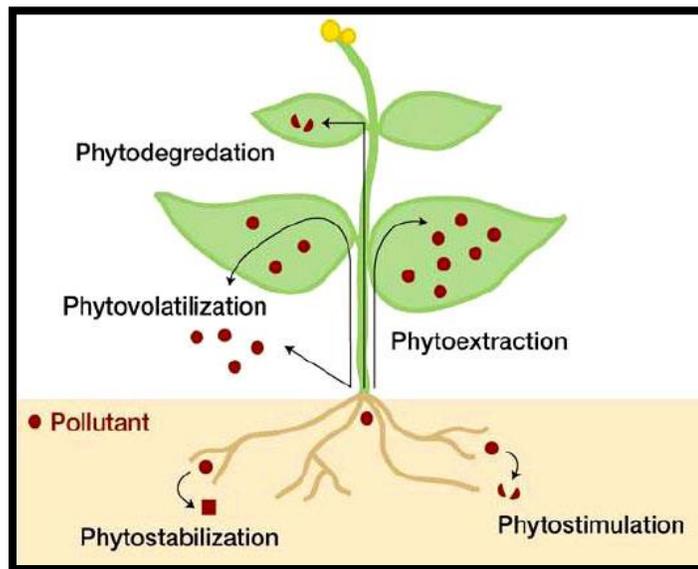


Figura 1-9: Tipos de Fitorremediación en plantas.

Fuente: (DE LA VEGA, 2014 pág. 5)

1.7.1.1 Fitorremediación acuática.

Para lograr eliminar la contaminación del agua y de esta manera mejorar la calidad de la misma, los contaminantes existentes son absorbidos por las plantas y acumulados en sus tejidos y estructuras vegetales. Las lagunas con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores. Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por las plantas acuáticas, se pueden considerar a los sistemas de fitorremediación acuática como una alternativa ecológica y económicamente viable, no solo para el tratamiento de los efluentes municipales sino también para efluentes industriales. (DE LA VEGA, 2014 pág. 6)

Para poder observar los efectos de la fitorremediación sobre distintos tipos de metales o contaminantes, se han realizado muchos estudios comparativos, uno de ellos es el realizado en el año 2009 por Taner, utilizando como especie vegetal *Lemna spp* ha distintas concentraciones de plomo analizando factores como la temperatura y el pH durante el experimento. (DE LA VEGA, 2014 pág. 7)

1.8 Tolerancia y adsorción de metales pesados por parte de las plantas.

La tolerancia de los organismos vegetales a una gran variedad de elementos tóxicos y contaminantes se debe a los procesos evolutivos que atravesaron estas distintas especies desarrollándose en ambientes potencialmente tóxicos. Un sin número de procesos adaptativos han permitido que estas especies sean capaces de inactivar metabólicamente los elementos esenciales y no esenciales cuando estos demuestran un peligro para la integridad celular. (BAKER, 1999 pág. 8)

La tolerancia se puede clasificar en dos tipos dependiendo el grupo de mecanismos moleculares que lo constituyen estos son:

- Tolerancia múltiple
- Co-tolerancia

La tolerancia múltiple esta es producida por una sucesión de procesos independientes para cada metal o metales, mientras que la co-tolerancia es el resultado de un proceso específico que le concede una tolerancia a diversos metales. La mayoría de las plantas presentan una tolerancia múltiple por lo que se ha desarrollado tres tipos de mecanismos para que las plantas se acentúen en suelo y aguas contaminadas tóxicamente.(BAKER, 1999 pág. 8)

Tabla 1-5: Mecanismos de tolerancia múltiple.

Mecanismos		
Exclusión	Indicadoras	Hiperacumulación
Esta estrategia consiste en una limitada acumulación de metales en las partes aéreas de las plantas e involucra una acumulación preferente en el sistema radical	Esta estrategia se caracteriza porque las plantas acumulan metales en sus tejidos que generalmente reflejan los niveles de metales presentes en el suelo	Esta estrategia se caracteriza por la capacidad de la planta de bioacumular altas concentraciones de metales en sus tejidos, principalmente en las partes aéreas

Fuente: (BAKER, 1999 pág. 9)

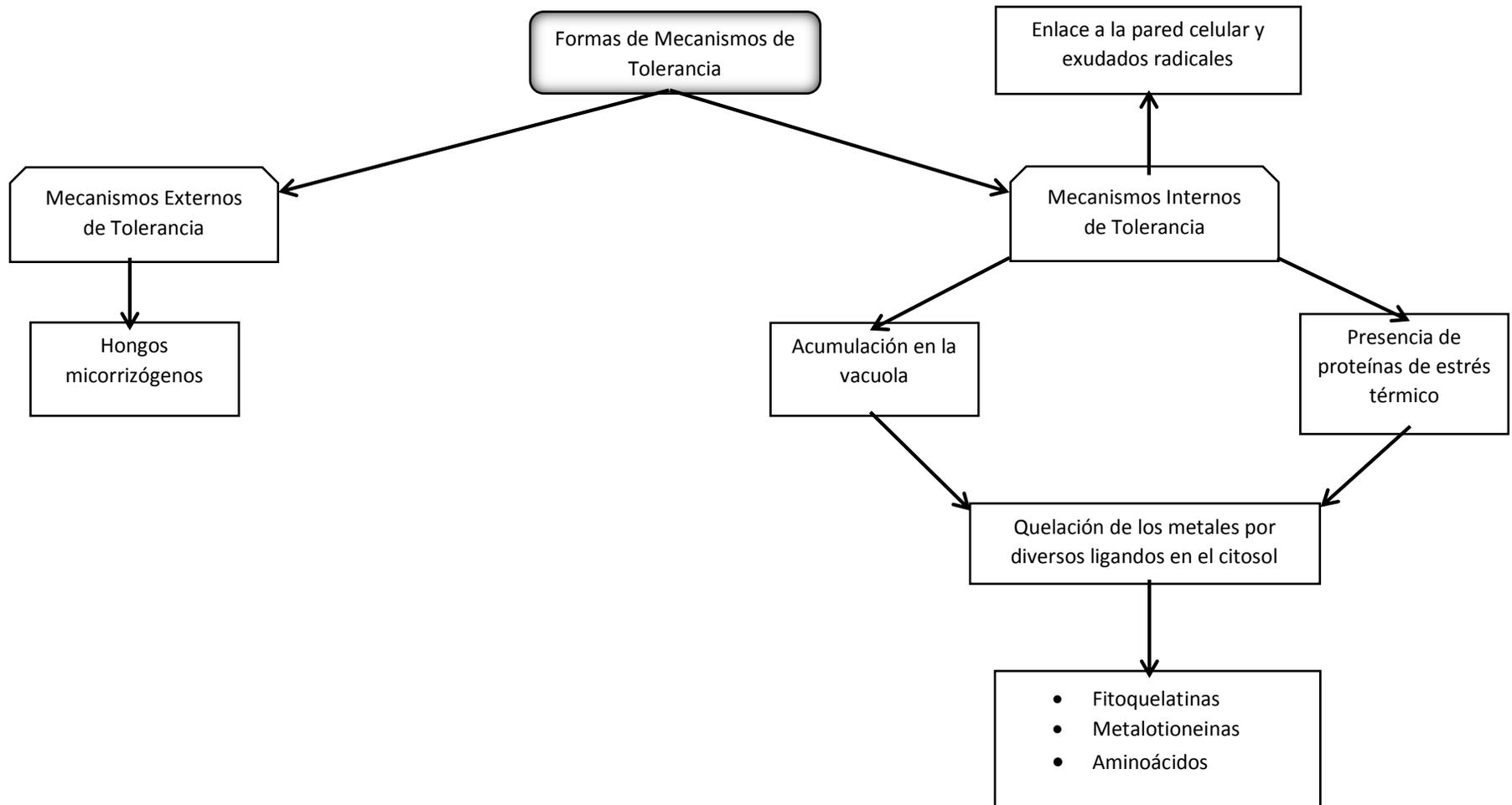


Figura 1-9: Tipos de formas de mecanismos de tolerancia

Fuente: Mera Santiago, 2016

1.8.1 Mecanismos internos de tolerancia.

“La idea de que los componentes de la pared celular como la celulosa y la lignina pueden contribuir a la tolerancia a metales en las plantas fue propuesta alrededor de 1970. A partir de entonces se han realizado diversos estudios en los que se propone que el arreglo estructural de la celulosa y la lignina les permite formar enlaces covalentes a través de sus átomos de oxígeno con los metales, secuestrándolos en el apoplasto. Este proceso fue reportado por Crist. (2002) y Marmioli. (2005), quienes analizaron por espectroscopía de rayos X el proceso de acumulación de Pb en raíz de *Medicago sativa* y *Juglans regia*, registrando la formación de enlaces del metal con complejos de lignina y celulosa, respectivamente. Por otra parte, Ederli (2004) y Wójcik y Tukiendorf, (2005) observaron que el secuestro de metales como Zn, Cu, y Cd en la pared celular de la raíz de *Phragmites australis* y *Zea mays* está relacionado con una mayor lignificación de las células radicales. Los autores atribuyen este efecto al incremento de la actividad de la peroxidasa que estimula la biosíntesis de la lignina en respuesta al estrés causado por estos metales.”(HALL, 2002 págs. 107-125)

1.8.1.1 Quelación de los metales.

Es la capacidad que posee una molécula para crear un complejo con un metal y así generar un nuevo compuesto que posee propiedades químicas diferentes del compuesto original.

