

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta  
de fitorremediación de metales pesados en la  
Laguna de Yahuarcocha



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**EVALUACIÓN DE *THYPA LATIFOLIA* EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO Y  
PROPUESTA DE FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON  
METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA**

Realizado por:

**JORGE RENATO OQUENDO ANDINO**

Director del proyecto:

**DR. PABLO CASTILLEJO PhD.**

Como requisito previo a la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA**

Quito, febrero del 2016.

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta  
de fitorremediación de metales pesados en la  
Laguna de Yahuarcocha

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, JORGE RENATO OQUENDO ANDINO, con cédula de identidad # 1711401834, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he 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.

Jorge Renato Oquendo Andino

C.C.: 1711401834

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

### **EVALUACIÓN DE *THYPA LATIFOLIA* EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO Y PROPUESTA DE FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA**

Realizado por:

**JORGE RENATO OQUENDO ANDINO**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA**

ha sido dirigido por el profesor

**PABLO CASTILLEJO**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

**Pablo Castillejo**

DIRECTOR

Los Profesores Informantes:

**MIGUEL MARTINEZ-FRESNEDA MESTRE**

**KATTY CORAL**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador.

**Miguel Martínez- Fresneda**

**Katty Coral**

Quito, febrero de 2016

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis es dedicada a mi madre Melva, ella con su motivación, ejemplo y sacrificio fue el artífice de este gran gusto que tengo por la investigación, además de haber confiado siempre en mis capacidades, ella guía siempre mi camino y forja mi destino desde el cielo.*

*A mi esposa Synthia por aguantar el duro compromiso de sacrificar tiempo valioso de nuestro hogar, por velar los esfuerzo y largas noches de espera de mis viajes, esperando ansiosa mi arribo para seguir con la jornada de trabajo, este esfuerzo es para ti también mi negrita, lo logramos.*

*A todas las personas que me apoyaron y confiaron en mí, aquí está el resultado de una ardua labor de espacio y tiempo culminada con éxito.*

**MISIÓN CUMPLIDA**

*Renato Oquendo A.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por haberme dado fuerzas en los momentos más difíciles y velar siempre por mi bienestar personal y haber despertado en mi ese deseo ferviente de descubrir y brindar mis conocimientos a los demás.*

*A la Universidad Internacional SEK por haberme permitido con su apertura escalar un peldaño más en mi formación profesional.*

*A todos los profesores de la Maestría en Gestión Ambiental en la Industria, en especial a mi director el PhD. Pablo Castillejo, PhD. Miguel Martínez Fresneda-Mestre y a la Ing Katty Coral. Msc, que con sus conocimientos lograron inculcar en mi este compromiso por el cuidado del ambiente además de haber brindado las herramientas idóneas para esta ardua labor.*

*A mis amigos entrañables Máximo Velázquez y Mónica Cruz por el caminar juntos en este tiempo agradable de adquisición de conocimientos, acolite y locuras.*

*A Eliana Boada y su familia por su importante aporte en la realización de esta tesis en su fase de campo y laboratorio.*

*A la familia Mina Vaca y Mina Armijos por bríndame su ayuda y apoyo incondicional para que este sueño sea cumplido.*

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURAMENTADA .....	iii
DECLARATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
TABLA DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
INDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
CAPITULO I.....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA.....	3
1.2. ANTECEDENTES .....	3
1.3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	6
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo General .....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DEL PROYECTO. ....	7
1.5.1. Laguna de Yahuarcocha.....	7
CAPITULO II .....	10
2. MARCO TEÓRICO .....	10
2.1 CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA .....	10

