UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis de grado:

"BIOENSAYOS ESTÁTICOS PARA DETERMINAR LA ACUMULACIÓN DE PLATA EN LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*)"

Realizado por:

ING. ADRIÁN SANTIAGO GALLARDO PAZMIÑO

Directora de la tesis:

ING. KATTY CORAL CARRILLO, MSc

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 13 de Febrero de 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, ADRIÁN SANTIAGO GALLARDO PAZMIÑO, con cédula de identidad # 171615515-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha sido consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Adrián Santiago Gallardo Pazmiño
CC: 171615515-3

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

"BIOENSAYOS ESTÁTICOS PARA DETERMINAR LA ACUMULACIÓN DE PLATA EN LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*)"

Realizado por:

ING. ADRIÁN SANTIAGO GALLARDO PAZMIÑO

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

ING. KATTY CORAL CARRILLO

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

SULY RODRÍGUEZ

CARLOS ORDOÑEZ

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado como

apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

Dra. Suly Rodríguez Dr. Carlos Ordoñez

Quito, 13 de Febrero de 2015

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi esposa, María Augusta, por ser siempre el apoyo para alcanzar mis metas.

A mis dos hijos, Doménica Elizabeth y Adrián Felipe, por ser la fuerza que me impulsa a luchar en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, Camilo Euclides y Ruth De Las Mercedes, por sus consejos y apoyo incondicional, durante toda la carrera de mis estudios de postgrado.

De manera especial a la Ing. Katty Coral, por su tutoría y directriz brindada en la elaboración del presente estudio de investigación.

Y finalmente a todos mis profesores, de la Universidad Internacional SEK, por su esfuerzo en formar profesionales íntegros.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS x
LISTA DE FIGURAS xii
LISTA DE ANEXOS xiii
I. INTRODUCCIÓN 17

1.1. El problema de investigación..... 17
1.1.1. Planteamiento del Problema..... 18
1.1.1.1. Diagnóstico del Problema..... 18
1.1.1.2. Pronóstico 18
1.1.1.3. Control de Pronóstico..... 18
1.1.2. Formulación del problema 19
1.1.3. Sistematización del problema..... 19
1.1.4. Objetivos generales..... 20
1.1.5. Objetivos específicos 20
1.1.6. Justificaciones..... 21
1.2. Marco Teórico..... 22
1.2.1. Estado actual del conocimiento sobre el tema..... 22
1.2.1.1. Metales pesados 23
1.2.1.2. Toxicidad de los metales pesados 24
1.2.1.3. Química del metal plata (Ag) 26
1.2.1.4. Efectos de metales pesados en el medio ambiente y seres humanos 27
1.2.1.5. Contaminantes del agua 28
1.2.1.6. Aguas residuales 28
1.2.1.6.1. Contaminación del agua por metales pesados..... 30
1.2.1.7. Fuentes de contaminación por metales pesados 31
1.2.1.7.1. Fuentes naturales..... 32
1.2.1.7.2. Fuentes antrópicas de metales pesados . 33

1.2.1.8. La biorremediación 33
1.2.1.8.1. Degradación enzimática 34
1.2.1.8.2. Remediación microbiana 34
1.2.1.8.3. Fitoremediación 35
1.2.1.9. Mecanismos de depuración de las macrófitas 36
1.2.1.9.1. Eliminación de sólidos en suspensión 36
1.2.1.9.2. Eliminación de materia orgánica 37
1.2.1.9.3. Eliminación de nitrógeno 38
1.2.1.9.4. Eliminación de fósforo 39
1.2.1.9.5. Eliminación de microorganismos patógenos 40
1.2.1.9.6. Eliminación de trazas de metales 40
1.2.1.10. Interacción de las macrófitas 41
1.2.1.11. Efecto depurador 42
1.2.1.12. Técnica instrumental 42
1.2.1.12.1. Principio 43
1.2.1.12.2. Fundamento 44
1.2.2. Adopción de una perspectiva teórica 44
1.2.3. Marco conceptual 45
1.2.3.1. Plantas como mecanismo correctivos para la contaminación por metales pesados 45
1.2.3.1.1. Fitoextracción o Fitoacumulación 46
1.2.3.1.2. La rizofiltración 46
1.2.3.2. El lirio acuático (*Eichhornia crassipes)* 47
1.2.4. Hipótesis 49
1.2.5. Identificación y caracterización de variables 49
II. MÉTODO 51
2.1. Nivel de estudio 51

2.2. Modalidad de investigación 51
2.2.1. Ubicación 51
2.2.2. Características climáticas de la zona 52
2.3. Método 52
2.3.1. Factores en estudio 52
2.3.2. Tratamientos 52
2.3.3. Análisis Estadístico 53
2.3.3.1. Diseño Experimental 53
2.3.3.2. Esquema del ADEVA 53
2.3.3.3. Pruebas de significación 54
2.4. Población y Muestra 54
2.4.1. Unidad Experimental 54
2.5. Selección instrumentos de investigación 55
2.5.1. Equipos 55
2.5.2. Materiales 55
2.5.3. Reactivos 55
2.6. Validez y confiabilidad de instrumentos 56
2.7. Operacionalización de variables 56
2.7.1. Concentración de Plata (Ag) en el agua 56
2.7.2. Porcentaje de remoción de Plata (Ag) en el agua 56
2.7.3. Índice de Bioacumulación 56
2.8. Procedimiento de datos 57
III. RESULTADOS 60
3.1. Levantamiento de datos 60
3.1.1. Concentración de Plata (Ag) en el agua 60
3.1.2. Porcentaje de remoción de Plata (Ag) 62
3.1.3. Índice de Bioacumulación de Plata (Ag) 69
3.2. Presentación y análisis de resultados 71

IV. DISCUSIÓN 76

4.1.Conclusiones 76
4.2.Recomendaciones 78

BIBLIOGRAFÍA 80
ANEXOS 85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura y humedad relativa promedio en la zona de El Quinche, Pichincha, 2014 52

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el estudio de bioensayos estático para determinar la acumulación de plata en lirio acuático, El Quinche, Pichincha, 2014..... 53

Tabla 3. Esquema de análisis de varianza en el estudio de bioensayos estático para determinar la acumulación de plata en lirio acuático, El Quinche, Pichincha, 2014 53

Tabla 4.- Concentración de plata pura para tratamientos, con dosis 1 y 2, a los 0, 24, 48 y 72 horas, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014..... 60

Tabla 5.- Porcentaje de remoción de plata pura para dosis 1 y 2, a las 24 horas, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014. 62

Tabla 6.- Porcentaje de remoción de plata pura para dosis 1 y 2, a las 48 horas, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 63

Tabla 7.- Porcentaje de remoción de plata pura para dosis 1 y 2, a las 72 horas, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 64

Tabla 8.- Análisis de varianza en el estudio de bioensayos estático para determinar la acumulación de plata en lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014..... 67

Tabla 9.- Prueba estadística de Tukey al 5%, para dosis (d) en ml de plata /L de agua, en el porcentaje de remoción de plata, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014..... 68

Tabla 10.- Prueba estadística de Tukey al 5%, para tiempos (t) en horas, en el porcentaje de remoción de plata, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014. 68

Tabla 11.- Prueba xistadística de Tukey al 5%, para la interacción dxt, en la remoción de plata, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 68

Tabla 12.- Índice de bioacumulación de plata a las 72 horas, para la dosis de 2 mL de STS/L de agua, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 69

Tabla 13.- Índice de bioacumulación de plata a las 72 horas, para la dosis de 12 mL de STS/L de agua, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)..... 47
Figura 2.- Características morfológicas del lirio acuático..... 48
Figura 3.- Concentración de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 1, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea,La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 61
Figura 4.- Concentración de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 2, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea,La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 61
Figura 5.- Porcentaje de remoción de plata pura a las 24 horas, para dosis, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 65
Figura 6.- Porcentaje de remoción de plata pura a las 48 horas, para dosis, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 65
Figura 7.- Porcentaje de remoción de plata pura a las 72 horas, para dosis, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 66
Figura 8.- Porcentaje de remoción de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 1, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 66
Figura 9.- Porcentaje de remoción de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 2, con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014 37
Figura 10.- Relación entre el porcentaje de remoción de plata y su concentración, a las 24, 48 y 72 horas; para las dosis 1 y 2 con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014..... 74

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Reporte Análisis de Plata / STS en Solución 84

Anexo 2. Reporte Análisis de Plata en Plantas de Lechuguín..... 87

Anexo 3. Reporte Análisis de Plata / liquido clarificado de precipitación (Ag) 88

Anexo 4. Cálculos matemáticos en el análisis estadístico de un diseño DCA 2x3 90

Anexo 5. Fotografía de la etiqueta del STS utilizado para la investigación 91

Anexo 6. Fotografía de la recolección del Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en el reservorio de la finca. 91

Anexo 7. Fotografía de la instalación del ensayo con de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en tanques 91

Anexo 8. Fotografía de la preparación de las soluciones de hidratación de cada tratamiento en estudio. 92

Anexo 9. Fotografía del sistema radicular del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)..... 92

Anexo 10. Fotografía de la toma de muestras de soluciones, de tratamientos..... 92

Anexo 11. Fotografía de la preparación de la muestra del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)..... 93

Anexo 12. Fotografía de equipos utilizados en laboratorio 93

Anexo 13. Fotografía de espectrómetro de Absorción Atómica utilizado en laboratorio y del certificado de calibración..... 93

Anexo 14. Fotografía de Photron para lectura de Plata, utilizado en laboratorio..... 94

Anexo 15. Fotografía de soluciones, estándar y 10 ppm de Plata 94

Anexo 16. Fotografía del aspecto de lirio acuático (Testigo) después de 72 horas..... 94

Anexo 17. Fotografía del aspecto de lirio acuático (dosis de 2 mL de STS / L de agua) después de 72 horas..... 95

Anexo 18. Fotografía del aspecto de lirio acuático (dosis de 12 mL de STS / L de agua) después de 72 horas..... 95

RESUMEN

En el presente estudio se ha analizado el contenido del metal plata en el agua, y en la biomasa del lirio acuático. Se evaluó la concentración, el porcentaje de remoción y el índice de bioacumulación de la plata. El porcentaje de remoción de plata, con el uso del lirio acuático, es mayor cuando la concentración del metal es baja en la solución de hidratación. El tiempo más eficiente en la acumulación de plata, con el uso del lirio acuático, es de 48 horas. El tratamiento que presentó la mayor eficiencia de remoción de plata (38,40%) con el lirio acuático fue la dosis baja a 2 mL de tiosulfato de plata (STS) por litro de agua, con un tiempo de 48 horas después de la preparación del ensayo. En la dosis alta a 12 mL de STS, se presenta una fitotoxicidad en el lirio acuático, no así en la dosis baja incluso 72 horas después de instalado el ensayo. El lirio acuático, tiene una mayor acumulación del metal plata a la dosis alta, con un promedio de 692,15 ppm de plata en materia seca, lo que demuestra el alto índice de bioacumulación que tiene el lirio acuático del metal plata, implementando la metodología de ésta investigación en una planta de fitoremediación. Los problemas de contaminación que existen actualmente en la Industria Florícola, requieren de tecnologías costo-efectivas, ambientalmente amigables y que puedan aplicarse a gran escala, tal es el caso de la fitorremediación.

PALABRAS CLAVES

Bioacumulación, *Eichhornia crassipes*, poscosecha.

ABSTRACT

In In the present study we analyzed the metal content of silver in the water, and biomass of water hyacinth. Concentration, the removal percentage and rate of bioaccumulation of silver was evaluated. The removal percentage of silver, using water hyacinth, is greater when the metal concentration is low in the hydration solution. The most efficient accumulation of silver, using the water hyacinth, time is 48 hours. The treatment showed the highest removal efficiency of silver (38.40%) with water hyacinth was the low dose to 2 mL of silver thiosulfate (STS) per liter of water, with a time of 48 hours after preparation assay. In the high dose to 12 mL of STS, phytotoxicity occurs in the water lily, but not in the low dose even 72 hours after installation of the test. The water hyacinth has a greater accumulation of silver metal at the high dose, with an average of 692.15 ppm of silver in dry matter, demonstrating the high level of bioaccumulation that has the silver metal water lily, implementing the methodology of this research phytoremediation plant. Pollution problems that currently exist in the Floriculture Industry, require cost-effective, environmentally friendly technologies that can be applied on a large scale, as in the case of phytoremediation.

KEYWORDS

Bioaccumulation, *Eichhornia crassipes*, postharvest.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. El problema de investigación

La contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que éstos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar muy contaminadas, ya que su potabilización resulta muy difícil y costosa.

Cook y Gut (1994), manifiestan que hace unos 250 años la humanidad existía en un número relativamente pequeño y con una tecnología bastante limitada, con lo cual, cualquier perturbación ambiental causada por personas era local y generalmente estaba dentro de la misma naturaleza para absorberla; no obstante el aumento de la población e industrialización han dado origen a la urbanización, lo cual contribuye a intensificar los problemas ambientales en función a la densidad de personas e industrias, además del crecimiento explosivo del uso de energía y la introducción de nuevos productos.

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLRMA

1.1.1.1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el proceso de producción de flores, en la poscosecha, se utilizan preservantes florales para alargar la vida en florero. Los tallos cosechados absorben dichas soluciones en un proceso llamado “hidratación”. Las soluciones de hidratación son preparadas todos los días ya que este proceso productivo es intensivo, es decir, se cosecha todos los días.

1.1.1.2. PRONÓSTICO

El STS (Tiosulfato de Plata) es un potente productor de daños ambientales por lo que en muchos países se ha prohibido su uso. La permanencia en el suelo y en las aguas subterráneas del catión plata derivado del STS por períodos prolongados de tiempo se convierte en un peligro inminente para los seres humanos.