La Quelación se considera como un proceso homeostático en el que intervienen dos tipos de moléculas:

- Moléculas transportadoras: transfieren iones específicos de metales a vacuolas, mitocondrias y cloroplastos.
- Ligandos de alta afinidad: que ayudan a la desintoxicación y mantienen estables la concentración de iones de metales en el citosol. (CLEMENS, 2001 págs. 475-486)

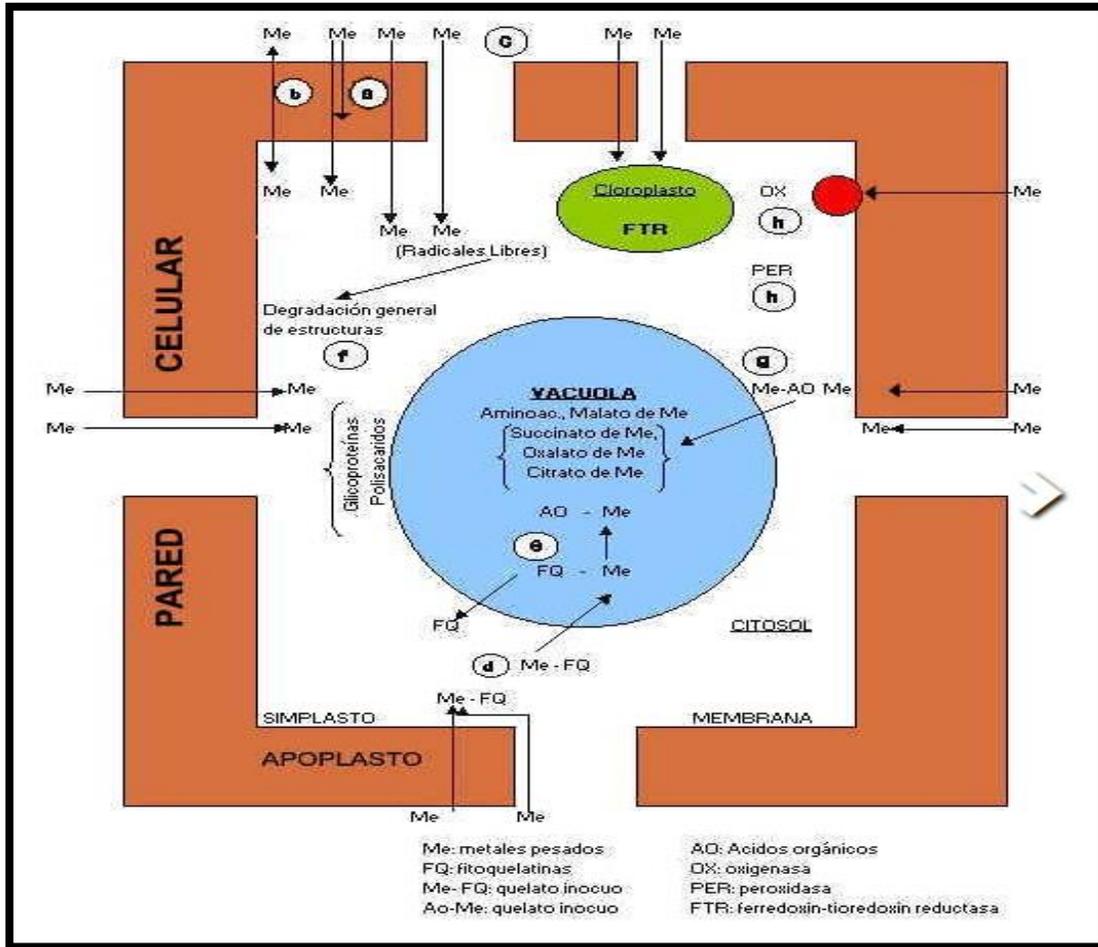


Figura 1-10: Mecanismo de quelación.

Fuente: (CRESES, 2013 pág. 20)

1.8.1.2 Fitoquelatinas.

Existen dos clases de ligandos que se encuentran en las células de las plantas que son las Metalotioneinas y las Fitoquelatinas. Las Fitoquelatinas son una serie de péptidos que se pueden encontrar en plantas, ciertos microorganismos y hongos. La síntesis de las Fitoquelatinas se realiza mediante vía enzimática (γ -glutamilcisteinadipeptidiltranspeptidasa) la cual es regulada a nivel de transcripción y pos- transcripción. (ZENK, 1996 págs. 29-36)

Las Fitoquelatinas actúan formando complejos no tóxicos con iones de metales mediante la interacción de con los grupos tioles de cisteína, formando complejos de bajo peso molecular, estos se unen a iones sulfuro en el citosol formando moléculas complejas de alto peso molecular,

atravesando el tonoplasto logran ingresar a la vacuola, aquí los ácidos orgánicos como el malato, citrato, y oxalato captan a los iones metálicos y disocian el complejo del metal. No se sabe con certeza que le sucede a las Fitoquelatinas una vez separadas del metal, pero se cree que estas con degradadas en la vacuola o regresan nuevamente al citoplasma donde forman nuevos complejos metálicos. (ZENK, 1996 págs. 29-36)

Las altas concentraciones de iones metálicos estimulan la síntesis o detoxificación de metales por medio de las Fitoquelatinas, las Fitoquelatinas acumulan los metales y los distribuyen a la vacuola de distintos tejidos, esto dependerá del tipo de metal que se absorba como también del tipo de especie vegetal utilizado. (ZENK, 1996 págs. 29-36)

1.8.1.3 Metalotioneinas.

Son proteínas de bajo peso molecular con una gran capacidad de captar iones metálicos evitando de esta manera la intoxicación por metales. Las metalotioneinas se clasifican en dos grupos tomando en cuenta las secuencias de aminoácidos estas son: Clase MT1: mamíferos y Clase MT2: hongos, invertebrados y plantas. (COBBETT, 2002 págs. 159-182)

Las de clase MT2 se dividen en 4 grupos (mt1, 2, 3, 4) dependiendo del ordenamiento de los residuos de cisteína en la proteína y se descubrieron en embriones trigo (proteína quelatante del Zn). Fundamentalmente se estudia la expresión de genes (ARN) en diferentes etapas del crecimiento de plantas terrestres principalmente angiospermas. En *Arabidopsis thaliana* se encontró una mayor inducción de ARNm en las raíces, mientras que para mt2 se la pudo encontrar en el tallo y en las hojas. (COBBETT, 2002 págs. 159-182)

El mecanismo de acción de las MTs en la regulación homeostática y la tolerancia a los metales en las plantas no está completamente establecido. Sin embargo, se ha reconocido su participación en la tolerancia a metales en diferentes especies de plantas, como es el caso de *Oryza sativa* y *Arabidopsis thaliana* al ser tratadas con Cu, Cd y Zn, especies en las que se observó una mayor expresión de ARNm de MT en las plantas tratadas con Cu. (COBBETT, 2002 págs. 159-182)

1.9 Metales pesados.

Los metales pesados son elementos químicos que presentan densidades generalmente altas y que son tóxicos en determinadas cantidades para el ser humano, una característica de este tipo de metales es que son capaces de bioacumularse en organismos inferiores y que por medio de la cadena trófica pasan a organismos vivos superiores tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres. Generalmente tienen densidades superiores a los 4.5 g/cm^3 , algunos de estos metales son esenciales para los seres vivos pero en cantidades mínimas; entre los metales tóxicos más conocidos tenemos al mercurio, plomo y cadmio estos causan daños irreversibles hasta en mínimas cantidades, muchos de estos metales son resistentes a la degradación química o biológica. (BAIRD, 2001 págs. 85-100)

1.9.1 Fuentes de metales pesados.

Los metales pesados los podemos encontrar de una manera natural en la corteza terrestre, los cuales se transforman en contaminantes al ser alterados por actividades humanas. Este tipo de contaminación se produce comúnmente en la industria minera, liberación de aguas industriales contaminadas y emisiones vehiculares. Tenemos un gran número de industrias que descargan grandes volúmenes de efluentes contaminados con metales pesados entre las más importantes están:

- Cerveceras
- Textiles
- Azucareras
- Petroleras
- Hierro y acero
- Alimenticias
- Curtiembre
- Acabados metálicos
- Celulosa y papel

Las fuentes antropogénicas contribuyen de una gran manera a la contaminación por metales pesados, entre las principales fuentes de emisión se pueden destacar las del mercurio, plomo y cadmio. (SEMARNAT, 2009 pág. 5)

Tabla 1-6: Fuentes de metales pesados

Mercurio	<ul style="list-style-type: none">•Producción de carbón y coque.•Industria de cloro-sosa.•Incineración de residuos peligrosos.•Combustión de combustóleo y carbón.•Fundición primaria y secundaria de metales.•Actividades mineras de extracción de oro, plata y cobre.
Cadmio	<ul style="list-style-type: none">•Elaboracion de pinturas•Aleaciones•Galvanizacion•Pigmentos de pinturas•Fertilizantes•Baterias recargables de Niquel/Cadmio
Plomo	<ul style="list-style-type: none">•Produccion de pinturas•Elaboracion de latas soldadas con plomo•Industria electronica y de computo•Loza vidriada•Fundicion primaria y secundaria de metales•Uso de gasolina con plomo

Fuente: (SEMARNAT, 2009)

1.9.2 Plomo.

El plomo es un elemento metálico, que posee una forma sólida, con un aspecto gris azulado, se funde con facilidad, sus valencias químicas son 2 y 4, es resistente al ataque de los ácidos clorhídrico y sulfúrico, pero se puede disolver lentamente en ácido nítrico, se considera como un elemento anfótero, capaz de formar sales de plomo. Los compuestos industriales más importantes son el tetraetilo de plomo y los óxidos de plomo. (MARQUEZ, 2010 pág. 11)

Tabla 1-7: Propiedades del Plomo.

Símbolo químico	Pb
Número atómico	82
Aspecto	Gris azulado
Peso molecular	207.2 g/mol
Densidad	11.4 g/ml
Punto de ebullición	1725 ° C
Punto de fusión	327.4 ° C

Realizado por: Mera Santiago, 2016

1.9.2.1 Toxicidad del plomo.

El plomo y sus compuestos son altamente tóxicos, entre los más comunes tenemos el acetato de plomo, óxido de plomo, carbonato de plomo y nitrato de plomo. El plomo puede ser absorbido por tres tipos de vías que son:

- Percutánea
- Digestiva
- Respiratoria

La absorción de este tipo de metal afecta directamente al sistema nervioso y renal. El saturnismo es una enfermedad provocada por la acumulación de plomo en el organismo. La eliminación del plomo del organismo es casi imposible, únicamente se lo puede eliminar cuando los niveles de plomo en el organismo son bajos pero su eliminación es compleja y lenta, por lo que el mejor tratamiento es la prevención y debidas normas de seguridad para evitar el contacto. (MARQUEZ, 2010 pág. 13)

Concentraciones altas de plomo en el organismo pueden causar los siguientes problemas de salud:

- Abortos
- Hipertensión arterial
- Problemas renales
- Disminución de las habilidades motoras
- Daños al sistema nervioso

- Daño cerebral
- Hipersensibilidad

El Plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable, el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua. (EROSTEGUI, 2009 pág. 25)

El plomo en el medio ambiente es capaz de reducir la actividad enzimática, limitar la producción de clorofila en plantas, y disminuir el transporte mitocondrial de los electrones. Según estudios se conoce que las plantas pueden absorber grandes cantidades de plomo del suelo y agua, para las especies vegetales el plomo se considera toxico cuando existen concentraciones de 30-300 ug/g en sus tejidos. (EROSTEGUI, 2009 pág. 26)