2.1.1.	Fuentes de contaminación .....	11
2.1.1.1.	Fuentes fijas .....	11
2.1.1.2.	Fuentes difusas .....	11
2.1.2.	Generalidades de las aguas residuales.....	12
2.1.3.	Aguas residuales urbanas. ....	13
2.2.	CONTAMINACIÓN DE AGUA POR METALES PESADOS .....	13
2.2.1.	Procedimientos para la remoción de metales pesados .....	14
2.2.2.	Generalidades del Plomo.....	14
2.2.3.	Características físicas y químicas del plomo.....	14
2.2.4.	Toxicidad del plomo.....	14
2.2.5.	Fuentes generadoras de plomo .....	15
2.3.	FITOREMEDIACIÓN .....	16
2.3.1.	Tipos de fitorremediación .....	17
2.3.1.1.	Fitoextracción .....	18
2.3.1.2.	Rizofiltración .....	18
2.3.1.3.	Fitoestimulación. ....	18
2.3.1.4.	Fitoestabilización.....	18
2.3.1.5.	Fitotransformación.....	19
2.3.1.6.	Fitodegradación .....	19
2.3.1.7.	Fitovolatilización .....	19
2.3.2.	Fitorremediación de metales pesados.....	20
2.3.2.1.	Criterios de selección de plantas para la fitorremediación.....	21
2.3.3.	Mecanismos de tolerancia para contaminantes metálicos.....	22
2.3.3.1.	Adsorción de metales pesados a superficies biológicas .....	23

2.3.3.2.	Biología de la acumulación de metales en plantas. ....	24
2.4.	GENERALIDADES DE <i>Typha latifolia</i> .....	25
2.4.1.	Descripción General.....	25
2.4.2.	<i>Typha latifolia</i> L. ....	26
2.4.2.1.	Descripción taxonómica .....	27
2.5.	HUMEDALES ARTIFICIALES.....	28
2.5.1.	Generalidades.....	28
2.5.2.	Tipos de humedales.....	29
2.5.2.1.	Humedal artificial de flujo superficial.....	29
2.5.2.2.	Humedal artificial de flujo subsuperficial .....	29
2.6.	MARCO LEGAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN EL ECUADOR.....	31
2.6.1.	Normativa Nacional .....	31
2.6.2.	Leyes Orgánicas .....	32
2.6.2.1.	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	32
2.6.2.2.	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua .....	33
2.6.3.	Normativa Internacional.....	34
2.6.3.1.	Protocolo del Pacífico Sudeste Contra la Contaminación de Fuentes Terrestres 34	
2.6.4.	Leyes Especiales .....	35
2.6.4.1.	Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental .....	35
2.6.4.2.	Tratado Unificado de Legislación Ambiental, TULSMA (acuerdo ministerial 067). 35	
2.6.5.	Ley del Régimen Municipal Ibarra vigente año 2009.....	37

2.6.6. Normas Técnicas INEN .....	38
CAPITULO III .....	39
3. METODOLOGÍA .....	39
3.1. FASE DE CAMPO .....	39
2.6.7. Protocolo de recolección y procesamiento de individuos de <i>Typha latifolia</i> .....	39
3.2. FASE DE LABORATORIO .....	43
3.2.1. Unidades experimentales.....	43
3.2.2. Condiciones ambientales.....	44
3.2.3. Preparación y aplicación de contaminantes .....	44
3.2.4. Cuantificación de la concentración de plomo absorbida por <i>Typha latifolia</i>	46
3.3. ANALISIS DE DATOS .....	52
3.3.1. Porcentaje de remoción .....	52
3.3.2. Análisis del diseño experimental.....	52
3.4. PROPUESTA DE HUMEDALES PARA LA DEPURACIÓN DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA .....	52
CAPITULO IV .....	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1. RECOLECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE INDIVIDUOS DE <i>TYPHA LATIFOLIA</i> .....	54
4.2. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE PLOMO ABSORBIDO POR <i>TYPHA LATIFOLIA</i> .....	55
4.2.1. Porcentaje de remoción .....	56
4.2.3. Medición de Ph del medio.....	58
4.2.4. Análisis de varianza y prueba de significación .....	59