1.1.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO

En Ecuador no se dispone de estudios que hayan documentado concentraciones de metal Plata en plantas acuáticas que estén siendo utilizadas como depuradoras de aguas residuales de origen doméstico e industrial, como es el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Por ello, esta investigación será de gran utilidad para conocer la actividad depuradora de éstos filtros verdes.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Verdugo (2003), indica que el tratamiento de post-cosecha se basa en preservar la flor una vez cortada para así prolongar su comercialización. La duración de las flores cortadas es una característica de calidad. En general los tallos florales duran entre cinco y catorce días dependiendo del cultivo y el manejo de post-cosecha.

En el Ecuador, para preservar las flores sensibles al etileno (gypsophila, limonium, aster, clavel, entre otras) se utiliza el tiosulfato de plata (STS) que retarda su degeneración e inhabilita la producción de etileno. El tratamiento de post-cosecha con STS resulta fundamental en la industria florícola si se toma en cuenta que alrededor del 80% de la producción de flores se destina para exportación a países lejanos como Rusia, Holanda, Alemania, y Estados Unidos.

En el Ecuador existen pocas alternativas para remover el STS, por lo que es necesario desarrollar tecnologías para tratar las aguas residuales provenientes del proceso de post-cosecha que permitan atenuar el problema ambiental.

1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, las plantas acuáticas son utilizadas en el biomonitoreo y fitoremediación de metales en aguas contaminadas, haciendo uso del sistema de macrófitas en flotación denominado filtro verde, el cual consiste en hacer flotar las plantas acuáticas.

Es imperante la búsqueda de nuevos sistemas de tratamiento de las aguas residuales de hidratación de la postcosecha a base de STS (Tiosulfato de Plata), ya que éste producto es muy utilizado por la industria florícola para mejorar su calidad alargando su vida útil en florero.

Adicionalmente es importante acoplar los tratamientos ya existentes de tratamiento de aguas residuales a base de STS, con el nuevo sistema que se desarrolle en este proyecto.

1.1.4. OBJETIVO GENERAL

- Bioacumular en el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), el metal plata, presente en el agua residual proveniente del tratamiento en post-cosecha.

1.1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cuál de las dos dosis de STS (Tiosulfato de plata), se debe utilizar para acumular la Plata en lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

- Determinar cuál de los tres tiempos después de la preparación del ensayo, se debe utilizar para acumular la Plata en lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

- Determinar cuál es el tratamiento más eficiente en la remoción de plata, utilizando el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

1.1.6. JUSTIFICACIONES

La producción de etileno no beneficia a los productores de ornamentales, por lo tanto, los compuestos que inhiben su producción representan un beneficio económico para la industria florícola. En la actualidad la utilización de estos compuestos sobrepasa las normas ambientales y la necesidad de buscar innovaciones tecnológicas que coadyuven el bienestar de los seres humanos conjugado con el desarrollo mercantil, se convierten en la pauta para el desarrollo de nuevas investigaciones.

En la Actualidad, el compuesto más efectivo y utilizado es el tiosulfato de plata (STS); el cual duplica la duración de los claveles, inhibiendo casi por completo la síntesis autocatalítica del etileno, debido a que bloquea la unión del etileno con su receptor.

La mayor parte de plata contenida en el tiosulfato de plata es transportada con las aguas residuales que al verterse en suelos puede fácilmente llegar a las aguas subterráneas por la nula afinidad de adsorción que presentan los óxidos metálicos o materia orgánica (principales componentes del suelo), por lo cual el STS es un quelato altamente móvil.

De acuerdo con Deysson (1996), dentro de éstas sustancias consideradas altamente tóxicas, los metales pesados se encuentran entre los contaminantes elementales más perjudiciales, por lo que su determinación es de particular interés por su toxicidad y bioacumulación en los seres humanos.

García y Ruíz (1997), sostienen que los metales pesados debido a su naturaleza no biodegradable y persistente, son acumulados en los órganos vitales del cuerpo como riñones, huesos e hígado; los cuales se asocian a numerosos y graves trastornos de la salud humana.

El presente proyecto propone buscar un tratamiento alternativo para el metal plata, que se encuentra en un producto de hidratación, conocido comercialmente como Ever Flor STS. Dicho producto es utilizado en la sala de poscosecha de la industria florícola, el cual, en mucho de los casos, es eliminado a las fuentes de agua, sin ningún tratamiento previo.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.3. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

De acuerdo a Irigoyen G. (2001) y Terán, G. (2002); la cuales son dos investigaciones de Tesis de Grado, de la Facultad de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Internacional SEK, donde se evaluó la bioacumulación de Bario, Cromo, Niquel y Zinc (Irigoyen, 2001); y, la bioacumulación de Vanadio (Terán, 2002), en las especies, Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y Lechuguin (*Pistia Stratiotes*); las dos investigaciones concluyen que la especie con mejores valores de bioacumulación de los metales pesados, fue el lirio acuático.

De igual manera en las dos investigaciones mencionadas se concluye que el pH inicial de la solución (agua contaminada con el metal pesado), ya se éste ácido (de 4,0 a 4,5) o neutro (7,0) es irrelevante en el proceso de bioacumulación por parte del lirio acuático.

En éstas dos investigaciones de Tesis de Grado se concluye que la bioacumulación depende de las características del metal en su radio iónico (tamaño del ión), el cual determina su adsorción, lo cual nos indica la importancia del presente proyecto, en determinar la absorción del metal Plata en el lirio acuático. Sin embargo en las mencionadas investigaciones se observa que los mayores valores de remoción de los metales en estudio, se inician a las 24 horas transcurridas desde la colocación de la especie acuática en el agua contaminada con el metal pesado.

1.2.1.1 Metales pesados

Según García y Dorronsoro (2001), un metal pesado es aquel elemento con densidad igual o superior a 5 g/cm3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su concentración promedio en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos denominados metaloides y no metales que suelen englobarse con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados. Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- **Oligoelementos o Micronutrientes**

García y Dorronsoro (2001) sostienen que los oligoelementos son requeridos por las plantas y animales en pequeñas cantidades trazas, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital; y que pasando cierto umbral son tóxicos. Dentro de este grupo se encuentra: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn.

- **Metales pesados sin función biológica conocida**

Nedelkoska (2000), indica que la presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva a disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, son principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Sb, Bi, Ag.

1.2.1.2. Toxicidad de los metales pesados

Navarro (2007), menciona que la toxicidad de los metales pesados depende, de la concentración, la forma química y la persistencia; entendiéndose como persistencia el tiempo que tarda un contaminante en transformarse en una forma no tóxica; es así que un elemento indispensable para un ser vivo en concentraciones traza puede llegar a ser tóxico en concentraciones elevadas. Por otra parte, la mayoría de metales pesados se combinan con otras formas químicas, antes de entrar en los organismos o cuando se encuentran en el interior de los mismos; por ello es importante determinar la forma química en la que se encuentran.

Navarro (2007), indica que los metales pesados están considerados como muy peligrosos para los seres vivos, pues poseen una gran toxicidad, debido a su tendencia a la bioacumulación, la cual es el aumento de la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, de forma que llega a ser superior a la del mismo producto en el ambiente. La toxicidad es causada por la imposibilidad del organismo para

mantener los niveles necesarios de excreción. El proceso se agrava durante el paso por las distintas cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes. A este proceso se le denomina biomagnificación; es decir, muchas toxinas que están diluidas en un medio, pueden alcanzar concentraciones dañinas dentro de las células, a través de la cadena trófica.

Valdueña (2001), sostiene que los metales pesados son de toxicidad extrema porque como iones o en ciertos compuestos, son solubles en agua y el organismo los absorbe con gran facilidad. Dentro del cuerpo, tienden a combinarse con las enzimas y a inhibir su funcionamiento.

Según Orozco (2003), el contenido excesivo de los metales pesados en los alimentos se asocia con la etiología de un número de enfermedades, sobre todo con enfermedades cardiovasculares, renales, nerviosas así como enfermedades de los huesos.

De acuerdo a Cheikin (2007), una importante fuente de confusión sobre la toxicidad de los metales pesados, es que algunas personas son más afectadas que otros. Las toxinas se estudian una a una, y por lo tanto los efectos de cientos son prácticamente inconmensurables, y varían de persona a persona. Cuando las grandes poblaciones se estudian, los efectos tóxicos en algunas personas se pueden desestimar gracias a la salud relativa de la mayoría.

Valdueña (2001), menciona que un grave envenenamiento se presenta por la ingestión de cantidades cercanas a 100 mg de trióxido de arsénico; al cual tiene propiedades carcinogénicas. Por otra parte el cadmio es extremadamente tóxico y acumulable en los riñones e hígado, lo que conlleva a disfunciones renales. Por su parte los compuestos hexavalentes de cromo han demostrado ser carcinogénicos por inhalación y corrosivos para los tejidos.

Valdueña (2001), sostiene que el plomo es considerado como altamente tóxico por ingestión y un veneno acumulativo que hace el retraso mental debido al saturnismo provocado por el plomo.

De acuerdo con Valdueña (2001), el envenenamiento por mercurio provoca severos daños neurológicos, locura y defectos congénitos incapacitantes, por lo que es considerado como un contaminante altamente tóxico. En cuanto a la plata, ésta puede causar Argyria, una coloración azul-verdosa de la piel que imparte una apariencia fantasmal.

1.2.1.3. Química del metal plata (Ag)

Según Eaton (2005), el metal plata es el segundo elemento del grupo IB de la tabla periódica; con numero atómico 47; con peso atómico de 107.87 g/mol, y valencias de 1 y 2. Su abundancia promedio en la corteza terrestre es 0.08 ppm; en suelos <0.01 a 0.5 ppm y en ríos de 0.3 μg/L. Se produce naturalmente y en combinación con elementos no metálicos tales como la argentita (Ag2S) y los minerales de plomo y cobre pueden también ofrecer considerable presencia de ésta. La plata es ampliamente empleada en fotografía, cubiertas

de plata, joyería, espejos y baterías. El yoduro de plata ha sido utilizado en el sembrado de nubes, y el óxido de plata hasta cierto punto es usado como un desinfectante para el agua. En solución ácida la plata (Ag+) predomina, y en aguas con alta cantidad de cloruros puede formar una serie de complejos. La plata no es esencial para plantas y animales.

1.2.1.4. Efectos de los metales pesados en el medio ambiente y seres humanos

Según Campos (1987), desde el punto de vista biológico, los metales pesados están recibiendo gran atención debido a su toxicidad, que se basa en que éstos influyen de diversas formas en los procesos fisiológicos de los organismos. Los metales más peligrosos para toda forma de vida son el mercurio, el cadmio y el plomo.

Valdueña (2001), manifiesta que los metales pesados que se obtienen de una actividad industrial, contaminan las aguas y el suelo; posteriormente pasa a los vegetales y animales; y, siguiendo la cadena alimenticia contaminan finalmente a los humanos.

De acuerdo con Cheikin (2007), los sitios más vulnerables del cuerpo humano en la intoxicación por metales pesados son: los nervios, las hormonas y la producción de energía. Debido a los efectos de una toxicidad, se manifiesta la causa primaria de enfermedades, tales como el autismo, retrasos del desarrollo, la esclerosis múltiple, fatiga crónica, neuropatía, la demencia, entre otros; y pueden agravar condiciones de co-existencia, tales como alergias, insomnio, depresión y cáncer. Así mismo los síntomas pueden variar debido a otros factores tales como el estrés, cambios hormonales, la dieta, la exposición a otras sustancias tóxicas y otras enfermedades.

1.2.1.5. Contaminantes del agua

De acuerdo a Orozco (2003), la clasificación de los contaminantes debido a su naturaleza físico-química es:

- **Agente físico:** Calor

- **Compuestos químicos inorgánicos:** Sales aniones y cationes; ácidos y bases; elementos tóxicos: metales, y no metales; elementos radiactivos; gases, especies minerales no disueltas.

- **Compuestos químicos orgánicos:** Hidratos de carbono, aminoácidos, proteínas, aceites y grasas, hidrocarburos, jabones y detergentes, pesticidas, entre otros compuestos.

- **Bionutrientes:** Compuestos nitrogenados y compuestos fosforados.

- **Microorganismos:** Bacterias, virus, hongos y algas.

1.2.1.6. Aguas residuales

Fraume (2007), manifiesta que las aguas residuales son líquidos procedentes de usos domésticos, comerciales o industriales que son conducidos a través del alcantarillado que

llevan sustancias orgánicas e inorgánicas, disueltas o en suspensión, algunas de ellas tóxicas y su depuración constituyen el gran reto ambiental de los últimos años por el impacto negativo a los ecosistemas, y en especial a la hidrósfera.

De acuerdo con Gil (1999), menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades en Latinoamérica reciben tratamiento, es así que las aguas negras son vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo para la salud humana, la ecología y los animales. El creciente desarrollo de la sociedad hace aumentar continuamente la cantidad y tipos de fuentes de contaminación ambiental. Numerosos efluentes industriales con metales, plaguicidas y otros productos químicos utilizados en la agricultura arrastrada por las lluvias, contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas.

Según Ramos (2003), la calidad de las aguas residuales está dada por su caracterización en sus parámetros físicos, químicos y biológicos, así como en su flujo. Dentro de estos parámetros hay algunos de valor indicativo en la selección del tratamiento adecuado para la purificación del agua.

Ramos (2003), manifiesta que las características de las aguas residuales de una comunidad tienen grandes variaciones que dependen de factores como el consumo de agua potable, el tipo de sistema de alcantarillado, la existencia de sistemas individuales de disposición de excretas y la presencia de desechos industriales.