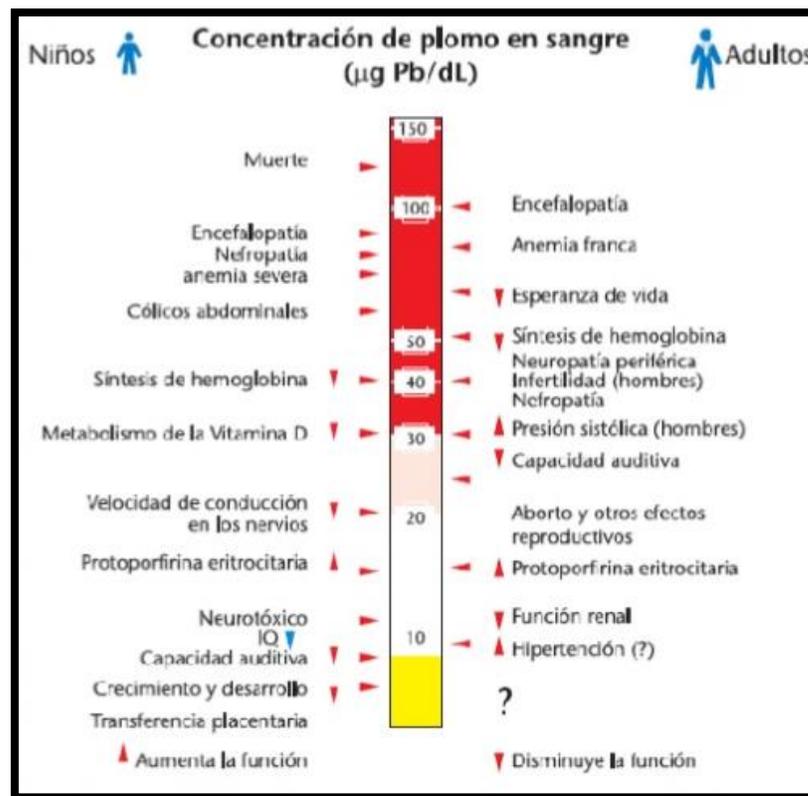


Figura 1-11: Manifestaciones clínicas del Plomo.

Fuente: (ROBLES, 2008 pág. 9)

1.9.2.2 *Plomo en el Ecuador.*

En nuestro país una de las principales actividades que genera residuos que contienen plomo es la minería, ubicada principalmente en las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe, la contaminación en estas zonas se debe al proceso de cianuración, la cual genera agua contaminada con metales pesados entre estos el plomo. Las principales fuentes de emisión en Ecuador son:

- Fundición de metales
- Fabricación de pinturas
- Cerámica Vidriada
- Plásticos
- Industria electrónica y de computo
- Cristal
- Pilas

(GARZON, 2006 pág. 31)

PROCESOS DE FUNDICIÓN DE PLOMO: procesamiento de residuos de plomo de otras fuentes (proceso secundario). El plomo secundario producido en la mayoría de las plantas de almacenamiento de baterías descartadas genera emisiones gaseosas tanto de los hornos a chorro como en el reverberatorio y las calderas de fundición. La disposición de lechadas es un problema para esta industria, de ahí que las corrientes pueden acarrear grandes cantidades de metales.

(GARZON, 2006 págs. 33-42)

INDUSTRIA DE LA CERAMICA: en el proceso de fijar el barniz en las piezas para el acabado se presenta en el ambiente vapores de plomo. La cerámica artesanal desarrollada en las Provincias de Azuay y Cotopaxi, algunos alfareros emplean óxido de plomo para barnizar las piezas de barro, para lograr un acabado atractivo los artesanos barnizan las piezas con esmaltes procesados a base de plomo. El plomo es obtenido de baterías desechadas que son recicladas, por familias de escasos recursos económicos, que se dedican a esta actividad informal de donde extraen las placas de plomo. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

ELABORACION DE PINTURAS: los compuestos de plomo utilizados durante el proceso de coloración de la pintura pueden ser tóxicos al pasar al exterior a través del polvo desprendido durante los procesos de combustión. A pesar que actualmente a nivel nacional e internacional existe la tendencia de eliminar de las pinturas los pigmentos que contienen plomo, todavía existen en el

país algunas fábricas de pinturas que siguen utilizando plomo en su proceso, ubicadas especialmente en las ciudades de Quito y Guayaquil. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

INDUSTRIA DE PLASTICOS: materiales plásticos producidos a partir de celulosa contienen en sus efluentes metales pesados. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

REFINACION DEL PETROLEO: los metales pesados como cadmio, cromo, vanadio, plomo, níquel, arsénico y zinc están usualmente presentes en las descargas de una refinería. En el Ecuador existen tres refinerías de petróleo. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

INDUSTRIA DEL LATON Y BRONCE: hay dos grupos de aleaciones basadas en cobre: los latones que contienen 60% de cobre y zinc, y los bronce que usualmente contienen 85% de cobre y estaño. Estas aleaciones tienen en su composición pequeñas cantidades de plomo, estaño, zinc, manganeso, silicio o fósforo cuando se desean propiedades especiales. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

INDUSTRIA DE GALVANOPLASTIA: los efluentes finales son ácidos que contienen de 200 a 300 mg/dm³ de sólidos en suspensión, cobre, níquel, zinc en cantidades variables (300 a 600 mg/dm³), ocasionalmente tienen cromo, plomo o cadmio y frecuentemente cianuro. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

ACTIVIDAD MINERA: el desprendimiento de gases producidos en las fundiciones, los óxidos de azufre son los de mayor importancia; se producen además arsénico que está asociado a minerales de cobre, plomo, oro y en algunos casos níquel y cadmio. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

PILAS Y BATERIAS: las pilas son causantes del 93% del mercurio de la basura, del 47% del zinc, del 48 % del cadmio, del 22% del níquel, etc. Ecuador solo importa y no produce pilas y baterías, excepto las de tipo pilas plomo-ácido. De esta forma, excluyendo a éstas últimas, se cuenta con el dato correspondiente para el 2000 equivalente a un volumen de importación superior a 1.957 Ton de pilas y baterías. Se conoce el consumo anual per cápita que es equivalente a 10.6 piezas. En cuanto a las baterías plomo-ácido se estima un volumen de producción anual de 300,000 piezas, volumen comercializado en el año 2000. Se desconoce el volumen de pilas y baterías que ingresan al país como contrabando. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

IMPRENTAS: que utilizan linotipos, en este grupo están sobre todo las imprentas antiguas que fueron vendidas a ciudades pequeñas, cuando las imprentas de Quito, Guayaquil y Cuenca renovaron su maquinaria. (GARZON, 2006 págs. 33-42)

CAPITULO II

2. METODOLOGIA.

2.1 Muestreo de las macrófitas acuáticas.

La recolección de las Macrófitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes* y *Lemna spp*) utilizadas en el experimento, se la realizo en la Provincia de Chimborazo, cantón Guano, Laguna de Guano, esta laguna se encuentra ubicada aproximadamente a 5 km del cantón Riobamba, con una altura alrededor de los 2720 m.s.n.m, su temperatura oscila entre los 16 °C y 18 °C; esta laguna posee aproximadamente 300 m de largo por 200 m de ancho, existe una gran variedad de vegetación característica del sector, con un clima frio seco nublado.

Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Tabla 2-1: Coordenadas geográficas.

Coordenadas geográficas	
Latitud	-1.61864
Longitud	-78.63454

Realizado por: Mera Santiago, 2016

En la laguna de Guano se pudo encontrar diversos tipos de especies vegetales que conviven entre si en este medio acuático, entre ellas tenemos:

- Lenteja de agua
- Jacinto de agua
- Totorá
- Redondita de agua



Figura 2-1: Laguna de guano

Fuente: Mera Santiago, 2016

Para proceder a seleccionar las macrófitas acuáticas más idóneas con las que trabajamos en la investigación se recogió una muestra representativa que presente las siguientes características.

Para poder seleccionar la muestra se tomará en cuenta los siguientes aspectos:

- Que las plantas posean una buena pigmentación.
- Que no presenten ningún daño o alteración en sus partes.
- Que no presenten síntomas de necrosis.
- Que las plantas a elegirse sean jóvenes.
- Color azulado de la raíces en el caso de *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua).

2.2 Identificación Botánica de las especies.

La identificación de las macrofitas acuáticas encontradas en la Laguna de Guano se la realizo en el herbario de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH por parte del docente encargado de este laboratorio, el cual me facilito su respectiva clasificación taxonómica de cada especie.

Tabla 2-2: Identificación botánica de las especies.

Nombre científico	<i>Typha latifolia</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
División	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida	Liliopsida	Magnoliopsida	Liliopsida
Orden	Poales	Arales	Apiales	Pontederales
Familia	Typhaceae	Lemnaceae	Apiacea	Pontederiaceae
Genero	Typha	Lemna	Hydrocotyle	Eichhornia
Especie	Latifolia	Minor	Ranunculoides	Crassipes

Realizado por: Mera Santiago, 2016

2.3 Preparación del medio para desarrollar la investigación experimental de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.

2.3.1 Componentes Experimentales.

Para proceder a realizar el desarrollo experimental, se diseñó contenedores de vidrio con dimensiones de 50 cm de largo por 40 cm de ancho y 50 cm de altura, en total se diseñaron 8 contenedores en los cuales se depositaron 19 L de agua potable y 1 L de la solución contaminante con plomo; las unidades experimentales se las dividió de la siguiente manera, 6 para los tratamientos experimentales y 2 únicamente como blancos o unidades de control, los cuales contenían específicamente agua contaminada con el metal pesado en este caso Plomo. La investigación consto de 3 etapas posteriormente descritas q son:

- Etapa de adaptación
- Etapa de nutrición
- Etapa de absorción del metal pesado.

Cabe mencionar que los distintos tipos de contenedores de vidrio se les suministro intermitentemente aire por medio de una bomba, con el objetivo de oxigenar el medio y, mantener las condiciones idóneas para los tratamientos. La adición de un sustrato también fue imprescindible para los tratamientos experimentales, proporcionando diversos nutrientes a las macrófitas acuáticas utilizadas.

2.3.1 Condiciones Ambientales para el medio experimental.

El experimento se desarrolló en un área cerrada en la ciudad de Riobamba; por lo que se procedió a construir un invernadero de dimensiones pequeñas para que de esta manera las plantas se puedan adaptar artificialmente de mejor manera al medio debido a que las condiciones ambientales más beneficiosas para este tipo de macrofitas acuáticas son los climas cálidos.

