



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

**COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE  
RIZOFILTRACIÓN Y BIOACUMULACIÓN EMPLEANDO LAS  
ESPECIES *Eichornia crassipes* Y *Polypodium polycarpon* PARA  
REDUCIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL AGUA DE LA  
LAGUNA PAJUSCOCHA, SAN MARCOS – HUARI – ANCASH; 2015**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

GUTIÉRREZ ALMEYDA, Eveling Meybe.

**ASESOR:**

DR. VALVERDE FLORES, Jhonny

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LA BIODIVERSIDAD

LIMA – PERÚ

2015-I

**TÍTULO:**

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE RIZOFILTRACIÓN Y BIOACUMULACIÓN  
EMPLEANDO LAS ESPECIES *Eichornia crassipes* Y *Polypodium polycarpon* PARA REDUCIR LA  
CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL AGUA DE LA LAGUNA PAJUSCOCHA, SAN MARCOS – HUARI –  
ANCASH; 2015

**AUTOR:**

GUTIÉRREZ ALMEYDA, Eveling Meybe

**APROBADO POR:**

---

Dr. VALVERDE FLORES, Jhonny Wilfredo  
**PRESIDENTE**

---

Dr. VALDIVIEZO GONZALES, Lorgio Gilberto  
**SECRETARIO**

---

M. Sc. MUNIVE CERRÓN, Rubén Víctor  
**VOCAL**

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a Elena y Emiliano; mis padres, por creer en mí, por su respeto, por su apoyo y sobre todo por su amor.*

*A Suni; mi abuela porque pese a todo, fue ella quién me enseñó de una forma diferente el deseo de superación, siempre estarás conmigo.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir el objetivo de obtener mi título profesional.*

*También a mis docentes por las lecciones que recibí día a día.*

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, GUTIÉRREZ ALMEYDA; Eveling Meybe con DNI N° 72325888 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en esta tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo

Lima, julio del 2015

---

Eveling Meybe GUTIÉRREZ ALMEYDA

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE RIZOFILTRACIÓN Y BIOACUMULACIÓN EMPLEANDO LAS ESPECIES *Eichornia crassipes* Y *Polypodium polycarpon* PARA REDUCIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL AGUA DE LA LAGUNA PAJUSCOCHA, SAN MARCOS – HUARI – ANCASH; 2015”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental

La autora

## ÍNDICE

HOJA DEL JURADO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	vi
PRESENTACIÓN.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>01</b>
1.1. Problema.....	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1..Objetivo general.....	15
1.2.2..Objetivos específicos .....	15
<b>II. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>15</b>
2.1. Hipótesis .....	15
2.2. Variables .....	17
2.3. Operacionalización de variables.....	18
2.4. Metodología.....	19
2.5. Tipos de estudio.....	23
2.6. Diseño de investigación .....	23
2.7. Población y muestra .....	23
2.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
2.9. Métodos de análisis de datos .....	28
2.10. Prueba de normalidad .....	28
2.11. Prueba de homogeneidad de varianzas .....	36
2.12. Aspectos éticos .....	38
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
3.1. Identificación de especies.....	39
3.2. Reducción de la concentración de plomo.....	41

3.3. Variación del desarrollo de la especie <i>Eichornia crassipes</i> .....	46
3.4. Variación del desarrollo de la especie <i>Polypodium polycarpon</i> .....	51
3.5. Validación de las hipótesis .....	54
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01. Operacionalización de variables.....	18
Tabla N° 02. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
Tabla N° 03. Reducción de la concentración de plomo según el tiempo de exposición al tratamiento de rizofiltración.....	26
Tabla N° 04. Reducción de la concentración de plomo según el tiempo de exposición al tratamiento de bioacumulación.....	26
Tabla N° 05. Pruebas de normalidad. Desarrollo de hoja de Lirio acuático .....	28
Tabla N° 06. Pruebas de normalidad. Desarrollo de hoja de Lirio acuático .....	29
Tabla N° 07. Pruebas de normalidad. Desarrollo de raíz de Lirio acuático .....	30
Tabla N° 08. Pruebas de normalidad. Desarrollo de tallo de Lirio acuático .....	30
Tabla N° 09. Pruebas de normalidad. Desarrollo de tallo de Lirio acuático.....	31
Tabla N° 10. Pruebas de normalidad. Desarrollo de hoja de Helecho cristal .....	32
Tabla N° 11. Pruebas de normalidad. Desarrollo de hoja de Helecho cristal .....	33
Tabla N° 12. Pruebas de normalidad. Desarrollo de raíz de Helecho cristal .....	34
Tabla N° 13. Pruebas de normalidad. Desarrollo de tallo de Helecho cristal .....	34
Tabla N° 14. Pruebas de normalidad. Desarrollo de hoja de Helecho cristal .....	35
Tabla N° 15. Prueba de homogeneidad de varianzas. DESARROLLO DE HOJA DE HELECHO ....	36
Tabla N° 16. Prueba de homogeneidad de varianzas. DESARROLLO DE RAÍZ DE HELECHO .....	36
Tabla N° 17. Prueba de homogeneidad de varianzas. DESARROLLO DE TALLO DE HELECHO ...	36
Tabla N° 18. Prueba de homogeneidad de varianzas. DESARROLLO DE HOJA DE LIRIO.....	36
Tabla N° 19. Prueba de homogeneidad de varianzas. DESARROLLO RAÍZ DE LIRIO.....	37
Tabla N° 20. Prueba de homogeneidad de varianzas. DESARROLLO TALLO DE LIRIO .....	37
Tabla N° 21. Concentración de Pb post tratamiento de fitorremediación con técnica de rizofiltración .....	55
Tabla N° 22. Porcentaje de reducción de plomo de la técnica de rizofiltración empleando la especie <i>Eichornia crassipes</i> .....	56