1.2.1.6.1. Contaminación del agua por metales pesados

Campos (1987), sostiene que los metales pesados son una de las formas de contaminación más peligrosas del ambiente. Esto significa que no presentan ningún tipo posible de degradación química o biológica, además pueden ser bioacumulados de diversas formas (orgánicas e inorgánicas) y permanecer en los organismos por largos periodos.

Según Campos (1987), los metales como el Cu, Pb, Hg, etc., se caracterizan por su alta conductividad eléctrica, y a medida que se desplazan hacia los metales preciosos (Au, Hg y Ag) sus óxidos metálicos se hacen más estables que los hidróxidos correspondientes; además forman complejos con diferentes iones y moléculas. Su toxicidad es debido a su alta afinidad con los grupos amino y sufidril. Al reaccionar dichos metales con estos grupos, se forman complejos metálicos y las enzimas pierden toda su efectividad para controlar las reacciones metabólicas.

De acuerdo con Feria (2010), los metales pesados existen en el ambiente como resultado de procesos naturales y como contaminantes derivados de las actividades humanas; son estables y persistentes en ambientes acuáticos. La importancia de metales como el Zn, Fe, Cu, y Mn es que son esenciales para el metabolismo de organismos, el problema con ellos es la estrecha frontera entre la necesidad y la toxicidad. Otros metales pesados como el Cd, Hg, Cr y Pb pueden tener un nivel similar de toxicidad, incluso en bajas concentraciones bajo condiciones dadas; por lo que ellos requieren supervisión en sistemas de tratamiento de aguas.

García y Dorronsoro (2001), mencionan que con el desarrollo acelerado del proceso de industrialización se ha producido paralelamente una descarga de contaminantes en el medio acuático. A raíz de ese aumento, se han organizado congresos con el fin de reglamentar la descarga en el medio acuático de todo tipo de sustancia, que pueden repercutir negativamente sobre los organismos y el hombre mismo.

García y Dorronsoro (2001), indican que entre 1974 y 1975 se creó un convenio entre países europeos para prevenir y proteger el Océano Atlántico y el Mar del Norte de la contaminación, y de éste se dio a conocer las sustancias que deben ser descargadas bajo restricción. La llamada "lista negra" comprende sustancias que por su persistencia, toxicidad o facilidad de bioacumulación son tan peligrosas que no deben ser introducidas en ningún sistema (Hg, Cd). Una segunda lista es la "lista gris" que incluye sustancias que pueden ser descargadas en el medio acuático, pero con extremas medidas de seguridad(As, Cr, Cu, Pb, Ni Y Zn).

Gil (1999), indica que como existe una gran variedad de procesos industriales que se generan en este tipo de contaminación, el control de la presencia de metales pesados en agua es difícil; ya que en la industria, no se hace tratamiento a sus desechos líquidos, por falta de tecnología de "limpieza" adecuadas, de fácil acceso y bajo costo.

1.2.1.7. Fuentes de contaminación por metales pesados

Según Vázquez (2001), los metales pesados son probablemente los tóxicos más antiguos conocidos por el hombre. Se distribuyen de forma natural en el ambiente debido a los ciclos

biológicos y geológicos; así, la lluvia disuelve las rocas y los minerales son transportados a los arroyos, ríos y océanos, donde precipitan formando sedimentos, o bien regresan de nuevo a la tierra con el agua de lluvia.

Vázquez (2001), sostiene que los ciclos biológicos de los metales incluyen su bioacumulación en animales y plantas; y, la incorporación a los alimentos. También debido a la actividad industrial, se disminuye el tiempo de permanencia de los metales en los minerales, pudiendo formar nuevos compuestos, y variar la distribución mundial de estos metales; es así que las fuentes de estos elementos se pueden clasificar en:

1.2.1.7.1. Fuentes naturales

Bautista (1999), indica que las fuentes naturales a su vez se clasifican según su origen ya sean producto del meteorismo o por emisiones volcánicas. Los metales pesados se encuentran en los minerales primarios (constituyentes de las rocas) y coprecipitados con los minerales secundarios (cristalización de productos del intemperismo).

Según Bautista (1999), conociendo el tipo de roca y los minerales que la conforman pueden deducirse los metales pesados que pudieran encontrarse en la misma. Por ejemplo en las rocas sedimentarias hay mayores probabilidades de encontrar As, Hg y Se, que en las ígneas; en el granito es más posible encontrar Pb y Tl que en el Basalto.

1.2.1.7.2. Fuentes antrópicas de metales pesados

Bautista (1999), manifiesta que las fuentes antrópicas las podemos clasificar en puntuales (fijas) y no puntuales (móviles) dependiendo de su procedencia. Dentro de las primeras tenemos las industrias, las carreteras y otras, en las que aún cuando no son las fuentes de los metales pesados, es allí donde se expiden de manera fija y continua. Dentro de las segundas tenemos los lodos residuales, fertilizantes, las cenizas y humos (transportados a través de vientos de manera esporádica), los pesticidas, los riegos, etc.

1.2.1.8. La biorremediación

De acuerdo con Zayed (1998), la biodegradación es el proceso natural por el cual los microorganismos degradan o alteran moléculas orgánicas transformándolas en moléculas más pequeñas y no tóxicas. Sin embargo, este proceso es muy lento y puede acelerarse introduciendo determinadas bacterias o plantas en los ambientes contaminados. Esta intervención se denomina “biorremediación” o “biocorrección” y se define como el empleo de organismos vivos para eliminar o neutralizar contaminantes del suelo o del agua.

Zayed (1998), manifiesta que en los procesos de biorremediación generalmente se emplean mezclas de microorganismos, aunque algunos se basan en la introducción de cepas definidas de bacterias u hongos. Actualmente se están desarrollando microorganismos, algas (especialmente cianobacterias o algas azules) y plantas genéticamente modificadas para ser empleadas en biorremediación.

Para Zayed (1998), los procesos de biorremediación pueden ser de tres tipos:

1.2.1.8.1. Degradación enzimática

Según Zayed (1998), consiste en el empleo de enzimas en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas. Dichas enzimas son previamente producidas en bacterias transformadas genéticamente. Esta aplicación de la biotecnología lleva décadas en el mercado y hoy las compañías biotecnológicas ofrecen las enzimas y los microorganismos genéticamente modificados para tal fin.

1.2.1.8.2. Remediación microbiana

Zayed (1998), sostiene que la remediación microbiana se refiere al uso de microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Estos microorganismos pueden ya existir en este lugar o pueden provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso deben ser inoculados en el sitio contaminado (proceso de inoculación). Cuando no es necesaria la inoculación de microorganismos, suelen administrarse más nutrientes con el fin de acelerar el proceso.

De acuerdo con Zayed (1998), hay bacterias y hongos que pueden degradar con relativa facilidad petróleo y sus derivados, benceno, tolueno, acetona, pesticidas, herbicidas, éteres, alcoholes simples, entre otros. También pueden degradar, aunque parcialmente, otros compuestos químicos como el PCB, arsénico, selenio, o cromo. Los metales pesados como uranio, cadmio y mercurio no son biodegradables, pero las bacterias pueden concentrarlos

para que sean eliminados más fácilmente. Estas características también pueden lograrse por ingeniería genética.

1.2.1.8.3. Fitoremediación

Según Zayed (1998), la fitoremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos, etc. Las ventajas que ofrece la fitoremediación frente a los procesos descritos anteriormente son el bajo costo y la rapidez con que pueden llevarse a cabo ciertos procesos degradativos.

Zayed (1998), indica que según la planta y el agente contaminante, la fitoremediación puede producirse por:

• Acumulación del contaminante en las partes aéreas de la planta (Ej. Metales pesados de la atmósfera).
• Absorción, precipitación y concentración del contaminante en raíces (Ej. Metales pesados, isótopos radioactivos).
• Reducción de la movilidad del contaminante para impedir la contaminación de aguas subterráneas o del aire (Ej. Lagunas de desecho de yacimientos mineros).
• Desarrollo de bacterias y hongos que crecen en las raíces y degradan contaminantes (Ej. Hidrocarburos del petróleo, benceno, etc.).

• Captación y modificación del contaminante para luego liberarlo a la atmósfera con la transpiración (Ej. Mercurio, selenio y metales clorados).

• Captación y degradación del contaminante para originar compuestos menos tóxicos (Ej. Pesticidas, herbicidas, etc.).

1.2.1.9. Mecanismos de depuración de las macrófitas

García y Ruíz (1997), sostienen que los principales mecanismos de depuración en los que participan las macrófitas y que actúan sobre las aguas residuales industriales son los siguientes:

• Eliminación de sólidos en suspensión

• Eliminación de materia orgánica

• Eliminación de nitrógeno

• Eliminación de fósforo

• Eliminación de patógenos

• Eliminación de trazas de metales

1.2.1.9.1 Eliminación de sólidos en suspensión

García y Ruíz (1997), indican que los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y del conjunto que forma el sustrato del humedal con el tejido de las raíces y rizomas.

Por otro lado Olguín y Hernández (2002), mencionan que los sólidos suspendidos del agua se eliminan por sedimentación, potenciada por las reducidas velocidades de circulación, por la escasa profundidad y por filtración a través de las formas vivas y de los desechos vegetales.

1.2.1.9.2. Eliminación de materia orgánica

Según García y Ruíz (1997), la eliminación de la materia orgánica del agua es realizada por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aireación muy especializado; es así que una parte de la aireación del agua también se realiza por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación.

Olguín y Hernández (2002), mencionan que la materia orgánica degradable presente en el agua, ya sea soluble o insoluble, se elimina por degradación microbiana. Los microbios de la degradación suelen estar en películas que se desarrollan sobre la superficie de las partículas del suelo, vegetación y desechos vegetales. Estos sistemas se diseñan y explotan de modo que resulte posible mantener condiciones aeróbicas, permitiendo que la degradación de la materia orgánica se realice, principalmente, por la acción de microorganismos aeróbicos, ya que la descomposición aeróbica tiende a ser más rápida y completa que la anaerobia.

1.2.1.9.3. Eliminación de nitrógeno

García y Ruíz (1997), indican que el nitrógeno se elimina por absorción directa de la planta y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación, desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias.

De acuerdo a Olguín y Hernández (2002), el nitrógeno es un elemento esencial puesto que forma parte de las proteínas. Las fuentes de nitrógeno en un estanque incluyen principalmente nitrógeno atmosférico (N_2) y productos de descomposición provenientes de materias orgánicas presentes en el estanque. Los mecanismos implicados en la eliminación de nitrógeno del agua dependen de la forma en que está presente el nitrógeno, que puede ser:

• Nitrógeno orgánico
• Nitrógeno amoniacal (NH_3 amoniaco libre o no ionizado y
NH4 amonio ionizado)
• Nitrógeno en forma de nitratos (Nitrito NO_2 y Nitrato NO_3)

Nitrógeno orgánico. Olguín y Hernández (2002), manifiestan que el nitrógeno orgánico asociado a los sólidos suspendidos, se eliminan por sedimentación y filtración. El nitrógeno orgánico en fase sólida se puede incorporar directamente al humus del suelo. Parte del nitrógeno orgánico se hidroliza para formar aminoácidos que se pueden descomponer para producir iones amonio (NH_4).

Nitrógeno amoniacal.- Según Olguín y Hernández (2002), el amoniaco soluble se puede eliminar por volatilización directa a la atmósfera en forma de amoniaco gas. Sin embargo, la mayor parte del amoniaco afluente y del amoniaco convertido se absorbe temporalmente, mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del suelo y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga. El amoniaco absorbido es apto para el consumo por la vegetación y los microorganismos, o para la conversión a nitrógeno en forma de nitrato mediante la nitrificación biológica bajo condiciones aeróbicas.

Nitrógeno en forma de nitrato.- Olguín y Hernández (2002), mencionan que el nitrato no sufre reacciones de intercambio iónico debido a su carga negativa, permanece en disolución, y es transportado como parte del agua percolada. Si no se elimina por consumo de las plantas o por procesos de desnitrificación, el nitrato es lixiviado o percolado alcanzando las aguas subterráneas subyacentes. La vegetación puede asimilar los nitratos, pero ello solo se produce en las proximidades de las raíces durante los periodos de crecimiento activo, la que posteriormente se debería recoger y retirar del sistema. Los nitratos son fácilmente asimilados para nuevos tejidos por las plantas, o se convierte en nitrógeno elemental por la bacteria de desnitrificación.

1.2.1.9.4. Eliminación de fósforo

García y Ruíz (1997), indican que el fósforo se elimina por absorción en el tejido de raíces y rizomas, adsorción sobre las partículas de arcilla y precipitación de fosfatos insolubles, principalmente con hierro y aluminio, en suelos ácidos y con calcio en suelos básicos.

Olguín y Hernández (2002), manifiestan que los principales procesos de eliminación de fósforo que se producen en los sistemas acuáticos son por adsorción, precipitación química y por el consumo de las plantas.

De acuerdo a Olguín y Hernández (2002), el fósforo, normalmente presente en forma de ortofosfato, es absorbido por minerales arcillosos y determinadas fracciones orgánicas de la matriz del suelo. La precipitación química con calcio (a valores de pH neutros o alcalinos) o con hierro o aluminio (a valores de pH ácidos), se produce a menor velocidad que los fenómenos de adsorción. Así estos sistemas acuáticos, presentan un potencial de eliminación de fósforo limitado.

1.2.1.9.5. Eliminación de microorganismos patógenos

García y Ruíz (1997), sostienen que la eliminación de microorganismos patógenos, se realiza por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en los rayos solares.

1.2.1.9.6. Eliminación de trazas de metales

García y Ruíz (1997), mencionan que las trazas de metales tienen una alta afinidad por adsorción con materia orgánica y pueden ser acumulados en los humedales. También existen transformaciones microbianas y asimilación por la planta mediante la raíz, la cual

atrapa y fija entre sus tejidos concentraciones de metal de hasta de 100 mil veces superiores a las del agua que las rodea.