Tabla 2-3: Factores ambientales

Factores	Valores
Temperatura Máxima	36°C
Temperatura Mínima	16°C
Luz	12 horas
Aireación	Constante

Realizado por: Mera, Santiago 2016

2.3.2 Nutriente.

El sustrato o nutriente utilizado durante la investigación experimental fue un líquido soluble llamado RootMost, que es un bioestimulante del crecimiento tanto de frondes como radicular, compuesto a base de fitohormonas y nutrientes esenciales para el mejor desarrollo y reproducción de las macrofitas acuáticas (*Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*).



Figura 2-2: Nutriente RootMost.

Fuente: Mera Santiago, 2016

Tabla 2-4: Composición del nutriente RootMost.

Composición	Porcentaje
Extracto de alga	10.0
Nitrógeno	0.1
Fosforo	1.0
Potasio	3.0

Realizado por: Mera Santiago, 2016

Tabla 2-5: Composición de fitohormonas

Fitohormonas	Porcentaje
Citoquininas	80.0 ppm
Giberelinas	10.0 ppm
Auxinas	1000.0 ppm

Realizado por: Mera Santiago, 2016

2.3.3 *Contaminante*

El contaminante utilizado fue una sal de plomo conocida como Nitrato de Plomo, la cual fue introducida al medio en forma de solución.

Esta sal se utilizó por la sencilla razón que es una de las pocas sales de plomo que son solubles en agua, también por que el nitrato que contiene esta sal ayudo como nutriente a las plantas durante el desarrollo de la experimentación, facilitando su adaptación y crecimiento.



Figura 2-3: Nitrato de Plomo

Fuente: Mera Santiago, 2016

2.4 Fase de adaptación.

Una vez identificadas las especies de macrofitas acuáticas utilizadas (*Eichhornia crassipes* y *Lemna spp*) se las ubico en los respectivos recipientes para que se adapten a las condiciones ambientales predominantes del medio experimental. Esta fase duro un periodo de 5 días, en los cuales las especies vegetales se adaptaron correctamente al nuevo medio experimental debido a las siguientes observaciones:

- Durante este lapso de tiempo las especies vegetales no presentaron síntomas o necrosis alguna.
- No mostraron despigmentación de sus frondes ni hojas.
- Sus raíces presentaban los mismos colores característicos de cada especie al momento del muestreo.

El diseño se formuló por 3 tipos de tratamientos y un grupo de control, aquí se trabajó con los dos tipos de macrofitas acuáticas, tanto de manera individual como de manera colectica es decir en simbiosis. En la siguiente tabla podemos observar cómo fueron distribuidas las especies vegetales según su peso o número.

Tabla 2-6: Distribución de las especies vegetales.

Tratamiento	Macrofitas acuáticas	Peso o núm. de plantas
Contenedor 1	<i>Lemna minor</i>	70 g
Contenedor 2	<i>Lemna minor</i>	70 g
Contenedor 3	<i>Eichhornia crassipes</i>	18 plantas
Contenedor 4	<i>Eichhornia crassipes</i>	18 plantas
Contenedor 5	Mixto	9 plantas (E) / 35 g (L)
Contenedor 6	Mixto	9 plantas (E) / 35 g (L)

Realizado por: Mera Santiago, 2016

Tabla 2-7: Esquema del tratamiento.

Tratamiento (A) <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	Tratamiento (B) <i>Lemna spp</i> (Lenteja de agua)	Tratamiento combinado (C) <i>(Eichhornia crassipes y Lemna spp)</i>	Sin tratamiento
Pb (1)	Pb (3)	Pb (5)	Pb
Pb (2)	Pb (4)	Pb (6)	Pb

Realizado por: Mera Santiago, 2016

El pH y la conductividad se controlaron durante las 3 etapas para asegurar el correcto crecimiento y adaptabilidad de las plantas.

2.5 Fase de nutrición del medio.

Una vez completada la fase de adaptación, se agregó un nutriente adquirido en una casa comercial llamado Rootmost, el cual ya fue descrito anteriormente, con el objetivo de que las macrófitas se fortalezcan y estimulen de una mejor manera, logrando así su máximo crecimiento y adaptabilidad. La cantidad de nutriente suministrada a cada medio experimental dependió del volumen de agua contenida en cada contenedor de cristal; se agregó la cantidad de 5 ml de nutriente por cada litro de agua tratada quedando la dosificación de nutriente de la siguiente manera.

Tabla 2-8: Distribución del nutriente.

Unidad experimental	Cantidad de agua	Volumen de nutriente
Tratamiento A1	20.0 L	100.0 ml
Tratamiento A2	20.0 L	100.0 ml
Tratamiento B3	20.0 L	100.0 ml
Tratamiento B4	20.0 L	100.0 ml
Tratamiento C5	20.0 L	100.0 ml
Tratamiento C6	20.0 L	100.0 ml

Realizado por: Mera Santiago, 2016

2.6 Fase de contaminación del medio.

Inmediatamente luego de agregar el nutriente, se preparó la solución contaminante en nuestro caso Nitrato de Plomo (II) en un volumen de un litro para cada contenedor de cristal.

2.6.1 Ajuste del contaminante.

Para preparar la solución contaminante se utilizó una sal de Plomo llamada Nitrato de Plomo (II), se utilizó una misma concentración para todos los tratamientos en nuestro caso 5 ppm de solución de la sal de Plomo. Para la preparación de la solución contaminante se utilizó las siguientes sustancias:

Reactivos

- Nitrato de Plomo (II)
- Agua destilada

Materiales

- Espátula
- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación
- Balón aforado
- Piseta
- Balanza analítica

Cálculos

Para determinar la cantidad de gramos necesarios para preparar una solución a 5 ppm de nitrato de plomo, se consideró los porcentajes de cada componente en la fórmula y se realizó una relación estequiométrica, considerando que se preparó un litro para cada tratamiento.

Formula: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Peso molecular: 538,4 g

Se determinó el porcentaje de plomo contenido en la sal realizando un sencillo cálculo, utilizando una sencilla relación entre el peso molecular de cada elemento y el peso molecular de todo el compuesto.

Tabla 2-9: Cálculos del porcentaje.

Elemento	Peso atómico	Porcentaje
Pb	414.2	76.9 %
N ₂	28.0	5.2 %
O ₆	96.0	17.8 %

Realizado por: Mera Santiago, 2016

Aplicando la relación porcentual, se obtuvo que el porcentaje real de Plomo en la sal es de 76.9 %, este valor es indispensable para poder determinar la cantidad ideal para obtener los 5 ppm deseados.

La relación entre el porcentaje de plomo y la cantidad de ppm requeridos en nuestro caso es la siguiente:

$$\begin{array}{r}
 0,005 \text{ g} \dots\dots\dots 76,9 \% \\
 \mathbf{X} \dots\dots\dots 100 \%
 \end{array}$$

$$\mathbf{X} = 0,0065 \text{ g de Nitrato de Plomo}$$

Lo que nos da como resultado que para poder preparar una solución a una concentración de 5 ppm a un volumen de 1 litro necesitamos pesar 0,0065 g de Nitrato de Plomo.

Procedimiento.

Para obtener la solución contaminante de Plomo se realizó los siguientes pasos:

- Realizado el respectivo cálculo se pesó en la balanza analítica la cantidad de 0.0065 g de Nitrato de Plomo, teniendo en cuenta que la balanza analítica se encuentre bien calibrada y encerada.
- El Nitrato de Plomo se lo puso en un vaso de precipitación que contenga 250 ml de agua destilada.

- Con una varilla de agitación se mezcló y diluyo bien la sal de Plomo en el solvente.
- Disuelta la sal en el solvente se procedió a trasladar la solución a un balón aforado de 1000 ml.
- A continuación se aforo la solución hasta su línea de enrase.

De esta manera se procedió a contaminar cada uno de los tratamientos con un litro de solución de plomo a 5 ppm; tomando en cuenta que la solución se encuentre bien diluida. Esta solución se dispersó alrededor de todos los tratamientos uniformemente por lo que todas las muestras tuvieron una concentración inicial de 5 ppm antes del tratamiento.

2.7 Monitoreo y recolección de muestras.

La investigación experimental se realizó mediante la observación directa de los hechos. Se procedió a medir el pH y conductividad de cada uno de los tratamientos. Se tomaran los primeros valores durante la fase de adaptación y posteriormente se midió durante la fase de intoxicación, con el objetivo de controlar las condiciones en las q se encuentran las macrofitas acuáticas.

Para esto se tomó 100 ml de cada contenedor y se procedió a medir el pH y la conductividad. Para la recolección de datos provenientes de las muestras de agua se tomaron 1000 ml de cada uno de los contenedores, estas muestras se recolectaron de la parte central de cada contenedor para su posterior análisis de Plomo mediante la técnica de Absorción Atómica.

2.7.1 Determinación de pH.

Para proceder a medir el pH de las muestras se utilizó un pHmetro marca HTC.

- Se procede a calibrar el pHmetro con soluciones buffer de 4.0,7.0 y 10.0
- El electrodo debe estar previamente limpio y enjuagado con agua para su posterior uso.
- Agitar la solución durante las mediciones.
- Se introduce el electrodo en la muestra analizar y se espera que el valor registrado en la pantalla se estabilice.
- Reportamos los resultados.

2.7.2 *Determinación de conductividad.*

Para medir la conductividad de las muestras se utilizó un conductímetro marca CONSORT:

- Se comienza calibrando pulsando el botón CAL.
- Enjuagar el electrodo con la solución estándar.
- Sumergimos el electrodo en la solución que deseamos analizar.
- Reportamos los resultados generados en la pantalla.
- Enjuague la celda siempre después de usarla y almacenarla en agua destilada.

2.7.3 *Absorción atómica.*

Para determinar la cantidad de Plomo contenida en el agua se utilizó el Standard Methods 3111 B, el cual hace referencia al espectrofotómetro de absorción atómica

2.8 **Método de llama directa de acetileno y aire**

- Preparar las soluciones estándares con sus respectivas diluciones, utilizando reactivos de alta pureza.
- Se disuelve una pequeña cantidad de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ en una mínima cantidad de HNO_3 y diluimos con 100 ml de agua destilada $1\text{ml} = 100\text{ ug}$ de Plomo.
- Tomamos una pequeña cantidad de la muestra problema en un vaso e introducimos la sonda para que absorba la muestra y la lea.
- Calculamos los iones metálicos obtenidos en ppm, de acuerdo a la curva de calibración realizada.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Concentraciones finales de Plomo.

Tabla 3-1: Concentraciones finales de Plomo.