4.3. PROPUESTA DE HUMEDALES PARA LA DEPURACIÓN DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA .....	63
4.3.1. Aspectos relevantes para la implantación Implementación de los Humedales artificiales en la Laguna de Yahuarcocha. ....	64
CAPITULO V .....	67
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
6. BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXO A.....	77
ANEXO B .....	78
ANEXO C .....	79
REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de la Laguna de Yahuarcocha.....	8
Tabla 2. Principales contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua. ....	12
Tabla 3. Comparación de costos entre métodos de fitorremediación y métodos convencionales (pesos mexicanos). ....	16
Tabla 4. Ventajas y desventajas del proceso de fitorremediación.....	17
Tabla 5. Procesos de fitorremediación. ....	20
Tabla 6. Descripción taxonomica de <i>Typha latifolia</i> .....	27
Tabla 7. Límites máximos permisibles para plomo en Ecuador .....	36
Tabla 8. Límites permitidos para contaminantes en el agua .....	38
Tabla 9. Composición del Turba Rubia marca Stender .....	40
Tabla 10. Datos obtenidos en la absorción de plomo en las muestras .....	56
Tabla 11. Análisis de Varianza con prueba de Tukey al 0,05%.....	60
Tabla 12. Sitios sugeridos para la implantación de humedales artificiales con <i>Typha latifolia</i> . .....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Laguna de Yahuarcocha.....	7
Figura 2. Procesos de fitorremediación.....	22
Figura 3. Procesos de captación de metales pesados por la célula vegetal.....	25
Figura 4. Ilustración de <i>Typha latifolia</i> .....	27
Figura 5. Diagramas con los diferentes tipos de humedales artificiales; flujo superficial y flujo subsuperficial horizontal.....	30
Figura 6. Recolección de individuos de <i>Typha latifolia</i> en Yahuarcocha.....	39
Figura 7. Sustrato utilizado para el mantenimiento de las plántulas.....	40
Figura 8. Procesamiento de muestras vegetales de <i>T. latifolia</i> .....	41
Figura 9. Diseño experimental para aplicación de contaminantes.....	41
Figura 10. Diagrama del protocolo de recolección y mantenimiento de la fase de campo.....	42
Figura 11. Diseño experimental para la aplicación de los contaminates.....	43
Figura 12. Preparación de soluciones con plomo.....	44
Figura 13. Aplicación de las dosis con concentraciones de plomo.....	45
Figura 14. Medición de Ph del medio.....	45
Figura 15. Lavado y empaquetamiento de raíces despues del tratamiento.....	46
Figura 16. Muestras resultantes de la expocisión al contaminante.....	46
Figura 17. <b>Secado de las muestras.</b> .....	47
Figura 18. Muestras secas de raíces de <i>Typha latifolia</i> .....	47
Figura 19. Peso de la muestra y calibración de la balanza analítica.....	48
Figura 20. Aplicación de reactivos para la digestion ácida.....	48
Figura 21. Digestión ácida de las muestras.....	49
Figura 22. Curva de calibración del espectrofotómetro de absorcion atómica (Pb).....	49
Figura 23. Muestras digeridas listas para la lectura.....	50
Figura 24. Medición de concentración de plomo de las muestras.....	50
Figura 25. Protocolo para cuantificación de plomo absorbido por <i>Typha latifolia</i> .....	51
Figura 26. Puntos de muestreo de <i>Typha latifolia</i> en la Laguna de Yahuarcocha.....	54
Figura 27. Estado de las plántulas antes y despues del tratamiento con plomo.....	55
Figura 28. Concentraciones obtenidas de los tratamientos con plomo.....	56

Figura 29. Porcentaje de remoción de plomo para el tratamiento con 2 ppm.....	57
Figura 30. Porcentaje de remoción de plomo para el tratamiento con 5 ppm.....	57
Figura 31. Porcentaje de remoción de plomo para el tratamiento con 10 ppm.....	57
Figura 32. Variación del Ph para el tratamiento de 2 ppm.....	58
Figura 33. Variación del Ph para el tratamiento de 5 ppm.....	58
Figura 34. Variación del Ph para el tratamiento de 10 ppm.....	59
Figura 35. Variación de Ph del control. ....	59
Figura 36. Comparación de medias y asignación de tratamientos. ....	60
Figura 37. Concentración media de Fe, Mn, Cu y Pb en 5 macrofitas (BT <i>Bidens tripartitus</i> , PA <i>Poligoniun amphibium</i> , LE <i>Lycopus europaeus</i> , TA <i>Typha angustifolia</i> , TL <i>Typha</i> <i>latifolia</i> ).....	62
Figura 38. Sitios propuestos para humedales artificiales con <i>Typha latifolia</i> .....	63