De acuerdo con Olguín y Hernández (2002), la eliminación de los elementos traza (principalmente metales) se produce, por el mecanismo de adsorción (término que engloba reacciones de adsorción y precipitación) y, en menor grado, mediante la asimilación de algunos metales por parte de las plantas. Normalmente los metales son retenidos en el suelo o en los sedimentos de los sistemas acuáticos.

1.2.1.10. Interacción de las macrófitas

De acuerdo a Olguín y Hernández (2002), en el medio ambiente natural, cuando interaccionan el agua, el suelo, las plantas, microorganismos y la atmósfera, se producen procesos físicos, químicos y biológicos. Los procesos que intervienen en los sistemas de tratamiento natural incluyen muchos de los utilizados en las plantas de tratamiento; tales como: sedimentación, filtración, transferencias de gases, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, conversión y descomposición biológica; y, procesos propios como la fotosíntesis, la foto-oxidación, y la asimilación de las plantas.

Olguín y Hernández (2002), manifiestan que a diferencia de los sistemas mecánicos en los que los procesos se llevan a cabo de forma secuencial en diferentes tanques y reactores a velocidades aceleradas como consecuencia del aporte energético, en estos sistemas los procesos se producen a velocidades "naturales" y tienden a realizarse de forma simultánea en un único "ecosistema".

Según Olguín y Hernández (2002), el sistema de macrófitas es un filtro vivo, es un sistema de tratamiento de aguas a bajo costo, hecho por el hombre de tal forma de emular y maximizar los procesos naturales de purificación conocidos y que se producen en estos sistemas. Los sistemas de las plantas acuáticas bombean oxígeno desde el aire (atmósfera) hacia las raíces para así poder sobrevivir dentro de su hábitat.

1.2.1.11. Efecto depurador

García y Ruíz (1997), mencionan que se ha demostrado que el uso de las plantas macrófitas pueden producir buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de aguas residuales, siendo significativas las remociones en carga de nitrógeno entre 7 y 38 kg. De NTK/Ha.d (nitrógeno total por método Kiehjdal por hectárea y día) y cargas de fósforo entre 0,9 y 13 kg. De Pt/Ha.d, (fósforo total por hectárea y día) observándose que el tamaño de la planta, así como su sistema radicular, influyen en la remoción de contaminantes. Las plantas utilizadas presentan velocidades de crecimiento entre 123 y 487 g/m2.d (gramo metro cuadrado por día) (peso húmedo), con un contenido de proteínas entre 25 y 30% (base seca).

1.2.1.12. Técnica instrumental

De acuerdo con Skoog (2001), la técnica instrumental más empleada para la determinación de concentración de plata, es la de espectroscopia de absorción atómica, que es la más

ampliamente utilizada en el último medio siglo para la determinación de elementos metálicos en muestras analíticas.

Skoog (2001), indica que ésta técnica permite aproximadamente la determinación de unos 70 elementos, en cantidades tan bajas como 10-14 g con razonable selectividad, pequeña manipulación y mínimo tamaño de muestra, además de la relativa facilidad y rapidez para utilizar el espectrofotómetro de absorción atómica.

1.2.1.12.1. Principio

Según Hernández (2002), las técnicas espectroscópicas atómicas consisten en transformar la muestra en átomos en estado vapor y medir la radiación electromagnética absorbida o emitida por dichos átomos, entendiéndose como absorción atómica al proceso que ocurre cuando átomos en estado fundamental absorben energía radiante a una longitud de onda específica.

Hernández (2002), sostiene que la cantidad de radiación absorbida aumenta, cuando aumenta el número de átomos del elemento en el camino óptico, utilizándose esto con fines analíticos cuantitativos; es así que en la práctica las muestras se vaporizan y se convierten en átomos libres, proceso denominado atomización. Sobre el vapor atómico originado se hace incidir la radiación electromagnética que será absorbida por el analito. Para la obtención del vapor atómico se puede utilizar fuentes, como una llama, energía eléctrica o un plasma.

1.2.1.12.2. Fundamento

Razmilic (1994), indica que el átomo consiste de un núcleo y de un número determinado de electrones que llenan ciertos niveles cuánticos. La configuración electrónica más estable de un átomo corresponde a la de menor contenido energético conocido como "estado fundamental". Si un átomo que se encuentra en un estado fundamental absorbe una determinada energía, éste experimenta una transición hacia un estado de mayor energía. Como este estado es inestable, el átomo regresa a su configuración inicial, emitiendo una radiación de una determinada frecuencia. La frecuencia de la energía radiante emitida corresponde a la diferencia de energía entre el estado excitado (E1) y el estado fundamental (Eo).

Según Razmilic (1994), un átomo podrá absorber solamente radiación de una longitud de onda específica. En absorción atómica interesa medir la absorción de esta radiación de resonancia al hacerla pasar a través de una población de átomos libres en estado fundamental.

1.2.2. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA

Para descontaminar el agua residual de la poscosecha, que contiene tiosulfafo de plata, se utilizará la rizofiltración, la cual es una técnica de fitorremediación para descontaminar aguas contaminados con metales pesados, en donde el elemento contaminante se absorbe, forma complejos e interacciona con las raíces, de modo que se acumula en las raíces ya sea externa o internamente.

La rizofiltración sirve para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Esta tecnología no trabaja bien con suelo, porque el contaminante necesita estar en solución para ingresar al sistema de la planta. La cosecha y procesamiento de las raíces permite eliminar el contaminante del agua.

Este sistema puede ser usado in situ ó ex situ. En el sistema Ex situ puede estar en cualquier lugar porque el tratamiento no tiene que estar en el mismo sitio original de la contaminación.

Es necesario un sistema bien diseñado para el control del efluente, concentración y caudal. Las plantas pueden tener que ser cultivadas en un invernadero o vivero para ser colocadas en el sistema de rizofiltración.

1.2.3. MARCO CONCEPTUAL

1.2.3.1. Plantas como mecanismos correctivos para la contaminación por metales pesados

Olguín (2002), indica que en lugares contaminados con metales, se usan plantas para estabilizar o retirar los metales del suelo y de las aguas subterráneas por medio de dos mecanismos: fitoextracción y rizofiltración.

1.2.3.1.1. **Fitoextracción** o **Fitoacumulación**

De acuerdo a Olguín (2002), la fitoextracción consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. El primer paso para la aplicación de esta técnica es la selección de las especies de planta más adecuada para los metales a eliminar y las características del emplazamiento.

Para Olguín (2002), una vez completado el crecimiento vegetativo de la planta, el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración, procediéndose al traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. También se pueden transformar las plantas en abono vegetal para reciclar los metales. El proceso se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados aceptables.

Olguín (2002), menciona que la utilidad del método reside en que las cenizas apenas ocuparán el 10% del volumen que ocuparían los desechos en el caso de que el suelo fuese excavado para tratarlo.

1.2.3.1.2. La rizofiltración

Según Olguín (2002), es una técnica, que está aún en proceso de investigación, para descontaminar agua con presencia de metales. Aunque la rizofiltración es una técnica parecida a la fitoextracción, en esta las plantas que se utilizan para descontaminar se cultivan en invernaderos con las raíces sumergidas en agua, en vez de en tierra.

Olguín (2002), indica que cuando el sistema radicular de la planta está bien desarrollado se recoge el agua contaminada del emplazamiento a restaurar, se transporta hasta el lugar de crecimiento de las plantas y se colocan las plantas en esa agua. Las raíces van a absorber los contaminantes del agua. A medida que las raíces se van saturando en agua se van cortando y eliminando.

Olguín (2002), manifiesta que además de extraer metales del agua esta técnica puede ser utilizada para eliminar residuos industriales, escorrentía de tierras agrícolas, drenaje de minas de ácidos y contaminantes radiactivos.

1.2.3.2. El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

Nombre común o vulgar.- Cook (1994), indica los siguientes nombres: Jacinto de agua, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya, Lirio de agua, Lechuga de agua, Lechuguín.

Familia.- Cook (1994) indica que pertenece a la familia Pontederiaceae (Pontederiáceas).

A continuación, se detalla el lirio acuático (Ver figura 1)

Elaborado por: Cook, C and Gut, B.J. 1994

Figura 1. El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

Origen.- Cook (1994), manifiesta que ésta especie se encuentra en cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en América de Sur. Se han distribuido prácticamente por todo el mundo, láminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos.

Características morfológicas.- Cook (1994), menciona que es una especie flotante de raíces sumergidas; carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa inflada en forma de globo; y, forma una vejiga llena de aire, mediante la cual puede mantenerse sobre la superficie acuática. El lirio acuático es considerado como una mala hierba, que puede obstruir en poco tiempo una vía fluvial. Las raíces del lirio acuático, son negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, (Ver figura 2) negro violáceo cuando son adultas.

Elaborado por: Cook, C and Gut, B.J. 1994

Figura 2. Características morfológicas del lirio acuático

Usos.- Deysson (1996), sostiene que el lirio acuático se lo puede usar para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios, además ésta

especie ofrece un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo, de las heladas y a los alevines del embate de los benteveos (*Pitangus sulphuratus*).

Luz.- Según Deysson (1996), el lirio acuático necesita para su desarrollo la luz del sol e iluminación intensa.

Temperatura.- Cook (1994), sostiene que el lirio acuático para su desarrollo óptimo requiere temperaturas de 20 a 30 °C. No resiste los inviernos fríos (las temperaturas bajas pueden llegar hasta los 15 - 18°C).

Reproducción.- Cook (1994), manifiesta que ésta planta se reproduce mediante división de los rizomas y por medio de estolones que produce la planta madre.

1.2.4. HIPOTESIS

El tiosulfato de plata puede ser removido de agua contaminada con STS (Tiosulfato de plata), mediante su acumulación en lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

1.2.5. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

Variables dependientes: Son la concentración de plata en el agua, el porcentaje de remoción de plata en el agua y el índice de bioacumulación.

- La variable concentración de plata en el agua (solución de hidratación): Consiste en medir la cantidad de plata en la solución al inicio del ensayo y después de cada tratamiento.

- La variable porcentaje de remoción de plata en el agua (solución de hidratación): Consiste en calcular la cantidad porcentual de plata removida de la solución del agua, en el tiempo.

- La variable índice de bioacumulación: El índice de bioacumulación se expresa por la relación entre: la cantidad de contaminante en el organismo dividido para la cantidad de contaminante en el agua.

Variables independientes: Son las dosis de STS (Tiosulfato de plata), el tiempo trascurrido desde la instalación de la prueba; y, la especie utilizada para la bioacumulación de la plata (lirio acuático).

CAPITULO II

MÉTODO

2.1. NIVEL DE ESTUDIO

El presente proyecto es de tipo explicativo, es decir que se encarga de buscar el ¿por qué? de los hechos, su función principal es responder las causas de los eventos físicos o sociales mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

2.2. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto es de campo, es decir que los datos son recogidos directamente del sitio donde se encuentra el objeto de estudio, por eso también se las conoce como investigación in situ.

2.2.1. Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en la finca "La Mora" del Grupo Hilsea Investments Ltd. Ecuador ubicado en San Miguel de Atalpamba:

Provincia: Pichincha

Cantón: Quito

Parroquia: El Quinche

Altitud: 2619 m.s.n.m.

Longitud: 78º30' Oeste

Latitud: 00º10' Sur

2.2.2. Características climáticas de la zona

Tabla 1. Temperatura y humedad relativa en la zona de El Quinche, Pichincha, 2014.

Descripción	Promedio
Temperatura Promedio Anual (ºC)	17.5
Temperatura Máxima Absoluta (ºC)	26.0
Temperatura Mínima Absoluta (ºC)	14.3
Humedad Relativa media anual (%)	54.0

Elaborado por: Bilbao, 2014

2.3. METODO

2.3.1. Factores en estudio

a) Dosis

d_1 = 2 mL de STS / L de agua

d_2 = 12 mL de STS / L de agua

b) Tiempos

t_1 = 24 horas

t_2 = 48 horas

t_3 = 72 horas

2.3.2. Tratamientos

Los tratamientos corresponden a la combinación de los niveles de los factores en estudio, dando un total de 6 tratamientos.

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el estudio de bioensayos estático para determinar la acumulación de Plata en lirio acuático, El Quinche, Pichincha, 2014.

Nº	CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	d_1t_1	2 mL de STS / L agua a las 24 horas
2	d_1t_2	2 mL de STS / L agua a las 48 horas
3	d_1t_3	2 mL de STS / L agua a las 72 horas
4	d_2t_1	12 mL de STS / L agua a las 24 horas
5	d_2t_2	12 mL de STS / L agua a las 48 horas
6	d_2t_3	12 mL de STS / L agua a las 72 horas

Elaborado por: Gallardo, 2014

2.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.3.3.1. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 2x3, con cuatro observaciones.

2.3.3.2. Esquema de análisis de varianza

Tabla 3. Esquema de análisis de varianza en el estudio de bioensayos estático para determinar la acumulación de plata en lirio acuático, El Quinche, Pichincha, 2014.

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	5
Dosis (d)	1
Tiempos (t)	2
dxt	2
Error Experimental	18

Elaborado por: Gallardo, 2014

2.3.3.3. Pruebas de significación

Se realizó la prueba estadística de Tukey al 5% para dosis (d), tiempos (t) y la interacción (dxt). Las pruebas de significación son una serie de procedimientos estadísticos que permiten al investigador completar la información que se encuentra en el análisis de varianza.

