



**UCV**  
UNIVERSIDAD  
CÉSAR VALLEJO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL

RIZOFILTRACIÓN SELECTIVA DE AGUAS CONTAMINADAS CON  
PLOMO UTILIZANDO LAS ESPECIES *Lemna minor* y *Eichhornia*  
*crassipes*, LIMA 2014

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Gomero Pérez, Angela Milagros

ASESOR:

Mag. Ing. Amancio Guzmán Rodríguez

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ingeniería De La Conservación y Protección de Los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2014

## **DEDICATORIA**

A la memoria de Manuel Ángel Pérez Ccapari y Carmela Bedoya de quienes guardo los más felices recuerdos de mi infancia.

A mis padres Miguel Ángel Gomero Bedoya y Teresa Pérez Ccapari, a mis hijos Daneri Charlyze y Rafael Mikel, por estar siempre a mi lado a pesar de las dificultades, brindándome siempre su apoyo y su amor incondicional.

***Gomero Pérez, Angela Milagros.***

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios en primer lugar porque con la bendición de él he logrado mantenerme con salud desarrollarme en esta sociedad, con una gran familia y concluir mi carrera.

A mi papá Miguel Gomero pues por él es que hoy soy una profesional, y porque siempre me ha apoyado en las buenas y más importante aún, en las malas, por su compromiso con sus hijos, su confianza y complicidad para conmigo y por ser el mejor papá y abuelo para mis hijos.

A mi mamá, que gracias a su dureza hoy soy una persona de bien, porque siempre se preocupó por que las cosas se hagan bien, por ser una gran abuela y enseñarme a ser una buena madre para mis hijos.

A mi abuelita Carmela que aunque no he podido tenerla físicamente conmigo, sé que desde el cielo siempre nos ha estado cuidando y guiando a toda mi familia.

A mi abuelita Timotea, por ser el mejor ejemplo de fuerza y empuje para salir adelante a pesar de los golpes que nos pueda dar la vida, gracias por ser la mejor abuela del mundo que aun ya habiendo sacado adelante a tus doce hijos, haz seguido en pie luchando por que tus tantos nietos también salgan adelante. Gracias por compartir tus historias llenas de magia y belleza que me inculcaron la vocación ambiental y el amor por la tierra.

A mis hijos Daneri Charlize y Rafael Mikel por ser los motores de mi vida, por tanto amor y satisfacciones que me han regalado, por saber comprender que su mamá tenía que trabajar y estudiar para un día poder darles todo lo que se merecen, por tantos juegos, risas y momentos felices, por ser mis más grandes tesoros.

A José E. Andia Chia por su gran compromiso con la realización de esta investigación, por preocuparse y acompañarme durante todo el proceso, por el tiempo dedicado y el apoyo brindado, por tantas palabras de aliento y ser el soporte que necesitaba en los momentos difíciles pasados.

A mi amiga Deisy Tribeño Aguilar por su apoyo y preocupación en el desarrollo de esta investigación, por ser la mejor amiga, hermana, consejera y cómplice que se pueda tener.

Y les agradezco también a mis familiares y amigos que con sus palabras de aliento hayan contribuido para el logro de mis objetivos.

## PRESENTACIÓN

La presente investigación pretende atender una de las necesidades de mayor preocupación para las cuencas hidrográficas de nuestro país, como es la contaminación de aguas por metales pesados, especialmente por plomo, ya que este puede ingresar a los cuerpos de agua como: relaves de la actividad minera formal e informal, efluentes industriales, lixiviados producidos por baterías, entre otros.

En consideración con esta problemática, este estudio se basa en la remoción de este metal pesado en aguas contaminadas, creándose un escenario en el que a un cuerpo de agua contaminado con plomo se le introduce dos especies macrófitas que presentan gran capacidad de adaptación a distintos medios y condiciones, las especies acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.

Esta investigación consiste en el análisis, comparación de la capacidad de remoción del metal pesado plomo de las dos macrófitas antes mencionadas y en el estudio de la selectividad de ambas especies al emplearlas a ambas juntas en un mismo diseño de tratamiento de aguas contaminadas con plomo.

Simulándose tres diseños de tratamientos, todos con un agua especialmente manipulada para efectos del estudio; en el primer diseño se emplea la macrófita *Lemna Minor*, en el segundo diseño, la macrófita *Eichhornia Crassipes*, y en el tercer diseño se emplean ambas logrando de esta manera estudiar la selectividad de dichas especies acuáticas. Se realizó dos replicas por cada diseño.