## RESUMEN

La Laguna de Yahuarcocha comprende un ecosistema de gran importancia ecológica, económica y escénica. La contaminación de este cuerpo lacustre por aguas residuales producidas por actividades humanas aledañas, ha sido causante del deterioro de su estado trófico. El presente estudio propone una alternativa de fitorremediación con una especie presente en la laguna para depurar aguas con metales pesados. El objetivo fue verificar la capacidad de *Typha latifolia* L. como matriz hiperacumuladora de metales pesados como Pb. Durante el experimento, *T. latifolia* fue cultivada en un sustrato de turba estéril enriquecida con nutrientes y expuesta a diferentes concentraciones de plomo; 2, 5 y 10 ppm respectivamente. Se comprobó la capacidad de absorción del metal con pruebas de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos mostraron que las muestras utilizadas como control ya poseían plomo bioacumulado en sus raíces con una concentración media de 5,80 ppm. El tratamiento con exposición a 2 ppm llegó a un rango de 7,01 ppm con un porcentaje de absorción del 62%, el tratamiento con exposición 5 ppm alcanzó un rango de 7,8 ppm y un porcentaje de absorción del 40%, finalmente el tratamiento con exposición a 10 ppm tuvo un límite de concentración de 8,55 ppm y un porcentaje de absorción del 27%. Comprobada la capacidad de absorción y remoción del contaminante en el medio, se realiza propuesta de humedales artificiales de flujo subsuperficial con la especie en los lugares más expuestos a contaminación en la laguna de Yahuarcocha.

**Palabras clave:** *Typha latifolia*, bioacumulación, fitorremediación, metales pesados, plomo, humedales artificiales, Yahuarcocha.

## ABSTRACT

The lagoon of Yahuarcocha comprises a water ecosystem of great ecological, economic and scenic importance. The pollution of this body of water produced by human activities wastewater has caused damage to the ecosystem and varies the trophic status. This research work, come through with a phytoremediation alternative system, using native species of plants found at the lagoon to remove heavy metals out from the water. The aim was to verify the capacity of *Typha latifolia* L. as hyperaccumulator matrix of lead. During the experiment *T. latifolia* was sowed in propagating substrate and exposed to lead in three different concentrations (2, 5 and 10 ppm). Atomic absorption spectroscopy was used to analyze the amount of lead that the roots removed. The results showed that the samples used as control had lead in their roots with an average concentration of 5.80 ppm. Treatment with exposure to 2 ppm reached a range of 7.01 ppm with an absorption rate of 62%, treatment with 5ppm exposure reached a range of 7.8 ppm and an absorption rate of 40%, finally the treatment with exposure to 10 ppm limit 8,55ppm concentration and absorption rate of 27%. *T. latifolia* removed effectively lead and was able to accumulate these metals in the roots. Tested the absorption capacity and pollutant removal, was proposed the implementation of subsurface flow wetlands in the most contaminated areas at Yahuarcocha.

**Palabras clave:** *Typha latifolia*, bioacumulation, phytoremediation, heavy metals, lead, wetland, Yahuarcocha,

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA

El presente plan de titulación busca evaluar la capacidad de bioacumulación y tolerancia de la especie *Typha latifolia* con plomo (nitrato de plomo), a través de ensayos de laboratorio. Los resultados obtenidos podrán brindar una alternativa de depuración de aguas residuales contaminadas con metales pesados en la zona que comprende la Laguna de Yahuarcocha mediante la implementación de humedales artificiales con dicha especie.