<b>Tabla N° 23.</b> Concentración de Pb post tratamiento de fitorremediación con técnica de bioacumulación.....	<b>57</b>
<b>Tabla N° 24.</b> Porcentaje de reducción de plomo de la técnica de bioacumulación empleando la especie <i>Polypodium polycarpon</i> .....	<b>58</b>
<b>Tabla N° 25.</b> Comparación de la eficiencia de las técnicas de rizofiltración y bioacumulación..	<b>59</b>
<b>Tabla N° 26.</b> Promedio del tamaño de las hojas de lirio según hoja .....	<b>60</b>
<b>Tabla N° 27.</b> Tamaño hoja de lirio en tratamiento de control de desarrollo.....	<b>60</b>
<b>Tabla N° 28.</b> Tamaño promedio de hoja de Lirio acuático según tratamiento.....	<b>61</b>
<b>Tabla N° 29.</b> Comparación del crecimiento de hojas de Lirio acuático.....	<b>62</b>
<b>Tabla N° 30.</b> Tamaño promedio de raíz de lirio según tratamiento .....	<b>49</b>
<b>Tabla N° 31.</b> Promedio del tamaño de tallos de Lirio según tallo.....	<b>50</b>
<b>Tabla N° 32.</b> Tamaño de tallo de lirio en tratamiento control de desarrollo .....	<b>50</b>
<b>Tabla N° 33.</b> Promedio de desarrollo de tallo de Lirio acuático según tratamiento. ....	<b>50</b>
<b>Tabla N° 34.</b> Promedio de tamaño hoja de Helecho según hoja .....	<b>51</b>
<b>Tabla N° 35.</b> Tamaño hoja de Helecho en tratamiento de control de desarrollo.....	<b>52</b>
<b>Tabla N° 36.</b> Promedio de tamaño de hoja de Helecho según tratamiento.....	<b>52</b>
<b>Tabla N° 37.</b> Promedio de tamaño de raíz de Helecho según tratamiento.....	<b>53</b>
<b>Tabla N° 38.</b> Concentración de plomo en el agua de la laguna Pajuscocha post exposición a los tratamientos de fitorremediación por 15 días .....	<b>54</b>
<b>Tabla N° 39.</b> Prueba de análisis de varianza .....	<b>55</b>
<b>Tabla N° 40.</b> Concentración final de plomo vs estándar de calidad del agua .....	<b>56</b>
<b>Tabla N° 41.</b> Estadísticos para una muestra .....	<b>56</b>
<b>Tabla N° 42.</b> ANOVA de un factor. Desarrollo de raíz de Lirio acuático.....	<b>58</b>
<b>Tabla N° 43.</b> Pruebas de los efectos inter-sujetos. Desarrollo de hoja de Lirio acuático.....	<b>58</b>
<b>Tabla N° 44.</b> Pruebas de los efectos inter-sujetos. Desarrollo de tallo de Lirio acuático.....	<b>59</b>
<b>Tabla N° 45.</b> ANOVA de un factor. Desarrollo de raíz de Helecho cristal.....	<b>60</b>
<b>Tabla N° 46.</b> Pruebas de los efectos inter-sujetos. Desarrollo de hoja de Helecho cristal .....	<b>60</b>