Se realizó la presente investigación con el fin de brindar una opción más ecoeficiente de remediación y/o dar una opción de tratamiento de aguas residuales que permita cumplir con la normativa nacional establecida para las mineras y demás industrias.

El desarrollo del presente trabajo de investigación fue llevado a cabo en la Urb. El Retablo, distrito de Comas, departamento de Lima, a cielo abierto para que las especies acuáticas pudieran recibir como mínimo 10 horas de luz solar y aireación durante un periodo de 4 meses, se inició con el acondicionamiento de las macrófitas hasta el procesamiento de los datos, con el cual se culminó la investigación.

Finalmente, con los resultados obtenidos, que más adelante serán expuestos, lo que se busca es poder contribuir a que las entidades públicas y privadas o comunidades que desean mejorar su sistema de tratamiento de aguas residuales puedan tener una alternativa de tratamiento económica y amigable con el medio ambiente.

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	iv
RESUMEN .....	ix
ABSTRAC.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	1
Justificación: .....	8
1.1. Problema.....	9
1.1.1. Formulación del Problema .....	9
1.1.2. Marco Teórico Referencial .....	10
1.1.3. Aspecto Legal.....	15
1.2. Hipótesis .....	17
1.3. Objetivos .....	17
1.3.1. General.....	17
1.3.2. Específicos .....	17
II. MARCO METODOLOGICO .....	18
2.1. Variables .....	18
2.2. Operacionalización de variables.....	19
2.3. Metodología.....	20
2.3.1. Desarrollo de la Metodología de Investigación .....	20
2.4. Tipo de estudio .....	26
2.5. Diseño.....	26
2.6. Población, muestra y muestreo .....	27
2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
2.8. Métodos de análisis de datos.....	29
III. RESULTADOS .....	30
3.1. Análisis de agua y de las especies <i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> (Pos-test).....	30
3.2. Análisis de los resultados.....	31
3.3. Prueba de Hipótesis.....	36
IV. DISCUSIÓN .....	40

V. CONCLUSIONES.....	42
VI. RECOMENDACIONES.....	43
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
VIII. ANEXOS.....	46

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01 : Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua	16
Tabla N° 02 : Límites Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas	16
Tabla N° 03 : Parámetros in situ	21
Tabla N° 04 : Diseño de estanques	23
Tabla N° 05 : Vista de los diseños de tratamiento de agua	24
Tabla N° 06 : Concentraciones de Pb iniciales en las especies macrófitas (Pre-test)	25
Tabla N° 07 : Vista de las muestras foliares y de agua tomadas de todos los diseños de tratamiento	30
Tabla N° 08 : Porcentaje de Remoción de plomo de la macrófita <i>Lemna minor</i> (D1)	31
Tabla N° 09 : Porcentaje de Remoción de plomo de la macrófita <i>Eichhornia crassipes</i> (D2)	32
Tabla N° 10 : Porcentaje de Remoción de plomo de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> (D3)	33
Tabla N° 11 : Porcentaje de absorción de Pb de la macrófita <i>Lemna minor</i> (D1)	34
Tabla N° 12 : Porcentaje de absorción de Pb de la macrófita <i>Eichhornia crassipes</i> (D2)	34
Tabla N° 13 : Porcentaje de absorción de Pb de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> (D3)	35
Tabla N° 14 : Análisis de prueba de hipótesis F-Fisher	36
Tabla N° 15 : Resumen de Resultados de la Primera Etapa del diseño Factorial 2x2	37
Tabla N° 16 : Matriz de datos acumulados	38
Tabla N° 17 : Resumen de resultados de la Segunda Etapa del diseño Factorial 2x2	38
Tabla N° 18 : Contraste de Porcentajes de Remoción de plomo en agua de los diseños de tratamiento D1, D2 y D3	40

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01 : Concentración inicial y final del diseño de tratamiento 1 con la especie <i>Lemna minor</i> (D1A y D1B)	31
Gráfico N° 02 : Concentración inicial y final del diseño de tratamiento 2 con la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (D2A y D2B)	32
Gráfico N° 03 : Concentración inicial y final del diseño de tratamiento 3 con las especies <i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> (D3A y D3B)	33
Gráfico N° 04 : Concentraciones iniciales y finales de los diseños de tratamientos 1, 2 y 3	35
Gráfico N° 05 : Distribución Fisher – Primera etapa de suma de cuadrados	37
Gráfico N° 06 : Distribución Fisher – Segunda etapa de suma de cuadrados	39
Gráfico N° 07 : Interacción de las variables de hipótesis estadísticas	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01	: Especie acuática <i>Lemna minor</i>	10
Figura N° 02	: Especie acuática <i>Eichhornia crassipes</i>	11