#### 1.2. ANTECEDENTES

A través de la historia, el ser humano ha sido el causante de la contaminación de los ecosistemas del planeta con la emisión de sustancias nocivas, muchas de ellas de elevada toxicidad y persistencia. Las prácticas humanas como la industria, la ganadería y la minería, han causado una acumulación creciente de metales pesados y compuestos orgánicos generando un deterioro en los recursos naturales e inclusive riesgo para la salud humana. El ingreso de estos contaminantes en nuestro organismo se efectúa mediante la inclusión de los mismos en la cadena trófica con productos agrícolas y ganaderos además de su lixiviación en el agua de consumo humano (Peuke & Rennenberg, 2005).

Como parte de los servicios ecosistémicos que la naturaleza brinda al ser humano encontramos los recursos hídricos, la contaminación de los mismos ha generado un problema ambiental grave ya que el agua es un recurso indispensable para la vida en el planeta y vital para la supervivencia de los seres humanos. El tratamiento del agua residual es un reto de la población comprometida con el desarrollo sustentable. La producción de efluentes

contaminantes es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, procesos que modifican las características de calidad del agua, contaminándola e impidiendo su uso posterior. El vertido de aguas residuales sin tratamiento previo provoca daños irreversibles al medio ambiente y a la salud pública (Henry & Heinke, 1999).

Sin embargo, desde el siglo pasado los cuerpos de agua, especialmente los ecosistemas lacustres y embalses, son cada vez más contaminados, llevando un deterioro gradual de la ecología y la dinámica de estos sistemas hídricos. Si no existiera modificación alguna de estos procesos de polución, podrían ocurrir daños irreparables como la eutrofización de los mismos y la pérdida de la parte biótica que de este recurso depende. Los tipos de afectaciones más comunes son la extracción de la vegetación circundante, la contaminación por agroquímicos, derivados de aceites y lubricantes. También existe una alteración por caza y pesca incontrolada, el turismo y la urbanización (Coello *et al.* 2005; Maridueña *et al.*, 2011).

No obstante, existe la posibilidad de captar estos iones metálicos con organismos vivos como las plantas, donde pueden ser removidos del medio natural acumulándolos en las estructuras vegetales y por ende bajando la toxicidad en el cuerpo de agua. Precisamente, dichos metales se han encontrado en ríos de la amazonía ecuatoriana, así también en lagos importantes de la serranía como en el caso de la Laguna de Yahuarcocha (Escobar, 2002). Existen varios estudios de la laguna en mención que indican el alto grado de contaminación. En la actualidad ha llegado a niveles críticos dando como resultado el cambio drástico de las propiedades fisicoquímicas del cuerpo de agua generando mala calidad del recurso hídrico (Erazo & Jaramillo, 2005; Portilla, 2015).

En la Laguna de Yahuarcocha existen varias actividades antrópicas como agricultura, ganadería, hotelería, actividades deportivas y de recreación que, sumando a las prácticas ambientales inadecuadas y a la falta de sensibilidad de la población, agravan sustancialmente la contaminación dentro de la misma. Este cuerpo lacustre recolecta una serie de fuentes de aguas residuales, las cuales provienen de actividades humanas sin un tratamiento preliminar. Este proceso aporta un aumento de carga orgánica y provoca eutrofización del lago produciendo una disminución del cuerpo de agua y expansión de plantas acuáticas (Pabón, 2015). Otro de los problemas que contempla el lago es la contaminación con metales pesados causados por el uso de pesticidas, derrames de lubricantes y combustibles. Además, se registra que, en el año 2014, la máquina de dragado

del municipio se hundió en la laguna y produjo un derrame de 20 galones de diésel y 7 de aceite. (Herrera 2003; Pabón *et al.* 2012; Ecuavisa, 2014a). Finalmente, para corroborar la presencia de metales en la laguna, el Instituto Nacional de Pesca (INP), realizó estudios sobre una especie introducida de crustáceo el *Procambarus clarkii*, al realizar el análisis de los individuos se encontraron alto niveles de metales pesados entre ellos plomo, mercurio y cadmio (Ecuavisa, 2014b).