Esta prueba es un procedimiento estadístico que identifica un solo valor para establecer los rangos de significación. La prueba de significación es la más utilizada en la actualidad y se la aplica cuando en el proceso experimental se tiene más de 2 tratamientos en estudio.

2.4. POBLACIÓN Y MUÉSTRA

2.4.1. Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo constituida por un tanque plástico de 100 litros de capacidad, con 50 litros de agua para cada tratamiento. Se mantuvo el pH del agua utilizada en la poscosecha, la cual tuvo un valor promedio de 6.9 de pH.

Para todos los tratamientos, en cada tanque se colocó 20 plantas de lirio acuático (*Eichhornia crassipes)*, escogidas por su similitud de tamaño y morfología. Las plantas de lirio acuático fueron cosechadas de un reservorio de agua lluvia ubicado dentro de la finca.

2.5. SELECCIÓN INSTRUMENTOS INVESTIGACIÓN

2.5.1. Equipos

- Espectrómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 4100)
- Horno mufla (Barnstead Thermoline 1300)
- pH – metro (WTW Tnolab pH 720)

2.5.2. Materiales

- 8 tanques plásticos de 100 litros de capacidad
- Pipetas volumétricas (De 1 y 10 mL)
- Papel filtro
- Tubos de ensayo
- Tazas de porcelana
- Agua destilada

2.5.3. Reactivos

- Agua destilada
- Mezcla para producir "Agua Regia" (30 mL de Ácido Clorhídrico + 10 mL de Ácido Nítrico + 100 mL de H_2O)
- Reactivo marca MERCK para análisis de Plata (Silver standard solution – 1000 mg/L Ag

2.6. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS

Los instrumentos (equipos) utilizados en el presente proyecto presentan el sello de certificado de la calibración.

2.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

2.7.1. Concentración de plata en el agua

Con los datos obtenidos en laboratorio, de la concentración de plata en mg/L, en el agua del tanque de cada tratamiento.

2.7.2. Porcentaje de remoción de plata en el agua

Se calculó el porcentaje de remoción de plata, partiendo de la concentración inicial a las 0 horas y su remoción a las 24, 48 y 72 horas después de instalado el ensayo.

2.7.3. Índice de Bioacumulación

De acuerdo a Mas y Azcue (1993), el concepto de bioacumulación se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se determina como la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el agua. Los riesgos producidos son función, del carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación superior a 1.

Con los datos obtenidos en laboratorio, se calculó el índice de bioacumulación de cada tratamiento a las 72 horas después de instalado el ensayo.

2.8. PROCESAMIENTO DE DATOS

La solución de hidratación a base de plata, se la preparó con el producto comercial Ever Flor STS ($Ag_2S_2O_3$ a concentración de 15 g/L de agua), producto utilizado en el proceso de hidratación de la flor, en la finca El Chivan del Grupo Hilsea. En ésta finca se utilizan dos soluciones para la hidratación de la flor:

Solución tanque 1.- Para la preparación de la solución se utiliza 2 mL de Ever Flor STS por litro de agua, solución que sirve para hidratar la flor por 24 horas.

Solución tanque 2.- Para la preparación de ésta solución se utiliza 12 mL de Ever Flor STS por litro de agua, solución que sirve para hidratar la flor por 4 horas.

En esta investigación se realizó el análisis de bioacumulación con las dos concentraciones de solución de tiosulfato de plata ($Ag_2S_2O_{3)}$ utilizadas en la poscosecha de la florícola, realizando el análisis tanto en contenido de Plata pura en mg/L, como en contenido de STS ($Ag_2S_2O_3$).

Para la biocumulación de la Plata se utilizó el lirio acuático (*Eichhornia crassipes)* por su gran capacidad de acumulación en su tejido de metales pesados, además que el lirio acuático es una especie endémica de la zona donde se ubica la finca, es decir que es una especie adaptada a las condiciones climáticas

De cada unidad experimental se tomó una muestra, cuyo volumen fue de 250 mL; antes de la colocación de los lirios acuáticos, es decir a la hora 0; y, a las 24, 48; y, 72 horas transcurridas una vez colocados los lirios acuáticos.

Posteriormente se contrató los servicios de un laboratorio acreditado en el país para realizar los análisis de concentración de plata para cada solución y en el tejido vegetal de cada tratamiento. Los resultados obtenidos por el laboratorio se encuentran como anexos de éste texto (Ver página 84).

El número y las frecuencias propuestas de toma de muestras se las definió en base al análisis de los resultados obtenidos en dos estudios de Tesis de Grado de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK, en donde se utilizó lirios acuáticos en la remoción de metales pesados.

Para el análisis de los tratamientos, se utilizó como procedimiento estadístico la prueba de significación de Tukey al 5%. Los resultados obtenidos se presentan en cuadros y gráficas como concentración y porcentaje de remoción de Plata.

Como complemento de la investigación, se realizó el análisis de laboratorio del agua obtenida luego de precipitar la plata, procedimiento que actualmente lo realiza la finca. La muestra obtenida para el análisis de laboratorio proviene de la solución que más habitualmente se prepara en la poscosecha de la finca, la cual es de 2 mL de Ever Flor STS por litro de agua, solución que sirve para hidratar la flor por 24 horas.

Para precipitar la plata, la finca utiliza el hipoclorito de sodio (NaClO) y el sulfato ferroso ($FeSO_4$) con el objeto de disminuir la concentración del ion plata en el líquido clarificado. El tratamiento del lodo involucra el uso de reactivos para la precipitación, coagulación y floculación; para dar lugar a un residuo no peligroso, catalogado incluso como un lodo biosólido que debe ser aplicado en un relleno sanitario.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1. LEVANTAMIENTO DE DATOS

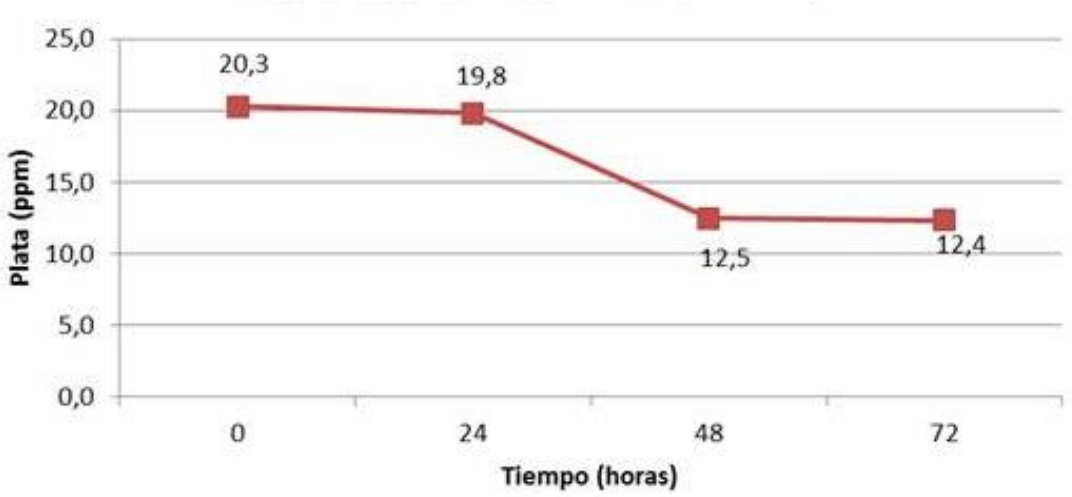
3.1.1. Concentración de plata en el agua

A continuación se detalla la concentración de plata en la solución de hidratación, luego de permanecer en el lirio acuático por 24, 48 y 72 horas (Ver Tabla 4).

Tabla 4.- Concentración de plata para tratamientos, con dosis 1 y 2, a los 0, 24, 48 y 72 horas, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

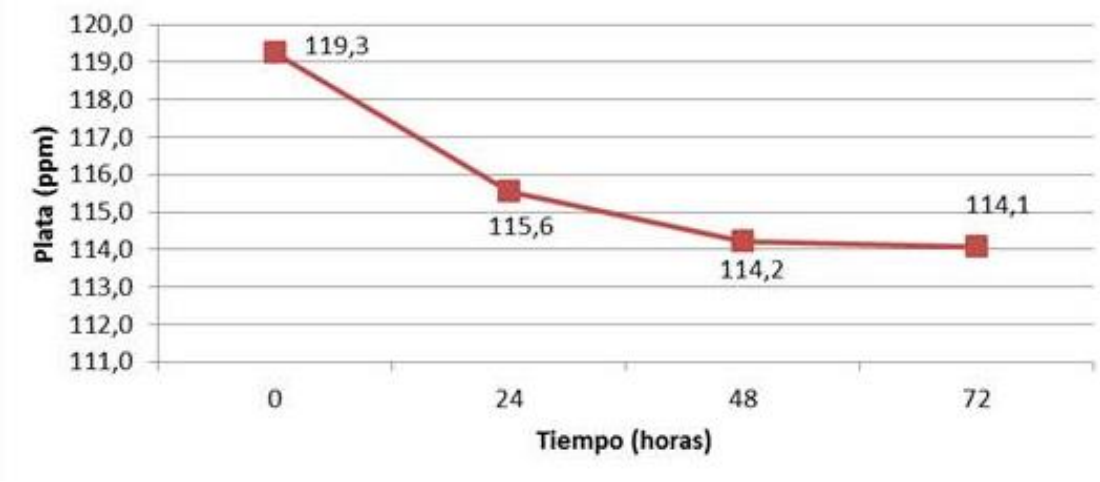
Dosis (mL STS/L)	**Concentración de plata en mg/L**			
	0 horas	**24 horas**	**48 horas**	**72 horas**
Testigo	0,0	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0	0,0
Promedio	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**
1	21,5	21,0	12,6	12,1
1	17,9	17,3	12,0	12,2
1	19,8	19,3	11,2	11,9
1	22,0	21,6	14,1	13,2
Promedio	**20,3**	**19,8**	**12,5**	**12,4**
2	122,0	117,5	116,1	115,5
2	116,2	113,4	112,0	112,3
2	120,2	116,4	114,7	115,1
2	118,6	114,9	114,1	113,4
Promedio	**119,3**	**115,6**	**114,2**	**114,1**

Elaborado por: Gallardo, 2014



Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 3.- Concentración de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 1, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.



Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 4.- Concentración de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 2, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

3.1.2. Porcentaje de remoción de plata

A continuación se detalla el porcentaje de remoción de plata en la solución de hidratación, luego de permanecer por 24 horas en el lirio acuático (Ver Tabla 5).

Tabla 5.- Porcentaje de remoción de plata para dosis 1 y 2, a las 24 horas, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Dosis (mL STS/L)	**Concentración de plata en mg/L**		**Porcentaje de remoción de Plata en 24 horas**
	0 horas	**24 horas**	
Testigo	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0
Promedio =	**0,0**	**0,0**	**0,0**
1	21,5	21,0	2,3
1	17,9	17,3	3,4
1	19,8	19,3	2,5
1	22,0	21,6	1,8
Promedio =	**20,3**	**19,8**	**2,5**
2	122,0	117,5	3,7
2	116,2	113,4	2,4
2	120,2	116,4	3,2
2	118,6	114,9	3,1
Promedio =	**119,3**	**115,6**	**3,1**

Elaborado por: Gallardo, 2014

A continuación se detalla el porcentaje de remoción de plata en la solución de hidratación, luego de permanecer por 48 horas en el lirio acuático (Ver Tabla 6).

Tabla 6.- Porcentaje de remoción de plata para dosis 1 y 2, a las 48 horas, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Dosis (mL STS/L)	**Concentración de plata en mg/L**		**Porcentaje de remoción de plata en 48 horas**
	0 horas	**48 horas**	
Testigo	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0
Testigo	0,0	0,0	0,0
Promedio =	**0,0**	**0,0**	**0,0**
1	21,5	12,6	41,4
1	17,9	12,0	33,0
1	19,8	11,2	43,4
1	22,0	14,1	35,9
Promedio =	**20,3**	**12,5**	**38,4**
2	122,0	116,1	4,8
2	116,2	112,0	3,6
2	120,2	114,7	4,6
2	118,6	114,1	3,8
Promedio =	**119,3**	**114,2**	**4,2**

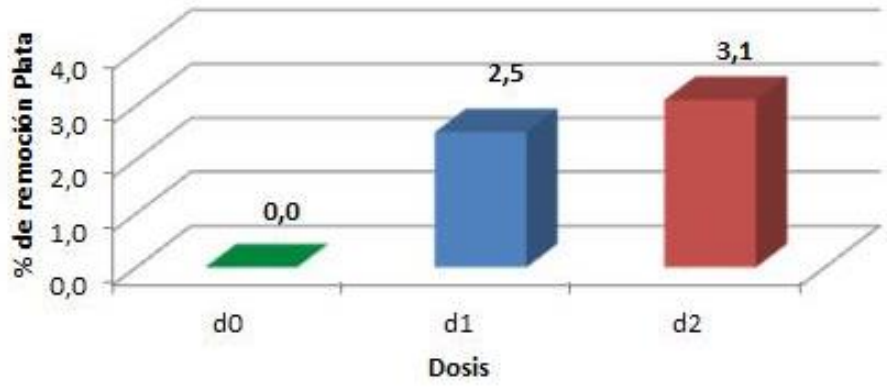
Elaborado por: Gallardo, 2014

A continuación se detalla el porcentaje de remoción de plata en la solución de hidratación, luego de permanecer por 72 horas en el lirio acuático (Ver Tabla 7).