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama N° 01	: Proceso de Investigación	20
Diagrama N° 02	: Diseño Factorial 2x2	29
Diagrama N° 03	: Diagrama de los diseños de tratamiento – datos de concentraciones iniciales y finales	64

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01	: Operacionalización de las variables	19
Cuadro N° 02	: Pesos iniciales (día 1)	23
Cuadro N° 03	: Descripción de diseños de tratamiento	27
Cuadro N° 04	: Población de cada diseño	27
Cuadro N° 05	: Muestras de cada diseño	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 01	: Informe de Ensayo N° 3 – 05074/14 Resultado de análisis de plomo en la macrófita <i>Lemna minor</i>	46
Anexo N° 02	: Informe de Ensayo N° 3 – 05073/14 Resultado de análisis de plomo en la macrófita <i>Eichhornia crassipes</i>	47
Anexo N° 03	: Informe de Ensayo N° 3 – 05076/14 Resultado de análisis multi-parámetro de agua de la solución preparada	48
Anexo N° 04	: Informe de Ensayo N° 3 – 05075/14 Resultado de análisis de plomo en agua de la solución preparada	49
Anexo N° 05	: Informe de Ensayo N° 3 – 12202/14 Resultado de la concentración final de plomo en el estanque D1A	50
Anexo N° 06	: Informe de Ensayo N° 3 – 12203/14 Resultado de la concentración final de plomo en el estanque D1B	51
Anexo N° 07	: Informe de Ensayo N° 3 – 12204/14 Resultado de la concentración final de plomo en el estanque D2A	52
Anexo N° 08	: Informe de Ensayo N° 3 – 12205/14 Resultado de la concentración final de plomo en el estanque D2B	53
Anexo N° 09	: Informe de Ensayo N° 3 – 12206/14 Resultado de la concentración final de plomo en el estanque D3A	54
Anexo N° 10	: Informe de Ensayo N° 3 – 12207/14 Resultado de la concentración final de plomo en el estanque D3B	55
Anexo N° 11	: Informe de Ensayo N° 3 – 12208/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita <i>Lemna minor</i> - estanque D1A	56

Anexo N° 12	: Informe de Ensayo N° 3 – 12209/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Lemna minor - estanque D1B	57
Anexo N° 13	: Informe de Ensayo N° 3 – 12210/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Lemna minor - estanque D3A	58
Anexo N° 14	: Informe de Ensayo N° 3 – 12211/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Lemna minor - estanque D3B	59
Anexo N° 15	: Informe de Ensayo N° 3 – 12212/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Eichhornia crassipes - estanque D2A	60
Anexo N° 16	: Informe de Ensayo N° 3 – 12213/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Eichhornia crassipes - estanque D2B	61
Anexo N° 17	: Informe de Ensayo N° 3 – 12214/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Eichhornia crassipes - estanque D3A	62
Anexo N° 18	: Informe de Ensayo N° 3 – 12215/14 Resultado de la concentración final de plomo en la macrófita Eichhornia crassipes - estanque D3B	63
Anexo N° 19	: Diagrama de los diseños de tratamiento – datos de concentraciones iniciales y finales	64
Anexo N° 20	: Matriz de Consistencia	65



## RESUMEN

La presente tesis de investigación busca proponer una alternativa rentable, eficiente y amigable con el medio ambiente, para la remediación de aguas contaminadas con el metal pesado plomo, mediante tratamientos por rizofiltración empleando las especies acuáticas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*. Incluye un periodo de adaptabilidad y la descontaminación de una solución intensionalmente contaminada con plomo, con la finalidad de comparar y determinar la eficacia de los diseños de tratamiento planteados con las especies indicadas en la remoción de plomo en el agua.

Se diseñó tres modelos de tratamiento de agua, cada uno con una réplica:

- \* D1: descontaminación de agua usando la especie *Lemna minor*.
- \* D2: Descontaminación de agua usando la especie *Eichhornia crassipes*.
- \* D3: Descontaminación de agua usando ambas especies en las mismas cantidades que los diseños D1 y D2.