**Tabla N° 47.** Pruebas de los efectos inter-sujetos. Desarrollo de tallo de Helecho cristal ..... **61**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Metodología de investigación.....	19
Figura N° 02. Disposición de experimentos.....	20
Figura N° 03. Adición de la solución hidropónica A.....	21
Figura N° 04. Adición de la solución hidropónica B.....	21
Figura N° 05. Introducción de la especie <i>Polypodium polycarpon</i> .....	22
Figura N° 06. Normal de desarrollo de hoja de Lirio en tratamiento de rizofiltracion.....	28
Figura N° 07. Normal de desarrollo de hoja de Lirio en tratamiento control de desarrollo .....	28
Figura N° 08. Normal de desarrollo de hoja 1 de Lirio.....	29
Figura N° 09. Normal de desarrollo de hoja 2 de Lirio.....	29
Figura N° 10. Normal de desarrollo de hoja 3 de Lirio.....	29
Figura N° 11. Normal de desarrollo de hoja 4 de Lirio.....	29
Figura N° 12. Normal de desarrollo de raíz de Lirio en tratamiento de rizofiltracion .....	30
Figura N° 13. Normal de desarrollo de raíz de Lirio en tratamiento control de desarrollo.....	30
Figura N° 14. Normal de desarrollo de tallo de Lirio en tratamiento de rizofiltracion.....	31
Figura N° 15. Normal de desarrollo de tallo de Lirio en tratamiento control de desarrollo .....	31
Figura N° 16. Normal de desarrollo de tallo 1 de Lirio.....	31
Figura N° 17. Normal de desarrollo de tallo 2 de Lirio.....	31
Figura N° 18. Normal de desarrollo de tallo 3 de Lirio.....	32
Figura N° 19. Normal de desarrollo de tallo 4 de Lirio.....	32
Figura N° 20. Normal de desarrollo de hoja de helecho en tratamiento de bioacumulación....	32
Figura N° 21. Normal de desarrollo de hoja de helecho en tratamiento control de desarrollo.	32
Figura N° 22. Normal de desarrollo de hoja 1 de helecho.....	33
Figura N° 23. Normal de desarrollo de hoja 2 de helecho.....	33
Figura N° 24. Normal de desarrollo de hoja 3 de helecho.....	33
Figura N° 25. Normal de desarrollo de hoja 4 de helecho.....	33

<b>Figura N° 26.</b> Normal de desarrollo de raíz de helecho en tratamiento de bioacumulación.....	<b>34</b>
<b>Figura N° 27.</b> Normal de desarrollo de raíz de helecho en tratamiento control de desarrollo..	<b>34</b>
<b>Figura N° 28.</b> Normal de desarrollo de tallo de helecho en tratamiento de bioacumulación....	<b>35</b>
<b>Figura N° 29.</b> Normal de desarrollo de tallo de helecho en tratamiento control de desarrollo	<b>35</b>
<b>Figura N° 30.</b> Normal de desarrollo de tallo 1 de helecho.....	<b>36</b>
<b>Figura N° 31.</b> Normal de desarrollo de tallo 2 de helecho.....	<b>36</b>
<b>Figura N° 32.</b> Normal de desarrollo de tallo 3 de helecho.....	<b>36</b>
<b>Figura N° 33.</b> Normal de desarrollo de tallo 4 de helecho.....	<b>36</b>
<b>Figura N° 34.</b> <i>Eichornia crassipes</i> .....	<b>39</b>
<b>Figura N° 35.</b> <i>Polypodium polycarpon</i> .....	<b>40</b>
<b>Figura N° 36.</b> Comparación de la concentración de plomo inicial VS concentración de plomo final post tratamiento de fitorremediación con técnica de rizofiltración .....	<b>41</b>
<b>Figura N° 37.</b> Porcentaje de reducción de concentración de plomo .....	<b>42</b>
<b>Figura N° 38.</b> Comparación de la concentración de plomo inicial VS concentración de plomo final post tratamiento de fitorremediación con técnica de bioacumulación.....	<b>43</b>
<b>Figura N° 39.</b> Porcentaje de reducción de concentración de plomo .....	<b>44</b>
<b>Figura N° 40.</b> Comparación de la eficiencia de las técnicas de rizofiltración y bioacumulación.	<b>45</b>
<b>Figura N° 41.</b> Comparación del desarrollo de las hojas de Lirio acuático. ....	<b>47</b>
<b>Figura N° 42.</b> Diferencia del crecimiento de las hojas de Lirio acuático .....	<b>48</b>
<b>Figura N° 43.</b> Variación de desarrollo de raíz de Lirio acuático.....	<b>49</b>
<b>Figura N° 44.</b> Comparación del desarrollo de los tallos de Lirio acuático tratamiento experimental vs tratamiento control.....	<b>51</b>
<b>Figura N° 45.</b> Variación del desarrollo de las hojas de Helecho cristal .....	<b>52</b>
<b>Figura N° 46.</b> Variación de desarrollo de raíz de Helecho cristal .....	<b>53</b>
<b>Figura N° 47.</b> Distribución F .....	<b>55</b>
<b>Figura N° 48.</b> Distribución T-Student .....	<b>57</b>
<b>Figura N° 49.</b> Distribución F .....	<b>58</b>