Tabla 7.- Porcentaje de remoción de plata para dosis 1 y 2, a las 72 horas, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

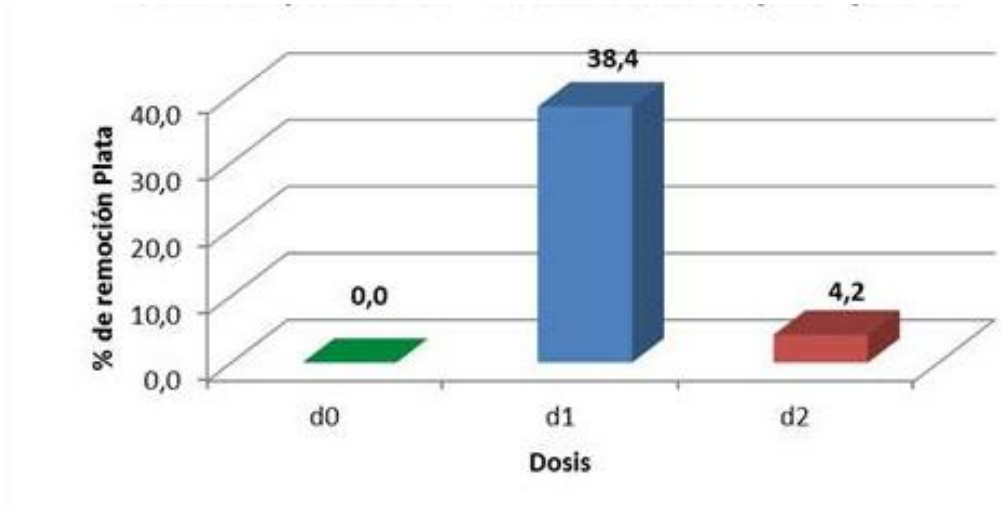
Dosis (mL STS/L)	**Concentración de plata en mg/L**		**Porcentaje de remoción de plata en 72 horas**
	0 horas	**72 horas**	
0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0
Promedio =	**0,0**	**0,0**	**0,0**
1	21,5	12,1	43,7
1	17,9	12,2	31,8
1	19,8	11,9	39,9
1	22,0	13,2	40,0
Promedio =	**20,3**	**12,4**	**38,9**
2	122,0	115,5	5,3
2	116,2	112,3	3,4
2	120,2	115,1	4,2
2	118,6	113,4	4,4
Promedio =	**119,3**	**114,1**	**4,3**

Elaborado por: Gallardo, 2014



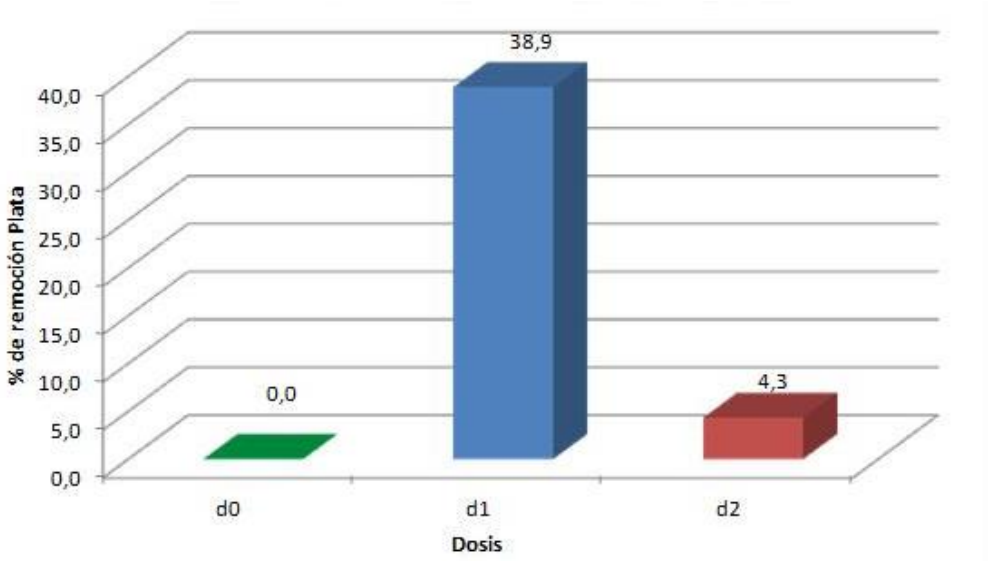
Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 5.- Porcentaje de remoción de plata a las 24 horas, para dosis, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.



Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 6.- Porcentaje de remoción de plata a las 48 horas, para dosis, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

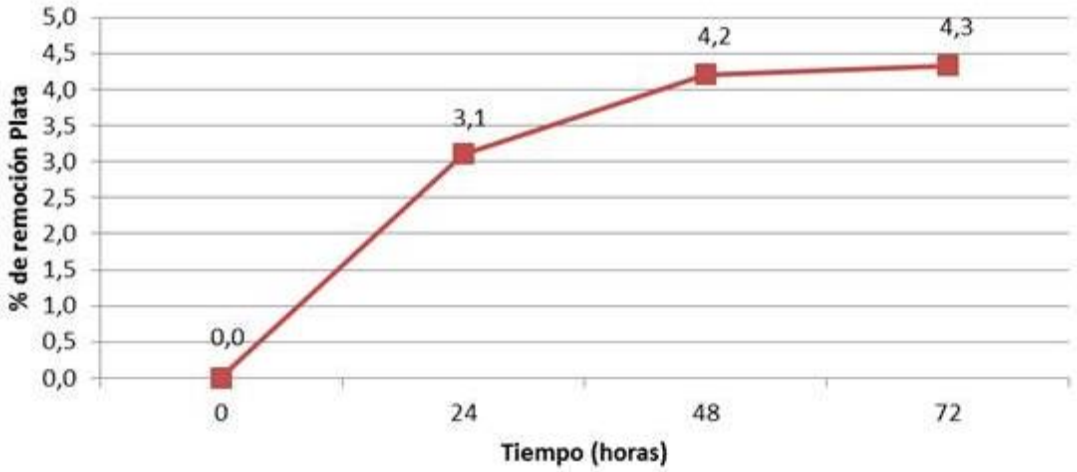


Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 7.- Porcentaje de remoción de plata a las 72 horas, para dosis, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 8.- Porcentaje de remoción de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 1, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.



Elaborado por: Gallardo, 2014

Figura 9.- Porcentaje de remoción de plata a las 0, 24, 48 y 72 horas, para dosis 2, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Tabla 8.- Análisis de varianza en el estudio de bioensayos estático para determinar la acumulación de plata en lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

F de V	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fisher calculado	Fisher tabulado 5%
Total	23	6734,67			
Tratamientos	5	6584,24	1316,85	157,57**	2,77
Dosis (d)	1	1855,79	1855,79	222,05**	4,41
Tiempos (t)	2	3097,24	1548,62	185,30**	3,35
d x t	2	1781,64	890,82	106,59**	3,35
Error Exp.	18	150,43	8,36		
Promedio (%) = 15,24 %					
CV% = 18,97 %					
** = Altamente Significativo					

Elaborado por: Gallardo, 2014

A continuación se detalla los análisis de la prueba estadística de Tukey al 5%, para dosis, tiempos y su interacción (Ver Tablas 9, 10 y 11).

Tabla 9.- Análisis de la prueba estadística de Tukey al 5%, para dosis (d) en ml de plata / L de agua, en el porcentaje de remoción de plata, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Clasificación	Descripción	% de remoción (Ag)	Rango de significación
d_1	**2 ml / L**	**26,60**	**a**
d_2	12 ml / L	3,88	b
Los rangos a y b significa que el % de remoción de Ag es diferente para la dosis 1 y 2			

Elaborado por: Gallardo, 2014

Tabla 10.- Análisis de la prueba estadística de Tukey al 5%, para tiempos (t) en horas, en el porcentaje de remoción de plata, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Clasificación	Descripción	% de remoción (Ag)	Rango de significación
t_3	**72 horas**	**21,60**	**a**
t_2	**48 horas**	**21,32**	**a**
t_1	24 horas	2,80	b
Los tiempos t_2 y t_3 son iguales en el % de remoción de Ag			

Elaborado por: Gallardo, 2014

Tabla 11.- Análisis de la prueba estadística de Tukey al 5%, para la interacción dxt, en la remoción de plata, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Clasificación	% de remoción (Ag)	Rango de significación
d_1t_3	**38,87**	**a**
d_1t_2	**38,42**	**a**
d_2t_3	4,33	b
d_2t_2	4,21	b
d_2t_1	3,10	b
d_1t_1	2,51	b
La dosis 1 en los tiempos t_2 y t_3, presentaron los mejores % de remoción de Ag		

Elaborado por: Gallardo, 2014

3.1.3. Índice de Bioacumulación de plata

El incide de bioacumulación se expresa por la relación entre:

$$\textit{Índice de Bioacumulación} = \frac{\text{Cantidad de contaminante en el organismo}}{\text{Cantidad de contaminante en el agua}}$$

Tabla 12.- Índice de bioacumulación de plata a las 72 horas, para la dosis de 2 mL de STS/L de agua, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Índice de Bioacumulación (Sol. 1)	**Grado de Bioacumulación**
1,0 **(Ag = 10,28)**	**intensa**
0,1	media
0,01	ligera
0,001	carencia

Elaborado por: Gallardo, 2014

$$IB\ (_{Sol\ 1)} = \frac{127{,}43\ mg\ Ag}{12{,}40\ mg\ Ag} = \mathbf{10{,}28}$$

Tabla 13.- Índice de bioacumulación de plata a las 72 horas, para la dosis de 12 mL de STS/L de agua, con la utilización del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014.

Índice de Bioacumulación (Sol. 2)	**Grado de Bioacumulación**
1,0 **(Ag = 6,07)**	**intensa**
0,1	media
0,01	ligera
0,001	carencia

Elaborado por: Gallardo, 2014

$$IB_{(Sol\ 2)} = \frac{692{,}15\ mg\ Ag}{114{,}10\ mg\ Ag} = \mathbf{6{,}07}$$

3.2. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de la información obtenida en ésta investigación se determinó el porcentaje de remoción de plata con lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) frente a dos soluciones de hidratación comerciales, la primera a una dosis baja de 2 mL de STS/L de agua y la segunda a una dosis alta de 12 mL de STS/L de agua, además se calculó el índice de bioacumulación que presenta el lirio acuático, de igual manera frente a las dos soluciones de hidratación.

En la tabla 4, figuras 3 y 4 (Ver pág. 60 y 61), se presentan las concentraciones promedio de plata en mg/L, obtenidos de los datos de análisis de laboratorio, con los cuales se calculó el % de remoción y el índice de bioacumulación de plata; así la concentración promedio inicial de plata de la solución con 2 mL de STS por litro de agua (dato promedio de las cuatro observaciones), fue de 20,3 ppm; y, la concentración promedio inicial de la solución con 12 mL/L, fue de 119,3 ppm. Para la dosis 1 se presenta una disminución de la concentración de plata a las 48 horas y, a las 72 horas la concentración tiende a mantenerse. Para la dosis 2 la menor concentración de plata se presenta a las 48 horas, siendo la misma a las 72 horas.

En la tabla 5 (Ver pág. 62), se presenta el porcentaje de remoción de plata a las 24 horas con las dosis 1 y 2; es así que al aplicar la prueba estadística de Tukey al 5% (Ver tabla 11) para la interacción dxt, las interacciones d_1t_1 con 2,51 % de remoción y d_2t_1 con 3,10 % de remoción, se encuentran en un mismo rango se significación estadística, lo que muestra

que, a las 24 horas, el porcentaje de remoción no depende de la concentración inicial de plata en la solución de hidratación.

En la tabla 6 (Ver pág. 63), se presenta el porcentaje de remoción de plata a las 48 horas con las dosis 1 y 2; es así que al realizar la prueba estadística de Tukey al 5% (Ver tabla 11) para la interacción dxt, las interacciones d1t2 con 38,4 % de remoción y d2t2 con 4,2 % de remoción, se encuentran cada una en un diferente rango de significación estadística, lo que muestra que son diferentes, así la dosis 1 es la más eficiente a las 48 horas.

En la tabla 7 (Ver pág. 64), se presenta el porcentaje de remoción de plata a las 72 horas con las dosis 1 y 2; es así que al realizar la prueba estadística de Tukey al 5% (Ver tabla 11) para la interacción dxt, las interacciones d1t3 con 38,87 % de remoción y d_2t_3 con 4,33 % de remoción, se encuentran cada uno en un diferente rango de significación estadística, lo que muestra que son diferentes, siendo la dosis 1 la más eficiente a las 72 horas.

En la tabla 8 (Ver pág. 67), se presenta el análisis de varianza del experimento, presentando una alta significación estadística para tratamientos, dosis, tiempos y la interacción dxt. El promedio del experimento fue de 15,24 % de remoción de plata, y el coeficiente de variación de 18,97 %, el cual es un coeficiente muy aceptable para éste tipo de ensayo.

En la tabla 9 (Ver pág. 68), se presentan los resultados de la prueba estadística de Tukey al 5% para el factor de estudio dosis, ubicándose cada dosis en un diferente rango de significación estadística, lo que muestra que son diferentes, siendo la dosis 1, la mejor con un % de remoción de plata de 26,60 %, vs la dosis 2.

En la tabla 10 (Ver pág. 68), se presentan los resultados de la prueba estadística de Tukey al 5% para el factor en estudio tiempo, siendo el t_2 el mejor, al ser el menor tiempo donde se obtiene un alto % de remoción de plata. El tiempo t_3 comparte un mismo rango de significación estadística con el tiempo t_2, es decir que estos dos tiempos son iguales en el % de remoción, lo que muestra que a las 48 horas, el lirio acuático ha alcanzado su máximo nivel de remoción.