Muestra	Tratamiento	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Promedio
Agua	A1	5.0	3.89	3.68
	A2	5.0	3.48	
	B3	5.0	4.13	4.56
	B4	5.0	4.99	
	C5	5.0	1.71	1.41
	C6	5.0	1.11	

Realizado por: Mera Santiago, 2016

En la tabla 3-1 se observa y compara tanto la concentración inicial como la final obtenida en ppm después de haber puesto en contacto las muestras a los diferentes tratamientos, para obtener una mayor confiabilidad de los datos realizamos dos lecturas por cada tratamiento y sacamos un valor promedio.

Como se puede apreciar en la tabla, el tratamiento que presento mejores resultados fue el C considerado como un tratamiento mixto (Lenteja de agua y Jacinto de agua) dándonos un resultado promedio de 1.41 ppm demostrando de esta manera el poder acumulativo que poseen estas especies vegetales.

El tratamiento que demostró ser menos eficaz fue el B (Lenteja de Agua) dándonos un promedio de 4.56 ppm.

3.2 Factor de Bioconcentración.

El factor de Bioconcentración permitió determinar la cantidad de contaminante acumulado en el tejido vegetal después de absorber del medio experimental. La cual esta expresada por la siguiente formula:

$$\mathbf{FBC} = \frac{CETT \left(\frac{mg}{kg}\right)}{CPES \left(\frac{mg}{L}\right)}$$

Dónde:

CETT: Concentración del elemento en el tejido de la planta.

CPES: Concentración promedio del elemento en la solución

Tabla 3-2: Factor de Bioconcentración.

Muestra	Tratamiento	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Factor de Bioconcentración
Planta	A	5.0	1392.0	278.40
	B	5.0	1320.6	264.12
	C	5.0	184.25	36.85

Realizado por: Mera Santiago, 2016

El factor de Bioconcentración se calculó para los tres tratamientos, los valores obtenidos fueron de alto e intermedio potencial de Bioconcentración, el tratamiento A registro un valor de 278.40, el tratamiento B registro un valor de 264.12 y el tratamiento C un valor de 36.85, lo cual evidencia que los tres tipos de tratamientos presentas potenciales de Bioconcentración

3.3 Porcentaje de remoción.

El porcentaje de remoción es la cantidad de carga contaminante expresada en tanto por ciento. La cual la obtuvimos empleando la siguiente formula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Dónde:

Ci: Concentración inicial (mg/L)

Cf: Concentración final (mg/L)

Tabla 3-3: Porcentaje de remoción.

Muestra	Tratamiento	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Porcentaje de remoción
Agua	A1	5.0	3.89	22.2
	A2	5.0	3.48	30.4
	B3	5.0	4.13	17.4
	B4	5.0	4.99	0.2
	C5	5.0	1.71	65.8
	C6	5.0	1.11	77.8

Realizado por: Mera Santiago, 2016

En la tabla se indica el porcentaje de remoción al utilizar cada uno de los tres tratamientos. El porcentaje de remoción más eficaz se dio en el tratamiento C (Lenteja de agua y Jacinto de agua) obteniéndose un valor máximo de 77.8% lo cual demuestra el alto poder de remoción de este tratamiento; el porcentaje de remoción más bajo se observó en el tratamiento B (Lenteja de agua) registrándose un valor de 0.2% demostrando que este tipo de macrofitas acuáticas no es la más idónea para remover este tipo de metal.

3.4 Nutriente.

El nutriente elegido fue el correcto y no presentó ningún efecto secundario en las especies vegetales, no presentó precipitación alguna y las plantas se adaptaron correctamente a los nutrientes esenciales introducidos en el medio.

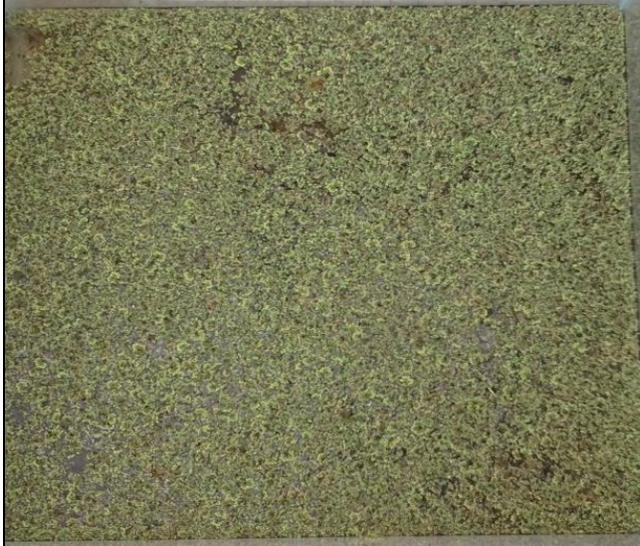
3.5 Contaminante.

El metal pesado introducido, una sal de plomo (nitrato de plomo) no formó precipitados al estar en contacto con el agua y el nutriente suministrado, tampoco se adhirió a las paredes del contenedor de vidrio ya que el Nitrato de plomo presentó buena solubilidad en el agua.

Biomasa

Tabla 3-4: Especies vegetales antes y después del tratamiento.

Día	Tratamiento	Característica de la macrofita	Imagen
Inicial	A: Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Frondes verdes y jóvenes	
Final		Cloróticas Perdida de pigmentación	

Inicial	B: Lenteja de agua (<i>Lemna spp</i>)	Especies vivas	
Final		Muy dañadas o muertas	
Inicial		Frondes verdes y jóvenes	

Final	C: Mixto (<i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna spp</i>)	Cloróticas Perdida de pigmentación	
-------	---	--	--

Realizado por: Mera Santiago, 2016

3.6 Monitoreo.

Tabla 3-5: Medición de pH.

pH	DÍA					
	1	2	3	4	5	6
A1	8.4	8.36	8.27	8.17	7.97	7.88
A2	8.46	8.33	8.2	8.11	8.0	7.91
B3	9.05	8.76	8.44	8.3	8.22	8.2
B4	8.95	8.62	8.31	8.25	8.14	8.05
C5	8.38	8.32	8.18	8.12	8.08	7.86
C6	8.52	8.3	8.2	8.15	8.02	7.71

Realizado por: Mera Santiago, 2016

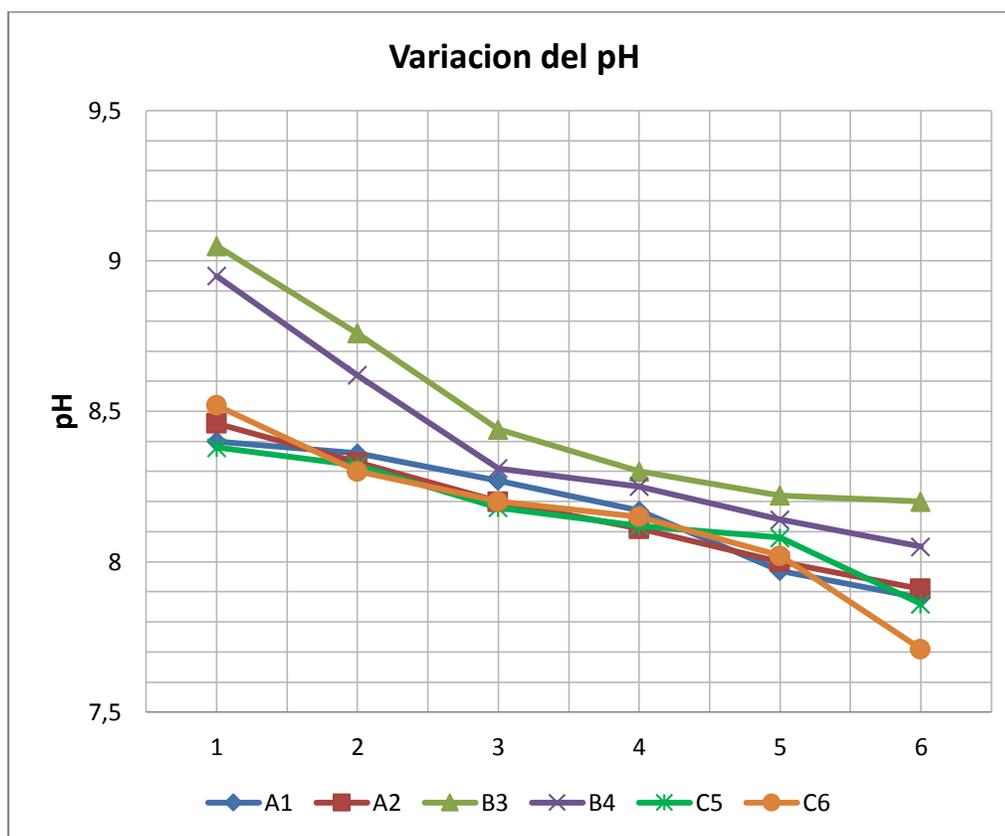


Figura 3-1: Variación de pH.

Realizado por: Mera Santiago, 2016

Durante la investigación se controló los cambios de pH que se produjeron en el medio experimental, el pH comenzó con valores un poco elevados, debido a que el agua tratada se mantuvo oxigenada, incrementando la concentración de O₂ y disminuyendo el CO₂, con el transcurso de los días el pH comenzó a decrecer, esto se debe a que las macrofitas acuáticas empezaron a consumir el nutriente, en este caso los nitratos y también acumulaban en sus tejidos el metal.

El pH con el valor más adecuado que se obtuvo fue el del tratamiento C6 (mixto) registrando un valor de 7.71 y el valor más elevado lo registro el tratamiento B3 (*Lemna spp*) con 8.2

Tabla 3-6: Medición de conductividad.