Contrastándose los resultados obtenidos al finalizar la investigación para determinar así cual los de los diseños de tratamiento es el más eficiente.

La metodología de trabajo fue desarrollada en cuatro etapas:

- a) Recolección de las especies acuáticas: Se recolecto los ejemplares de las especies acuáticas utilizadas en la investigación del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa.
- b) Etapa de adaptabilidad: se adaptó los ejemplares recolectados en una solución preparada compuesta al 100% con agua potable y se le añadió 2 ml de Nutriente Foliar Líquido 11-8-6 (N-P-K)/litro a la semana durante un periodo de 10 días.
- c) Etapa de descontaminación de solución preparada con plomo; Se expuso a los ejemplares de las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* a una solución contaminada con acetato de Plomo ( $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) a una concentración inicial de plomo de 0.0920 mg/L de Pb adicionándole de igual manera el nutriente foliar líquido 11-8-6 (N-P-K)/litro a la semana por un periodo de 21 días.

Adicionales a los 6 estanques, 2 réplicas por cada diseño de tratamiento, se empleó también dos réplicas de control, que fueron fundamentales para contrastar con las concentraciones finales de plomo de los estanque de los tres diseños de tratamientos haciendo uso de las macrófitas en mención.

Al concluir la etapa de descontaminación, se obtuvo que la especie acuática *Lemna minor* (D1) había removido en promedio % teniéndose una concentración final de plomo en agua de mg/L frente a la concentración inicial mg/L, la especie acuática *Eichhornia crassipes* removió en promedio % teniéndose una concentración final de plomo en agua de mg/L frente a la concentración inicial mg/L, mientras que en diseño D3 donde se empleó ambas especies acuáticas se logró una remoción promedio de % de plomo teniéndose una concentración final de plomo en agua de mg/L frente a la misma solución.

Finalmente con los resultados anteriormente mencionados, se llegó a la conclusión que el tratamiento más eficaz en la remoción de plomo en agua es empleando el diseño de tratamiento 3 en el que las especies acuáticas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* trabajan juntas.

## ABSTRAC

This thesis research aims to propose a cost effective, efficient and friendly alternative to the environment, for the remediation of water contaminated with the heavy metal lead, by using treatments rhizofiltration aquatic species *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor*. Includes a period of adaptability and a decontamination solution intentionally contaminated with lead, in order to compare and determine the effectiveness of treatment designs posed with the species listed in the removal of lead in water.

Three models water treatment, each designed with a replica:

- D1: decontamination of water using *Lemna minor* species.
- D2: Decontamination of water using the species *Eichhornia crassipes*.
- D3: Decontamination of water using both species in the same quantities as the designs D1 and D2.

By contrasting the results obtained at the end so the investigation to determine which design is the most efficient treatment.

The working methodology was developed in four stages:

- a) Collection of aquatic species: specimens of aquatic species used in research Wildlife Refuge Wetlands Villa We collected.
- b) Stage of adaptability: the specimens collected in a prepared solution made with 100% water and was added 2 ml of Nutrient Foliar Liquid 06/08/11 (NPK) / liter a week for a period of 10 adapted days.
- c) Stage decontamination solution made with lead; To specimens of species *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* were exposed to a contaminated with lead acetate ((CH<sub>3</sub>COO) 2Pb.3H<sub>2</sub>O) at an initial concentration of lead of 0.0920 mg / L Pb added the same liquid foliar nutrient solution 06/08/11 (NPK) / liter a week for a period of 21 days.

Additional at 6 ponds, 2 replicates per treatment design also used two control replicates, which were fundamental to contrast with the final concentrations of lead in the pond of the three treatment designs using macrophytes in question.

At the conclusion of the decontamination step, we found that the aquatic species *Lemna minor* (D1) was removed on average% taking a final concentration of lead in water mg / L compared to the initial concentration mg / L, aquatic species *Eichhornia crassipes* removed average% taking a final concentration of lead in water mg / L compared to the initial concentration mg / L, whereas D3 design was used where both aquatic species average% lead removal is achieved taking a final concentration of lead in water mg / L compared to the same solution.

Finally with the above results, it was concluded that the most effective treatment for the removal of lead in water treatment design using 3 wherein aquatic species *Lemna minor* *Eichhornia crassipes* and work together.