**Figura N° 50. Distribución F ..... 60**

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal comparar la eficiencia de las técnicas de rizofiltración y bioacumulación empleadas para reducir la concentración de plomo presente en el agua de la laguna Pajuscocha ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huarí en Ancash; esta investigación se realizó a condiciones de laboratorio; para lo cual se trasladaron 275 litros de agua de esta laguna a la ciudad de Lima, se analizó una muestra, en la cual se determinó una concentración de plomo de 0.083 mg/L. Para el experimento se calculó, un tamaño muestral en base a estos 275 litros, que dio como resultado 160.51 litros, los que se distribuyeron equitativamente en 6 recipientes (3 repeticiones por técnica). Para la técnica de rizofiltración, se escogió la planta de nombre común Lirio acuático y para la técnica de bioacumulación al Helecho cristal. Las especies empleadas en la experimentación fueron proporcionadas por el centro de ventas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, un ejemplar de cada planta fue enviado al herbario del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en el cual se determinó la especie. Luego de 15 días de exposición al tratamiento de fitorremediación con estas dos técnicas se tomaron muestras a las tres repeticiones que fueron enviadas al laboratorio para determinar la concentración de plomo post tratamiento. El resultado de la concentración promedio de las tres repeticiones de la técnica de rizofiltración fue de 0.0136 mg/L., siendo la repetición N° 3 la que presentó la menor concentración de plomo al final del tratamiento; ésta fue de 0.012 mg/L., alcanzando el 85.54% de reducción de concentración de plomo que la hace superior a la técnica de bioacumulación la cual obtuvo una concentración de plomo promedio de las 3 repeticiones de 0.023 mg/L. en la que la repetición N° 3 presentó la menor concentración de plomo al concluir el tratamiento. Donde la máxima reducción de plomo fue del 74.70%.

Con el fin de determinar la variación en el desarrollo de las especies empleadas en estas técnicas de fitorremediación se asignó una repetición control por técnica, en la que se expuso, las especies *Eichornia crassipes* y *Polypodium polycarpon*, para que se desarrollen sin presencia de plomo en un ambiente hidropónico. La información se recolectó según los instrumentos del anexo N° 02, 03 y 04; la cual muestra un efecto de desaceleración del crecimiento de las plantas en las repeticiones con presencia de plomo frente al crecimiento de las plantas en las repeticiones control; sin embargo no presentan casos de necrosis; la diferencia de los tamaños entre las plantas de las repeticiones 1, 2 y 3 de las técnicas de rizofiltración y bioacumulación y las plantas de la repetición control de cada técnica en el día 15 es mayor que en el día 1.

Palabras clave: rizofiltración, bioacumulación, plomo

## ABSTRACT

This thesis has as main objective compare the efficiency of the techniques of rhizofiltration and bioaccumulation used to reduce the concentration of lead in the water of the lagoon Pajuscocha located in the district of San Marcos, Huari province in Ancash; this research was conducted under laboratory conditions, for which 275 liters of water from this lagoon moved to Lima. A sample was analyzed, in which a lead concentration of 0.083 mg / L was determined. For the experiment, was calculated a sample size based on these 275 liters, which resulted 160.51 liters. which were equally distributed in 6 containers (3 repetitions by technical). For rhizofiltration technique, was chosen the plant of common name, water lily and for bioaccumulation technique was chosen the glass fern. The species used in the experiment were provided by the sales center of the Universidad Nacional Agraria La Molina, a copy of each plant was sent to the herbarium of the Natural History Museum of the National University of San Marcos in which the species was determined. After 15 days of exposure to treatment with these two techniques phyto remediation the samples were taken at three repetitions they were sent to the laboratory to determine the concentration of lead, treatment post. The result of the average concentration in the three replicates of rhizofiltration technique was 0.0136 mg / L. still the repeat No. 3, which had the lowest lead concentration at the end of treatment; this was 0.012 mg / L., Reaching the 85.54% of reduction in lead concentration that makes it superior to bioaccumulation technique which obtained an average lead concentration of 3 repetitions of 0.023 mg / L., in which repetition No. 3 had the lowest lead concentration after of treatment ends. Where the maximum reduction of lead was 74.70%.

In order to determine the variation in the development of the species used in these techniques phyto remediation is assigned a control repetition for each technique, in which was exposed, the species *Eichhornia crassipes* and *Polypodium polycarpon*, to develop without the presence of lead in a hydroponic environment. The information was collected by the instruments of Annex No. 02, 03 and 04; which shows an effect of slowing the growth of plants in the repetitions in presence of lead against the growth of plants in the control repetitions, however, it does not represent cases of necrosis, the difference in sizes between the plants of the repetitions 1, 2 and 3 of the rhizofiltration techniques and bioaccumulation and the plants of the control repetition of each technique, in the day 15th is greater than the 1st day.

Keywords: rhizofiltration, bioaccumulation, lead.