Conductividad	DÍA					
	1	2	3	4	5	6
A1	2.43	2.50	2.55	2.65	3.28	4.63
A2	3.0	3.03	3.06	3.09	4.06	5.90
B3	4.26	4.88	5.24	6.22	8.05	13.45
B4	4.63	5.28	5.73	7.25	10.11	15.91
C5	2.71	2.76	2.81	3.12	4.05	5.08
C6	2.74	2.77	2.80	2.86	3.94	5.15

Realizado por: Mera Santiago, 2016

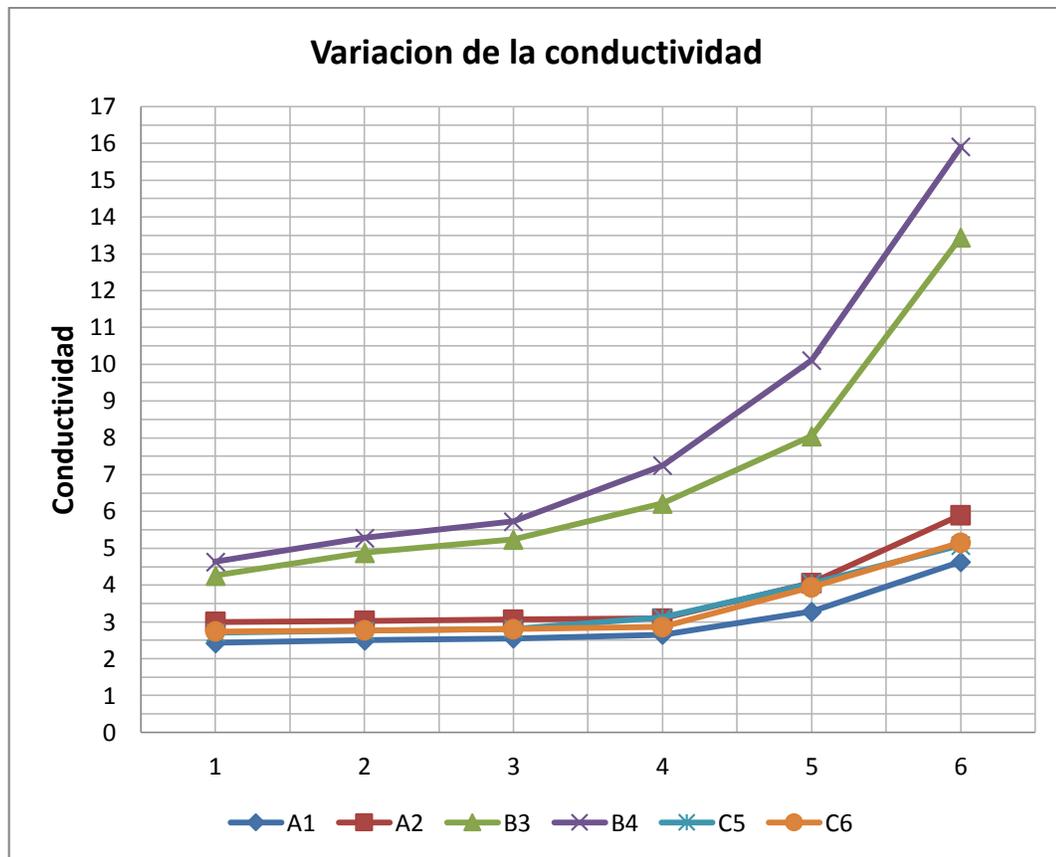


Figura 3-2: Variación de la conductividad.

Realizado por: Mera Santiago, 2016

Durante la investigación se controló los cambios de conductividad que se presentaron en el medio experimental, la conductividad medida comenzó con valores bajos, pero con el paso de los días los valores fueron incrementando, esto se debe a que la cantidad de sólidos suspendidos en el agua aumentaba con el paso de los días.

La conductividad más alta se registró en los tratamientos B3 Y B4 (*Lemna spp*) con valores de 13,45 y 15,91 ms respectivamente. La conductividad con mejores resultados lo presentaron los tratamientos A1 (*Eichhornia crassipes*) y C5 (mixto) registrando valores de 2.43 y 2.71 ms respectivamente.

3.7 Análisis estadístico.

La técnica estadística que se utilizó para validar o comprobar las hipótesis se desarrolló mediante el software estadístico R Commander, para la ejecución del programa en la primera columna se ubicaron los tratamientos y en la segunda las concentraciones finales o los porcentajes de absorción del metal de esta manera se logró determinar cuál de los tres tratamientos resulto ser el más adecuado para nuestra investigación.

Tabla 3-7: Variables estadísticas.

Variable de entrada	Unidad	Niveles	Variable respuesta
Tipo de planta	Porcentaje	Jacinto de agua (A) Lenteja de agua (B) Mixto (C)	Concentración de Plomo.

Realizado por: Mera Santiago, 2016

Tratamientos.

A: Jacinto de agua

B: Lenteja de agua

C: Mixto

Hipótesis.

H_0 = no existe diferencia de absorción entre los tratamientos.

H_1 = si existe diferencia de absorción entre los tratamientos.

Para determinar que tratamiento fue más efectivo el primer paso es realizar una tabla estadística en donde se pueda apreciar la media como la desviación estándar.

Tabla 3-8: Medias, desviación estándar y coeficiente de variación

```
> numSummary(Datos[, "Concentración"], groups=Datos$Tratamiento, statistics=c("mean",
  mean      sd      cv      skewness  0%  25%  50%  75% 100% data:n
A 3.683333 0.2050203 0.05566163 7.314414e-02 3.48 3.580 3.68 3.785 3.89    3
B 4.560000 0.4300000 0.09429825 9.425592e-15 4.13 4.345 4.56 4.775 4.99    3
C 1.410000 0.3000000 0.21276596 3.469447e-15 1.11 1.260 1.41 1.560 1.71    3
```

Fuente: R Comander, 2008.

En la tabla podemos apreciar que la media más baja la presenta el Tratamiento C registrando un valor de 1.41, también se aprecia que los datos no se encuentran muy dispersos por lo que sí existe una diferencia de absorción entre los tratamientos. Para poder comprobar si los datos cumplen o no con una normalidad, se realizó el Test de Shapiro y Bartlett respectivamente.

Tabla 3-9: Test Shapiro.

```
> shapiro.test(Datos$Concentración)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Datos$Concentración
W = 0.8866, p-value = 0.1842
```

Fuente: R Comander, 2008.

Aplicando el Test de Shapiro con valor de significancia $\alpha = 0.05$ y una confiabilidad del 0.95 tenemos que $p\text{-value} = 0.1842$, este valor es mayor a 0.05 es decir los datos cumplen con una normalidad.

Tabla 3-10: Test Bartlett

```
> bartlett.test(Concentración ~ Tratamiento, data=Datos)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Concentración by Tratamiento
Bartlett's K-squared = 0.8544, df = 2, p-value = 0.6523
```

Fuente: R Comander, 2008.

Aplicando el Test de Bartled con valor de significancia $\alpha = 0.05$ y una confiabilidad del 0.95 tenemos que p-value = 0.6523, este valor es mayor a 0.05 es decir los datos cumplen con una normalidad.

Como nuestros datos cumplen con una normalidad en los dos Test, se procedió a realizar el Test de Anova de un factor.

Tabla 3-11: Anova un factor.

```
> AnovaModel.1 <- aov(Concentración ~ Tratamiento, data=Datos)
> summary(AnovaModel.1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Tratamiento  2 15.859    7.930   75.06 5.68e-05 ***
Residuals    6  0.634    0.106
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> numSummary(Datos$Concentración , groups=Datos$Tratamiento, statistics=c(
  mean      sd data:n
A 3.683333 0.2050203    3
B 4.560000 0.4300000    3
C 1.410000 0.3000000    3
```

Fuente: R Comander, 2008.

Aplicando el Test de Anova de un factor con valor de significancia $\alpha = 0.05$ y una confiabilidad del 0.95 se tuvo que f-value = 5.68e-05, este valor es menor a 0.05 rechazando H_0 y aceptando H_1 , es decir si existe diferencia de absorción en los tratamientos.

Tabla 3-12: Contrastes de Tukey.

```
Fit: aov(formula = Concentración ~ Tratamiento, data = Datos)
Quantile = 3.0695
95% family-wise confidence level

Linear Hypotheses:
      Estimate lwr      upr
B - A == 0  0.87667 0.06206 1.69127
C - A == 0 -2.27333 -3.08794 -1.45873
C - B == 0 -3.15000 -3.96461 -2.33539

> cld(.Pairs) # compact letter display
  B   C   A | "a" "b" "c"
```

Fuente: R Comander, 2008.

Aplicando el Test de Tukey de comparación de medias se concluye que ninguno de los tratamientos es igual, todas las medias son distintas.

El tratamiento A es mejor que el B.

El tratamiento C es mejor que el A.

El tratamiento C es mejor que el B.

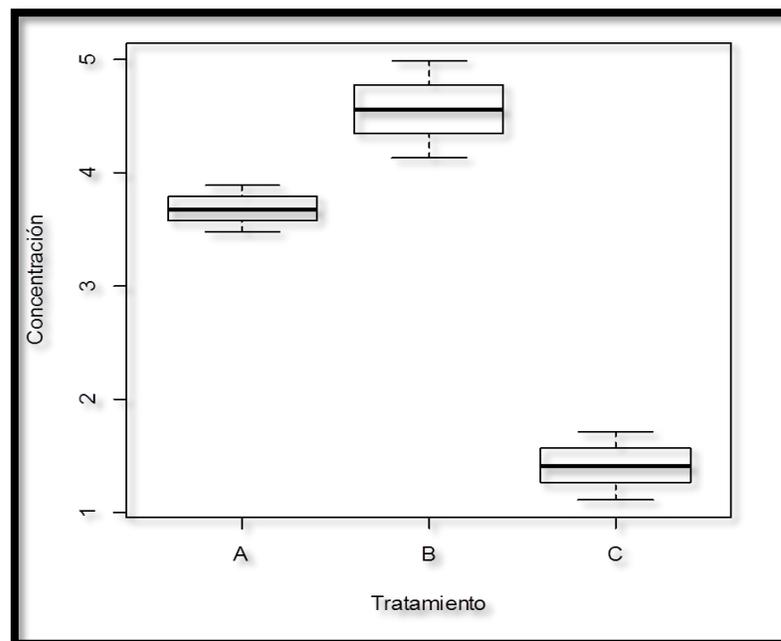


Figura 3-3: Diagrama de cajas.

Fuente: R Comander, 2008.

De acuerdo al diagrama de cajas, se distingue claramente que el tratamiento más efectivo es el C, el cual presento un mayor porcentaje de absorción en comparación con el A y B. Demostrándose incluso que el tratamiento B es el menos eficaz, presentando una menor cantidad de absorción y una mayor dispersión de los datos.

CONCLUSIONES.