En la tabla 11 (Ver pág. 68), se presentan los resultados de la prueba estadística de Tukey al 5%, para la interacción dxt, es así que la dosis 1 es la mejor, compartiendo un mismo rango de significación en interacción con los tiempos t_2 y t_3, los cuales son d_1t_3 y d_1t_2 con 38,87 y 38,42 % de remoción de plata, respectivamente. Para la dosis 2 en interacción con los tres tiempos, no hay diferencia estadística, ya que los tratamientos d_2t_3, d_2t_2 y d_2t_1, se encuentran en un mismo rango de significancia con 4,33; 4,21 y 3,10 % de remoción de plata respectivamente; es decir, que en el ensayo de la dosis 2, a las 24 horas ya se presenta una saturación en la absorción de la solución de plata por parte del lirio acuático, observándose una fitotoxicidad a las 48 horas de instalado el ensayo.

En la tabla 12 (Ver pág. 69), se presenta el índice de bioacumulación de la plata, el cual para la dosis baja de 2 mL de STS/L de agua, a las 72 horas de transcurrida la instalación del ensayo, fue de 10,28; es decir, que el metal Plata presenta un grado de bioacumulación intenso cuando es absorbido por el lirio acuático.

En la tabla 13 (Ver pág. 70), se presenta el índice de bioacumulación de la plata, el cual para la dosis alta de 12 ml de STS/L de agua, a las 72 horas de transcurrido la instalación

del ensayo, fue de 6,07; es decir, que el metal plata presenta un grado de bioacumulación intenso cuando es absorbido por el lirio acuático.

En la figura 10, se observa, la relación entre la concentración de plata en la solución y la capacidad de remoción de plata del lirio acuático. En base a los datos obtenidos, se indica que una concentración alta de tiosulfato de plata de 12 mL/L, es fitotóxica para el lirio acuático, causando lisis en su pared celular, impidiendo de ésta manera su bioacumulación; en cambio a dosis baja de 2 mL/L, se presenta un adecuado proceso de bioacumulación hasta las 48 horas de estar en contacto el lirio acuático con la solución.

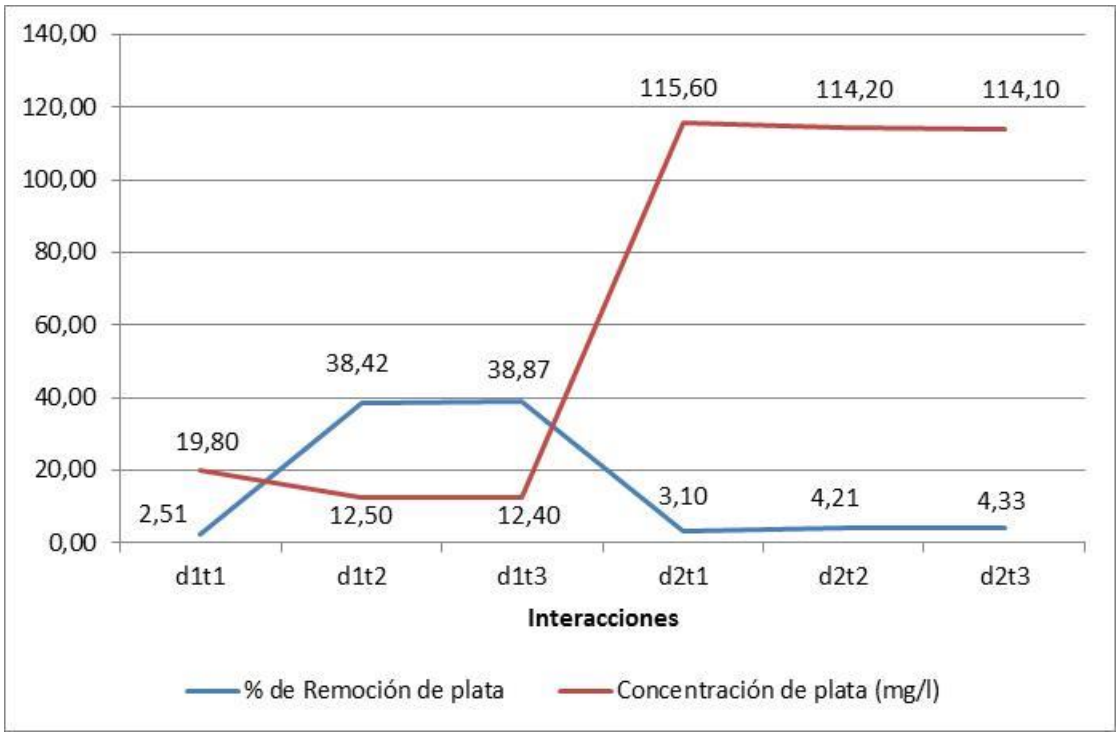


Figura 10.- Relación entre el porcentaje de remoción de plata y su concentración, a las 24, 48 y 72 horas; para las dosis 1 y 2 con la utilización del lirio acuático (Eichhornia crassipes), Hilsea – La Mora, El Quinche, Pichincha 2014

Como complemento a los análisis de laboratorio de los tratamientos en estudio, se realizó el análisis del líquido clarificado que se vierte en un reservorio, luego de realizar la precipitación de la plata, procedimiento que tiene la finca implementado actualmente. Con el análisis de laboratorio de las muestras se obtuvo un valor promedio de 0,118 mg/l de plata, con lo cual no se cumple con el límite máximo permisible de Plata en aguas para el consumo humano y uso doméstico.

Para la aplicación práctica de la presente investigación, se instaló una réplica del primer ensayo, tomando el tiempo más eficiente en la remoción de plata de 48 horas (t_2), repitiendo dicho tratamiento en cuatro ocasiones y, al cabo del tiempo transcurrido se envió las muestras al laboratorio para su análisis. El valor promedio obtenido, luego del tratamiento, fue de 0,027 mg/l. de plata, cumpliendo de ésta manera con la normativa legal vigente.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

4.1. CONCLUSIONES

- El tratamiento que presentó la mayor eficiencia de remoción de plata fue el de dosis baja a 2 mL de STS / L de agua, con un tiempo de 48 horas de instalado el ensayo. El porcentaje de remoción de éste tratamiento fue de 38,40 %.

- Para dosis alta de solución de hidratación STS, se presenta una fitotoxicidad en el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), sin que exista una diferencia en el porcentaje de remoción tanto a las 24, 48 o 72 horas después de instalado el ensayo. En la dosis baja no se presenta fitotoxicidad a las 72 horas de iniciado el ensayo.

- El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), tiene una mayor bioacumulación de plata, a la dosis alta de 12 mL de STS / L de agua con un promedio de 692 ppm de plata en base seca. A la dosis baja de 2 mL de STS / L de agua, el promedio fue de 127 ppm de plata en base seca.

- No existe diferencia en el porcentaje de remoción de plata entre las dosis de 2 y 12 mL de tiosulfato de plata por litro de agua, a las 24 horas transcurridas desde la colocación de la especie lirio acuático.

- El porcentaje de remoción de plata en el lirio acuático es mayor cuando la concentración de Plata es menor en la solución de hidratación.

- El índice de bioacumulación es mayor cuando la concentración de plata es menor en la solución de hidratación.

- El tiempo más eficiente en la acumulación de plata es 48 horas, ya que al no haber diferencias con el tiempo (t_3) de 72 horas, es preferible que el proceso de acumulación se realice en el menor tiempo posible, ya que la producción de flores es muy dinámica, y se generan grandes volúmenes de éstas aguas residuales, que deben ser tratadas.

- Existe diferencia en el porcentaje de remoción de plata entre las dosis de 2 y 12 mL de tiosulfato de plata por litro de agua, tanto a las 48 y 72 horas transcurridas desde la colocación del lirio acuático en las soluciones.

- El porcentaje de remoción de plata, con el uso del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), es mayor cuando la concentración del metal es baja en la solución de hidratación; que, para fines de ésta investigación fue de 2 mL de STS/L de agua, concentración que es la más frecuentemente utilizada en la poscosecha de la finca.

- El método utilizado en éste trabajo se lo puede aplicar en piscinas de tratamiento para los volúmenes reales de agua contaminada (luego de la precipitación de la plata) que descargan las poscosechas de la industria florícola; ya que aun utilizando la dosis baja de tiosulfato de plata de 2 mL/L de agua, después de 48 horas, solo se alcanza una concentración de 12,5 ppm, con lo cual no se cumple con la normativa legal vigente.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para la acumulación de plata en el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), se recomienda trabajar con dosis bajas de tiosulfato de plata; que en la investigación fue de 2 ml de STS/L de agua, en piscina de tratamiento utilizando las técnicas de fitoextracción y rizofiltración.

- A las 24 horas no hay diferencia en el porcentaje de remoción de plata para las dosis en estudio, lo que supone que en este tiempo el lirio acuático se encuentra adaptándose a las nuevas condiciones de solución de hidratación. Por lo que se debe ajustar los tiempo de remoción de la plata, estudiando las frecuencias de tiempos entre las 24 a 48 horas después de instalado el ensayo.

- No hay diferencias en el porcentaje de remoción de plata a las 48 o 72 horas después de instalado el ensayo, por lo que se recomienda utilizar el tiempo (t_2) de 48 horas, en el proceso de acumulación del metal plata.

- Una vez realizada la acumulación de la plata en el lirio acuático, se sugiere dar una adecuada disposición de éste material vegetal, así, colocarlo en un relleno sanitario.

- Implementar en la finca piscinas para la acumulación de plata con lirio acuático, para aguas residuales provenientes del proceso de precipitación de la plata que tiene ya implementado la finca, colocando 20 plantas de lirio acuático por cada 50 litros de agua residual que sale luego del proceso de precipitación de plata ; y, con un

tiempo de contado con los lirios acuáticos de mínimo 48 horas, para el cumplimiento de la normativa ambiental, en el límite máximo permisible de plata en aguas de consumo humano y uso doméstico, que es de 0,05 ppm.

- Utilizar el lirio acuático en la fitorremediación, aprovechando la capacidad de ésta planta para absorber, acumular y estabilizar el contaminante presente en el agua, como metal plata. Esta fitotecnología ofrece numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo.

- Utilizar el lirio acuático en la fitorremediación, aprovechando la capacidad de ésta planta para absorber, acumular y estabilizar el contaminante presente en el agua, como metal plata. Esta fitotecnología ofrece numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo.

- Se requiere más información sobre las interacciones planta-microorganismos rizosféricos, sobre los metabolítos responsables del fenómeno de quelación de metales pesados al interior de la plantas, así como del papel que juegan ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación.

V. BIBLIOGRAFÍA

Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. (pp. 35-38). México: Ediciones de la universidad autónoma de Yucatán.

Campos, H. (1987). *Los metales pesados, su contaminación y sus efectos tóxicos*. (pp. 63-70). Colombia: Medellín.

Cook, C. and Gut, B.J. (1994). *Water plants of the world: a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes*. Holanda.

Cheikin, M. (2007). *Heavy Metals: The Trump Card of Toxicity. Holistic Medicine and Physiatrist*. Recuperado de http://www.c4oh.org/articles_free/hmt.pdf.

Deysson, G. (1996). *Physiology at biology des plants vascularizes. Premiere Partied: Nutrition at Metabolism*. Francia: SEDES, Paris.

Eaton, A. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. USA: 21 Editions, Washington.

Feria, J. (2010). *Heavy metals in Sinú river*. (pp. 35-44). Colombia: Department of Córdoba. Revista Científica Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia N° 55.

Fraume, R. (2007*). Diccionario ambiental*. Colombia: Ecoe ediciones.

García, I. y Dorronsoro, C. (2001). *Contaminación por metales pesados*. España: Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada, España. Recuperado de http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/.

García, J. y Ruiz, A. (1997). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedades construidas*. (pp. 58-65). España: Vol 1.65.

Gil, E (1999). *Remoción y recuperación de metales pesados de aguas residuales industriales*. Colombia: Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. N. 18.

Hernández, H. y González, P. (2002). *Introducción al análisis instrumental*. México: Editorial Ariel.

Irigoyen, G. (2001). *Evaluación de la bioacumulación de bario, cromo, níquel y zinc en las macrófitas acuáticas "Pistia stratiotes" y "Eichhornia crassipes" de la laguna de Limoncocha*. Ecuador: Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional SEK. Quito.

Glynn, H. y Heinke G. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: 2 ed. Pearson Educación.

Manahan, S. (2000). *Environmental chemistry*. USA: Séptima Edición. Editorial Lewis publishers, New York.

Mas, A., Azcue J.M. (1993). *Metales en Sistemas Biológicos*. Barcelona, España. Ed. Promociones y Publicaciones Universitarias. 324 pp.

Navarro J., Aguilar I. y López J. (2007). *Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas*. España: Universidad Politécnica de Valencia. 46022, Ecosistemas 16 (2): 10-25. Recuperado de http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488

Nedelkoska, T. y Doran, P. (2000). *Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining*. Australia: Minerals Engineering, Pergamon.

Olguín, E. y Hernández, P. (2002). *Aprovechamiento de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. (pp. 1-7). México: Tecnologías Ambientales para el Desarrollo Sustentable.

Orozco, C. (2003). *Contaminación Ambiental, una visión desde la química*. España: International Thomson Editores.

Ramos, R., Sepúlveda, R. y Villalobos, F. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. México: Universidad Autónoma de Baja California. Primera edición. Plaza y Valdez editores.

Razmilic B. (1994). *Espectroscopia de absorción atómica*. México: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación–FAO, FAO. Cap4.

Singh A. and Kumar, S. (2009). *Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India*. India: Food and Chemical Toxicology. Recuperado de journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchemtox.

Skoog, D. y Holler, F. (2001). *Principios de análisis instrumental*. España: Quinta Edición. Mc Graw-Hill, S.A.U.

Terán G. (2002). *Bioensayos estáticos para determinar la acumulación de vanadio en lirio acuático "Eichhornia crassipes" y lechugin "Pistia stratiotes"*. Ecuador: Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional SEK. Quito.