- El crecimiento y estabilización de las macrofitas se promovió gracias a la climatización del medio y utilización de un nutriente líquido; la climatización del medio consistió en mantener a las macrofitas acuáticas en el interior de un invernadero, evitando así inhibir su crecimiento por temperaturas bajas; se inyectó 100 ml de nutriente líquido a cada tratamiento, estimulando el crecimiento tanto radicular como de frondes.
- Las concentraciones finales de Plomo absorbidas por cada tratamiento se determinaron mediante absorción atómica, para el Tratamiento A, B y C se obtuvieron los siguientes valores promedios respectivamente, 3.68, 4.56 y 1.41 ppm. Concluyéndose que el tratamiento que mejores resultados generó fue el C, el cual estaba conformado por un tratamiento mixto (*Lemna spp* y *Eichhornia crassipes*) demostrando que poseen una capacidad de biorremediación considerable con relación al Plomo absorbido del medio.
- El tratamiento B (*Lemna spp*) resultó ser el que posee la menor capacidad de remediación, esto se podría atribuir al diminuto tamaño de esta especie, disminuyendo de esta manera la mayor acumulación del contaminante en sus tejidos.
- El desempeño de descontaminación de cada tratamiento y especie se lo demostró mediante el cálculo del porcentaje de remoción, corroborando que el tratamiento C (*Eichhornia crassipes* y *Lemna spp*) es el que mejor desempeño demuestra con un valor del 77.8 % de remoción, lo cual indica que este tipo de tratamiento es factible para descontaminar aguas que contengan metales pesados en este caso Plomo. Por otra parte el tratamiento B (*Lemna spp*) demostró el menor desempeño de descontaminación de entre los dos restantes, registrándose un valor de 17.4 %. El tratamiento A (*Eichhornia crassipes*) demostró un desempeño de descontaminación mejor que el tratamiento B, registrando un valor del 30.4 %, esto se atribuye a que esta especie de macrofita acuática, contiene una mayor cantidad de tejido donde se puede acumular mayores cantidades del metal pesado (Plomo).
- Los factores de bioconcentración registrados previo análisis del tejido vegetal, demostraron que los tres tipos de tratamientos, así como los dos tipos de macrofitas utilizadas poseen un potencial de bioconcentración, los tratamientos A,B y C concentran plomo hasta valores de 278.40, 264.12 y 36.85 veces superiores a las del ambiente respectivamente.

- La evaluación de la toxicidad del plomo en las dos especies de macrofitas acuáticas, se evidenció con los diversos cambios físicos y fisiológicos como: clorosis, necrosis, despigmentación de frondes, inhibición de crecimiento radicular y celular, la toxicidad en *Lemna spp* resultó mayor que la otra especie demostrando necrosis y clorosis, *Eichhornia crassipes* presentó principios de necrosis y despigmentación de frondes en sus partes inferiores, las dos especies presentaron inhibición de crecimiento celular y radicular, también la coloración de sus raíces vario dependiendo de la especie.

RECOMENDACIONES.

- Es recomendable hacer un estudio previo de las macrofitas o del agua en el que se encuentran las mismas, para asegurarse si contienen algún tipo de metal acumulado en sus tejidos.
- Al momento de realizar el muestreo, escoger especies que no presenten signos de necrosis, clorosis o raíces dañadas, es decir especies jóvenes.
- Investigar los efectos de la luz y como podrían influenciar en el proceso de fotosíntesis y por ende en la fitorremediación del medio.
- Analizar el tejido vegetal por partes (raíz, tallo y hojas), de manera que se pueda conocer el sitio exacto donde se bioacumula la mayoría del metal.
- Realizar análisis fisiológicos y celulares de este tipo de macrofitas con el fin de comprender la capacidad de adsorción del contaminante a través de su acumulación intracelular.
- Tanto *Lemna spp* como *Eichhornia crassipes* resultaron ser especies acumuladoras de metales pesados en nuestro caso plomo, por lo que sería factible trabajar con este tipo de especies en la recuperación de aguas residuales industriales contaminadas con este tipo de metal.

BIBLIOGRAFÍA

ANSOLA, Gustavo. *Utilizacion de humedales artificiales en la depuracion de aguas residuales.* Salamanca-España : P Ramos, 2001. pp. 145-155.

Arce, Omar. *Indicadores Biologicos de la Calidad del Agua.* Cochabamba-Bolivia : Ediart, 2006. p. 4.

BAIRD, Colin. *Quimica Ambiental.* Barcelona-España : Reverte S.A, 2001. pp. 85-100.

BAKER, Andrews. Accumulators and excluders. *Strategies in the response of plants to heavy metals.* [En línea] 1999. [Citado el: 22 de Febrero de 2016].

Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=902239&pid=S0366-2128200800010000500003&lng=es.

BRIX, Henry. *Rol de las macrofitas en la construccion de humedales.* Colorado-Estados Unidos : Barbour, 1998. pp. 15-25.

CASTILLO RODRIGUEZ, Francisco. *Biotechnologia Ambiental.* Madrid-España : Tebar, 2005. pp. 30-42.

CLEMENS, Scott. *Molecular Mechanisms of plant metal tolerance of homesostasis.* Londres-Inglaterra : Plant, 2001. pp. 475-486.

COBBETT, Charles. *Fitoquelatinas y Metaliopteoneinas: Detoxificacion de metales pesados.* Mexico DF-Mexico : Acribia S.A, 2002. pp. 159-182.

CRESES. *Ciencia y tecnología.* [En línea] 2013.

[Citado el: 10 de Febrero de 2016]

<http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQozEzn1zwpOW6fQZAz9jIccE6fqfO9TM4MrmiYO-xFng1b7m58Fab7Abbs>

DE LA VEGA, Paola. La Mama Pacha. *Plantas para tratar la contaminación ambiental.* [En línea] 2014. [Citado el: 7 de Diciembre de 2015] Disponible en : <http://lamamapachama.com/2014/04/24/la-fitorremediacion-plantas-para-tratar-la-contaminacion-ambiental/>.

DELGADILLO, Andres y GONZALES, Carlos. Fitorremediación. *Una alternativa para eliminar contaminantes .* [En línea] 2011. [Citado el: 20 de Enero de 2016] Disponible en : <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/login>.

ECUADOR, Agua. *La contaminación del agua en el Ecuador.* Quito-Ecuador : Edimsa, 2012. p. 58.

EROSTEGUI, Carlos. Scielo. *Contaminación por metales pesados.* [En línea] 2009.

[Citado el: 11 de Octubre de 2015] Disponible en : http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013.

ESCOBAR, J. Humedales de Bogota. *Humedales de Bogota.* [En línea] 2010. [Citado el: 15 de Noviembre de 2015.] Disponible en :

<http://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-los-humedales-de-bogota/>.

FERNANDEZ GONZALES, Juan. *Manual de fitodepuración.* Madrid-España : Editan, 2001. p. 191.

FERNANDEZ, Antonio.*Espesiacion Fisica y Quimicade metales en la materia particulada atmosferica.* Sevilla-España : Focus, 2004. pp. 125-140.

FLORPEDIA.*Florpedia.* [En línea] 2013. [Citado el: 20 de Julio de 2015] Disponible en :
<http://plantas.florpedia.com/-plantas-acuaticas-flotantes.html>.

FONT QUER, Pablo.*Botanica Pintoresca.* Barcelona-España : Ramon Sopena S.A, 1995. pp. 385-390.

GARZON, Ana. Ministerio del Ambiente . *Informacion Plomo y Cadmio.* [En línea] 2006.
[Citado el: 11 de Abril de 2015] Disponible en :
http://www.chem.unep.ch/Pb_and_Cd/SR/Files/Submission%20GOV/Submis_GOV_ECUADOR.pdf

GEOFF, Burnie.*Botanica Guía ilustrada de plantas.* Barcelona-España : Konemann, 2006. pp. 515-523.

GERSBERG, Ralph y ELKINS, Bryan.*Papel de las plantas acuaticas en el tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales.* Madrid-España : Paraninfo, 2000. pp. 363-368.

HALL, George.*Mecanismos celulares para la la tolerancia y detoxificacion de metales pesados.* Toronto-Canada : Acco Edi, 2002. pp. 107-125.

HOWARD, Thomas.*Heavy Metals in the environment.*Mexico DF-Mexico : Lewis Publishers, 2000. pp. 60-80.

MARKER, Prof. Contaminacion. *Uso de plantas acuaticas para humedales artificiales.* [En línea] 2011. [Citado el: 14 de Marzo de 2016.] Disponible en :
<http://profmarkern.blogspot.com/2011/08/mira-lo-que-puede-causar-la.html>.

MARQUEZ, Fernando. Cricyt. *Crycit*. [En línea] 2010.[Citado el: 8 de Marzo de 2016]
Disponible en : <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>.

Beaescochea, Edison.*Filtros verdes*. Cataluña-España : Planeta, 2008, Filtros verdes, Vol. I, pp. 20-24.

ROBLES, Elena. SlideShare. *Intoxicacion por Plomo*. [En línea] 2008. [Citado el: 22 de Enero de 2016.]

Disponible en:
http://es.slideshare.net/fiorbella?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview.

SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. *INECC*. [En línea] 2009.
[Citado el: 05 de 01 de 2016] Disponible en :

<http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>.

SPIRO, Thomas y STIGLIANI, Willian.*Química medio ambiental*. Barcelona-España : Pearson, 2000. pp. 56-60.

VIDAL, Jorge.*Curso de Botánica; Plantas con tallos acuáticos*. Lima-Perú : Bruño, 1998. pp. 110-120.

VOLKE, Tania y VELASCO, Juan Antonio.*Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Mexico DF-Mexico : Aemi, 2001. pp. 30-38.

WETZEL, Robert.*Limnología*. Barcelona-España : Ediciones Omega, 1991. pp. 320-352.

ZENK, Michael. *Cationes de metales pesados y detoxificación en plantas superiores.* Madrid-España : NSB, 1996. pp. 29-36.

ANEXOS: FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIAS A: PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONTAMINANTE.

Balanza analítica



Pesaje de la sal de plomo



Diluyendo la sal de plomo



Envasando la solución



FOTOGRAFIAS B: MUESTREO DE MACROFITAS.

Área de Lentejas de agua (*Lemna spp*)



Área de Jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*)



Recolección de las macrofitas

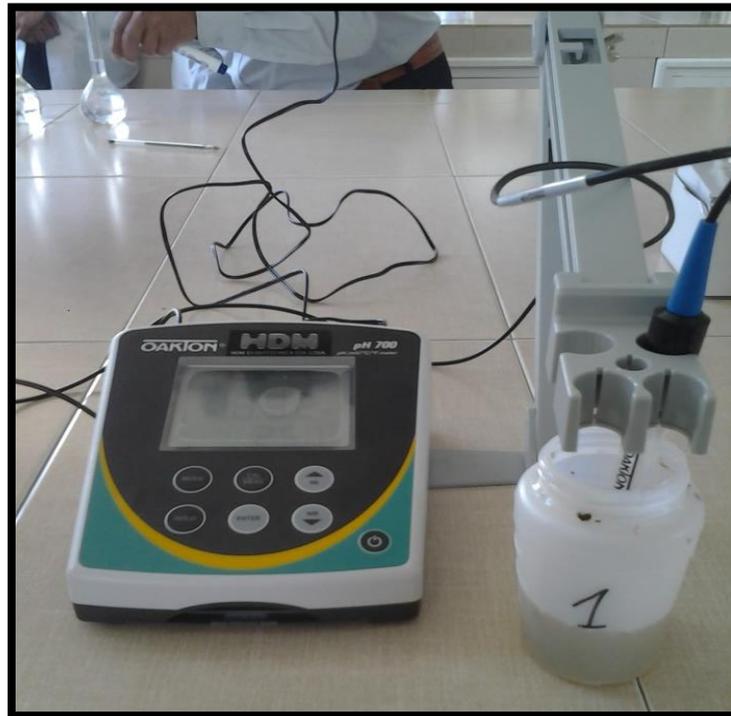


FOTOGRAFÍAS C: MEDICIÓN DE PH

Muestras listas para su medición.



Medición de las muestras

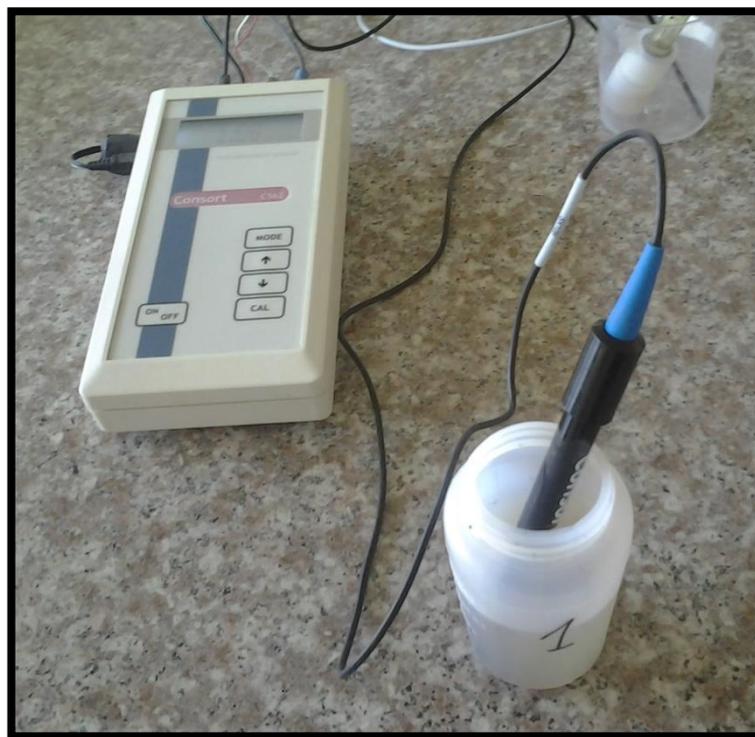


FOTOGRAFÍAS D: MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD.

Muestras lista para la medición de conductividad



Medición de las muestras.

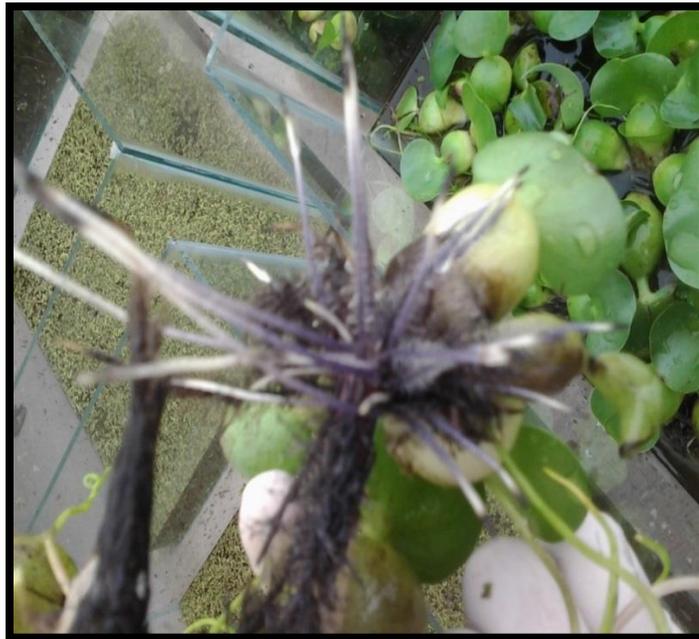


FOTOGRAFIAS E: TRATAMIENTOS

Disposición de los tratamientos



Raíces jóvenes de *Eichhornia crassipes*



Raíces viejas de *Eichhornia crassipes*



FOTOGRAFÍAS F: ANÁLISIS DE PLOMO EN TEJIDO

Muestras de Lenteja de agua.





Muestras de Jacinto de agua.



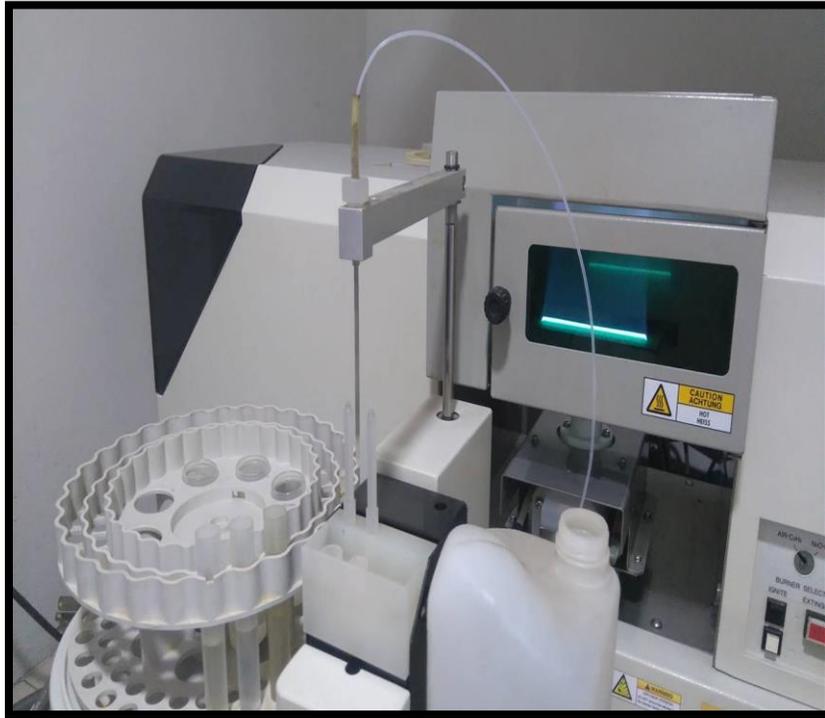


FOTOGRAFIAS G : ANÁLISIS DE PLOMO EN AGUA.

Recolección de las muestras



Equipo de absorción atómica.



FOTOGRAFIAS H: ANÁLISIS DE LABORATORIO (AGUA)

Concentración inicial

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA) Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 1500
ST: 529 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Santiago Mera
Dirección: Riobamba, Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba-Chimborazo

FECHA: 13 de Octubre del 2015
NÚMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/10/02 – 16:15
FECHA DE MUESTREO: 2015/10/02 – 13:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/10/02 – 2015/10/13
TIPO DE MUESTRA: Agua Residual
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1119-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Agua Tratada
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25,0 °C. T min.: 15,0 °C

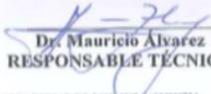
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (m)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	4,99	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

Concentraciones finales

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	--	--

INFORME DE ENSAYO No: 1874 ST: 752 -15 ANÁLISIS DE AGUAS Nombre Peticionario: NA Atn. Santiago Mera Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH Riobamba - Chimborazo	
FECHA: 23 de Diciembre del 2015 NUMERO DE MUESTRAS: 1 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/12/11 - 09:30 FECHA DE MUESTREO: 2015/12/10 - 15:00 FECHA DE ANÁLISIS: 2015/12/11 - 2015/12/23 TIPO DE MUESTRA: Agua tratada CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1482 -15 CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-1 PUNTO DE MUESTREO: Pecera 1 ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C	

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (M)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	3,89	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Álvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
 E INSPECCIÓN
 LAB - CESTTA
 ESPOCH



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No: 1874
ST: 752 -15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 23 de Diciembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/12/11 - 09:30
FECHA DE MUESTREO: 2015/12/10 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/12/11 - 2015/12/23
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1483 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-2
PUNTO DE MUESTREO: Pecera 2
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	3,48	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No: 1874
ST: 752 -15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
A tn. Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 23 de Diciembre del 2015
NÚMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/12/11 - 09:30
FECHA DE MUESTREO: 2015/12/10 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/12/11 - 2015/12/23
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1484 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-3
PUNTO DE MUESTREO: Pecera 3
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (E)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	4,13	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Accreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No: 1874
ST: 752-15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
Atn: Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 23 de Diciembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/12/11 - 09:30
FECHA DE MUESTREO: 2015/12/10 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/12/11 - 2015/12/23
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1485 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-4
PUNTO DE MUESTREO: Pecera 4
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (M)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	5,00	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCION
LAB - CESTTA
ESPOCH



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No: 1874
ST: 752-15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
Atn: Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 23 de Diciembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/12/11 - 09:30
FECHA DE MUESTREO: 2015/12/10 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/12/11 - 2015/12/23
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1486 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-5
PUNTO DE MUESTREO: Pecera 5
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

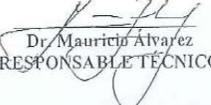
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (E)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	1,71	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL
DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)
Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No: 1874
ST: 752 -15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 23 de Diciembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/12/11 - 09:30
FECHA DE MUESTREO: 2015/12/10 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/12/11 - 2015/12/23
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1487 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-6
PUNTO DE MUESTREO: Pecera 6
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

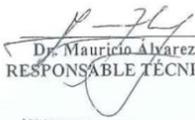
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Plomo	PEE/LABCESTTA/ 29 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	1,11	±8%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

FOTOGRAFÍAS I: ANÁLISIS DE LABORATORIO (TEJIDOS)

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
	DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)
	Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No: 75
ST: 001- 16 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Nombre Peticionario: NA
Atn. Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 02 de Febrero del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/01/21 - 10:48
FECHA DE MUESTREO: 2016/01/20 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/01/21 - 2016/02/02
TIPO DE MUESTRA: Tejido Vegetal
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-TV 01-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: 2
PUNTO DE MUESTREO: PECERA 2
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Plomo	Absorción atómica	mg/kg	1392,03	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN
(LABCESTTA)**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No: 75
ST: 001- 16 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Nombre Peticionario: NA
Atn. Santiago Mera
Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½ ESPOCH
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 02 de Febrero del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/01/21 - 10:48
FECHA DE MUESTREO: 2016/01/20 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/01/21 - 2016/02/02
TIPO DE MUESTRA: Tejido Vegetal
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-TV 03-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: 6
PUNTO DE MUESTREO: PECERA 6
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Santiago Mera
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Plomo	Absorción atómica	mg/kg	184,29	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCION
LAB - CESTTA
ESPOCH