Valdueña, J. (2001). *Enciclopedia de la ecología y la salud*. (pp. 170-171). España: Editorial Safeliz.

Vázquez, M. (2001). *Avances en seguridad alimentaria*. España. Editorial Altaga.

Verdugo, L (2003). *Efecto de Inhibidores de etileno en postcosecha de flores cortadas de lilium. Cien. Inv. Agr. 30 (2): 89-95. 2003.* Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile. Castilla 4D, Quillota, V Región.

Zayed, A. (1998). *Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants*. USA. Journal of Environmental Quality. 27(3):715- 721.

VI. ANEXOS

Anexo 1. Reporte Análisis de Plata / STS en Solución.

AGRARPROJEKT S.A.
Urb. El Condado CalleV #941 y Avda. A
P.O.Box 17-17-1593.Telfs.: 2490575 / 2492148
Quito Ecuador
E-mail: agrarprojekt@cablemodem.com.ec

agrarPROJEKT Consultancy & Laboratory Services

Reporte Análisis de Plata / STS en Solución

Cliente: Ing. Adrián Gallardo
Codigo: AGA-AnalisisPlata-17-12-13-Sol
Cultivo: Ensayos con lechuguín
Muestras: 4 muestras de soluciones acuosas

Fecha, toma de muestra: 17-12-2013 (muestra tomada por el cliente)
Fecha, recibo de muestra: 17-12-2013
Fecha, informe: 03-01-2014
Análisis certificado por: Dr. Karl Sponagel

Métodos usados de análisis:

Medición directo y de diluciones del contenido de Plata en la solución acuosa con el Espectrómetro de Absorción Atómica / Llama, uso de soluciones estándares de 10, 5, 2, 1, 0.5 y 0 ppm

Resultados # 1-8:

a) Plata pura (Ag) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; b) STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; c) pH

	Muestra # 1: Testigo	Muestra # 2: Testigo 24	Muestra # 3: Testigo 48	Muestra # 4: Testigo 72	Muestra # 5: D1 - I	Muestra # 6: D1 24 - I	Muestra # 7: D1 48 - I	Muestra # 8: D1 72 - I
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	21,5	21,0	12,6	12,1
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	32,7	32,2	19,2	17,8
c) pH	6,8	6,7	7,0	6,8	7,1	6,8	6,8	6,9

AGRARPROJEKT report certified by
Dr. Karl Sponagel, Ph.D

agrarPROJEKT Consultancy & Laboratory Services

Resultados # 9-24: Ing. Adrian Gallardo, Plata/STS en Solución, 18-12-13

a) Plata pura (Ag) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; b) STS (Ag2S2O3) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; c) pH

	Muestra # 9: D1 - II	Muestra # 10: D1 24 - II	Muestra # 11: D1 48 - II	Muestra # 12: D1 72 - II	Muestra # 13: D1 - III	Muestra # 14: D1 24 - III	Muestra # 15: D1 48 - III	Muestra # 16: D1 72 - III
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	17,9	17,3	12,0	12,2	19,8	19,3	11,2	11,9
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	27,2	26,5	16,8	18,5	29,6	28,2	18,5	17,8
c) pH	7,1	6,7	6,8	6,9	6,8	6,8	7,0	6,9

	Muestra # 17: D1 - IV	Muestra # 18: D1 24 - IV	Muestra # 19: D1 48 - IV	Muestra # 20: D1 72 - IV	Muestra # 21: D2 - I	Muestra # 22: D2 24 - I	Muestra # 23: D2 48 - I	Muestra # 24: D2 72 - I
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	22,0	21,6	14,1	13,2	122,0	117,5	116,1	115,5
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	31,8	30,2	20,4	20,7	185	178,5	175,1	175,5
c) pH	6,7	6,9	7,1	6,9	8,8	6,9	6,9	7,0

AGRARPROJEKT
report certified by
K. W. Sprenger
Dr. Karl Sprenger, Ph.D

agrar PROJEKT Consultancy & Laboratory Services

Resultados # 25-37: Ing. Adrian Gallardo, Plata/STS en Solución, 18-12-13

a) Plata pura (Ag) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; b) STS (Ag2S2O3) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; c) pH

	Muestra # 25: D2 - II	Muestra # 26: D2 24 - II	Muestra # 27: D2 48 - II	Muestra # 28: D2 72 - II	Muestra # 29: D2 - III	Muestra # 30: D2 24 - III	Muestra # 31: D2 48 - III	Muestra # 32: D2 72 - III
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	116,2	113,4	112,0	112,3	120,2	116,4	114,7	115,1
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	176,0	173,2	170,0	171,5	178,3	176,9	173,2	175,6
c) pH	6,9	6,9	6,8	6,9	7,0	6,7	6,8	6,9

	Muestra # 33: D2 - IV	Muestra # 34: D2 24 - IV	Muestra # 35: D2 48 - IV	Muestra # 36: D2 72 - IV	Muestra # 37: STS Puro
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	118,6	114,9	114,1	113,4	10100 (= 1,01 % p/v)
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	175,6	173,5	174,0	171,2	15352 (= 1,54 % p/v)
c) pH	7,1	6,9	6,8	6,8	

AGRARPROJEKT
report certified by
K.W. Sonnagel
Dr. Karl Sonnagel, Ph.D

agrar PROJEKT
Consultancy & Laboratory Services

AGRARPROJEKT S.A.
Urb. El Condado CalleV #941 y Avda. A
P.O.Box 17-17-1593.Telfs.: 2490575 / 2492148
Quito Ecuador
E-mail: agrarprojekt@cablemodem.com.ec

Reporte Análisis de Plata en Plantas de Lechuguín

Cliente: Ing. Adrián Gallardo
Codigo: AGA-AnalisisPlata-17-12-13-Planta
Cultivo: Ensayos con lechuguín
Muestras: 9 muestras de plantas de lechuguín

Fecha, toma de muestra: 17-12-2013 (muestra tomada por el cliente)
Fecha, recibo de muestra: 17-12-2013
Fecha, informe: 03-01-2014
Análisis certificado por: Dr. Karl Sponagel

Métodos usados de análisis:

Uso de una parte representativa (10 plantas) de las plantas de la muestra → Secamiento y pulverización → Incineración 6 horas con 550 °C → Disolución en Aqua Regia → Medición del contenido de plata con Espectrómetro de Absorción Atómica → Cálculo del contenido de plata en materia seca

Resultado del análisis:

a) Plata pura (Ag) en Materia Seca (MS) en mg/kg (equivalente a ppm); b) STS ($Ag_2S_2O_3$) en Materia Seca (MS) en mg/kg (equivalente a ppm)

	# 1: Plantas Testigo	# 2: Plantas D1 72 - I	# 3: Plantas D1 72 - II	# 4: Plantas D1 72 - III	# 5: Plantas D1 72 - IV	# 6: Plantas D2 72 - I	# 7: Plantas D2 72 - II	# 8: Plantas D2 72 - III	# 9: Plantas D2 72 - IV
a) Contenido Plata pura (Ag), en mg/kg MS	3,4	95,2	141,0	154,5	132,6	754,0	692,0	655,7	680,5
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$), en mg/kg MS	5,2	145,0	214,0	215,8	196,4	1146,0	1052,0	1027,5	1056,0

AGRARPROJEKT
report certified by
K. W. Sponagel
Dr. Karl Sponagel Ph.D

AGRARPROJEKT S.A.
Urb. El Condado CalleV #941 y Avda. A
P.O.Box 17-17-1593.Telfs.: 2490575 / 2492148
Quito Ecuador
E-mail: agrarprojekt@cablemodem.com.ec

Reporte Análisis de Plata / STS en Solución

Cliente: Ing. Adrián Gallardo
Codigo: AGA-AnalisisPlata-03-10-14-Sol
Cultivo: Ensayos con lechuguín
Muestras: 4 muestras de soluciones acuosas

Fecha, toma de muestra: 03-10-2014 (muestra tomada por el cliente)
Fecha, recibo de muestra: 03-10-2014
Fecha, informe: 15-10-2014
Análisis certificado por: Dr. Karl Sponagel

Métodos usados de análisis:

Medición directo y de diluciones del contenido de Plata en la solución acuosa con el Espectrómetro de Absorción Atómica / Llama, uso de soluciones estándares de 10, 5, 2, 1, 0.5 y 0 ppm

Resultados # 1-8:

a) Plata pura (Ag) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; b) STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; c) pH

	Muestra # 1: Testigo	Muestra # 2: Testigo 48	Muestra # 3: A - I	Muestra # 4: A 48 - I	Muestra # 5: A - II	Muestra # 6: A 48 II	Muestra # 7: A - III	Muestra # 8: A 48 - III
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	< 0,06	< 0,06	0,121	0,028	0,118	0,032	0,115	0,026
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	< 0,09	< 0,09	0,183	0,037	0,174	0,041	0,18	0,035
c) pH	6,9	6,8	6,2	6,7	6,5	6,4	6,8	6,5

AGRARPROJEKT
report certified by
K. W. Sponagel
Dr. Karl Sponagel, Ph.D.

Anexo 3. Reporte Análisis de Plata / liquido clarificado de precipitación (Ag).

agrar PROJEKT
Consultancy & Laboratory Services

Resultados # 9-10: Ing. Adrian Gallardo, Plata/STS en Solución, 03-10-14

a) Plata pura (Ag) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; b) STS (Ag2S2O3) en mg/l (equivalente a ppm) en la solución; c) pH

	Muestra # 9: A - IV	Muestra # 10: A 48 - IV
a) Contenido Plata pura (Ag) en mg/l	0,117	0,022
b) Contenido STS ($Ag_2S_2O_3$) en mg/l	0,176	0,031
c) pH	6,3	6,9

AGRARPROJEKT
report certified by
K. W. Gagnal
Dr. Karl Sponagel, [illegible]

Anexo 4. Cálculos matemáticos en el análisis estadístico de un diseño DCA 2x3.

Tratamientos	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Suma Trat	Prom trat
d1t1	2,3	3,4	2,5	1,8	10,02	2,51
d1t2	41,4	33,0	43,4	35,9	153,70	38,42
d1t3	43,7	31,8	39,9	40,0	155,46	38,87
d2t1	3,7	2,4	3,2	3,1	12,41	3,10
d2t2	4,8	3,6	4,6	3,8	16,82	4,21
d2t3	5,3	3,4	4,2	4,4	17,31	4,33
	3696,11	2141,80	3533,78	2936,12	365,73	15,24
				12307,82	48629,53	
					12157,38	

	t1	t2	t3	Suma d	Prom d	
d1	10,02	153,70	155,46	319,18	26,60	104044,66
d2	12,41	16,82	17,31	46,54	3,88	8670,39
Suam t	22,43	170,52	172,78	365,73		
Prom t	2,80	21,32	21,60		15,24	

	59431,49
	7428,94
CÁLCULOS	
1. FC=	5573,15
2. SC Totales=	6734,67
3. SC Trat=	6584,24
3a. SC(T) =	1855,79
3b. SC(D) =	3097,24
3c. SC(DxE) =	1781,64
4. SC E Exp=	150,43

Elaborado por: Gallardo, 2014

Anexo 5. Fotografía de la etiqueta del STS utilizado en la investigación.

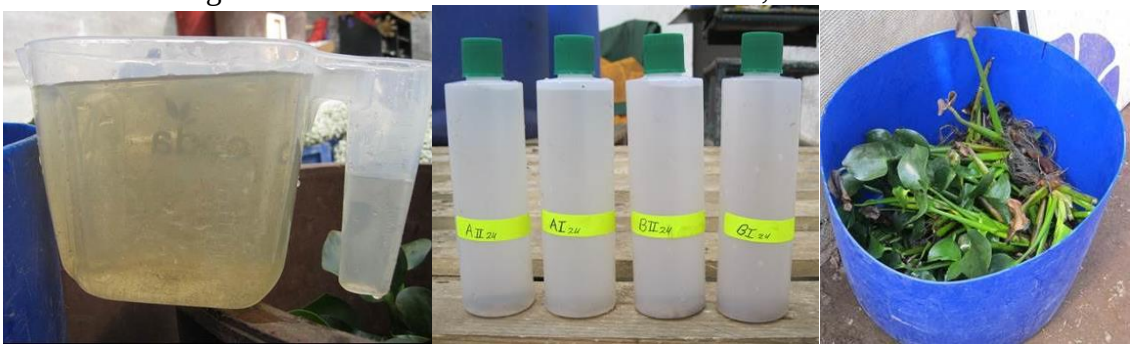
Anexo 6. Fotografía de la recolección del Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en el reservorio de la finca.

Anexo 7. Fotografía de la instalación del ensayo con de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en tanques.

Anexo 8. Fotografía de la preparación de las soluciones de hidratación de cada tratamiento en estudio.

Anexo 9. Fotografía del sistema radicular del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

Anexo 10. Fotografía de la toma de muestras de soluciones, de tratamientos.



Anexo 11. Fotografía de la preparación de la muestra del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

Anexo 12. Fotografía de equipos, utilizados en laboratorio.

Anexo 13. Fotografía de espectrómetro de Absorción Atómica utilizado en laboratorio y del certificado de calibración.

Anexo 14. Fotografía de Photron para lectura de Plata, utilizado en laboratorio.

Anexo 15. Fotografía de soluciones, estándar y 10 ppm de Plata.

Anexo 16. Fotografía del aspecto de lirio acuático (Testigo) después de 72 horas de instalado el ensayo.

Anexo 17. Fotografía del aspecto de lirio acuático (dosis de 2 mL de STS / L de agua) después de 72 horas de instalado el ensayo.

Anexo 18. Fotografía del aspecto de lirio acuático (dosis de 12 mL de STS / L de agua) después de 72 horas de instalado el ensayo.