Con todo lo expuesto anteriormente se torna indispensable la generación de técnicas de depuración de aguas residuales que garanticen la efectividad del proceso a costos accesibles y sin causar afectaciones al ambiente. Para la descontaminación de aguas residuales se utilizan generalmente tratamientos fisicoquímicos tradicionales que poseen una eficacia limitada si no son bien aplicados, además de costos muy elevados para su implementación. Actualmente se propone nuevas alternativas para este problema como son los procesos de fitorremediación, que utiliza características intrínsecas de las especies vegetales de extraer y metabolizar un sinnúmero de contaminantes orgánicos inclusive metales pesados (Campos del Pozo, 2011).

Para Núñez *et al.*, (2004), la fitorremediación es un proceso que se basa en el uso de plantas tolerantes para reducir *in situ* o *ex situ* la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos. Los procesos fisiológicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema radicular conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

Las plantas acuáticas o macrofitas son especies vegetales afines a cuerpos de agua y generalmente se incluyen como parte de los ecosistemas lacustres y de estuarios. Este es el caso del grupo de las "Eneas", especies del género *Typha*, son plantas emergentes, herbáceas y perennes de distribución mundial en especial en zonas templadas. Poseen un sistema radicular bien desarrollado con brotes de donde salen hojas a partir de yemas en los rizomas. Otro aspecto relevante es el desarrollo de un tallo rastrero subterráneo engrosado por la acumulación de carbohidratos producidos en la fotosíntesis. Estas plantas forman vastos humedales asociados a las orillas de los lagos y cuerpos de agua dulce con un rol de depuración de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, producidas tanto de forma natural como artificial (Fernández de la Mora, 2009).

La especie considerada para el estudio *Typha latifolia*, ha sido reconocida como una especie idóneas para humedales artificiales y procesos de fitorremedicación por ser tolerantes a altas concentraciones de metales, además de ser una especie representativa en los ecosistemas lacustres de la zona de Imbabura. Esta especie se caracteriza por ser una planta acuática, perennes y robusta de base dura, con raíces fibrosas con hojas reducidas a vainas de color café oscuro, lustrosas y casi siempre abiertas” (Mercure, 2004; Sasmaz, A., Obek, E., & Hasar, H, 2008;).

### **1.3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

La importancia del presente proyecto de investigación radica en la propuesta de depuración de aguas contaminadas con organismos vivos como las plantas, utilizando especies existentes en el medio, procurando resolver el grave problema de contaminación por metales pesados que sufren diversos sistemas lénticos ecuatorianos. Además, se puede citar como aspecto relevante que puede brindar una alternativa económica a bajo costo, ya que se utilizaría un recurso natural renovable y disminuiría la necesidad de compra de servicios que ofertan el tratamiento de aguas residuales. La especie que se utilizaría para realizar el proceso de fitorremediación en humedales artificiales produce mucha menos biomasa que otras macrofitas utilizadas para el mismo proceso como el lechugin *Eichhornia crassipes* o la lenteja de agua *Lemna minor*, lo que facilitará el mantenimiento de los sistemas de tratamiento y disposición final.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la capacidad de absorción de *Thypa latifolia* expuesta a diferentes concentraciones de plomo en condiciones de laboratorio.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar la capacidad de bioacumulación de plomo en los rizomas de *Typha latifolia*

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha

- Cuantificar la concentración de plomo absorbida por la planta en base a un análisis de espectrofotometría de absorción atómica.
- Proponer estrategias de fitorremediación con humedales artificiales utilizando *T. latifolia* para depuración de aguas residuales con metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha.

## 1.5. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DEL PROYECTO.

### 1.5.1. Laguna de Yahuarcocha

Se encuentra ubicada al norte del Ecuador en la provincia de Imbabura aproximadamente a unos 3 Km. de la ciudad de Ibarra, ocupa los flancos orientales de la Cordillera de los Andes. Se localiza geográficamente en los 00°22'300 N y 78°06'100 O (Pabón *et al.*, 2012; Coello *et al.*, 2011; Maridueña *et al.*, 2011).

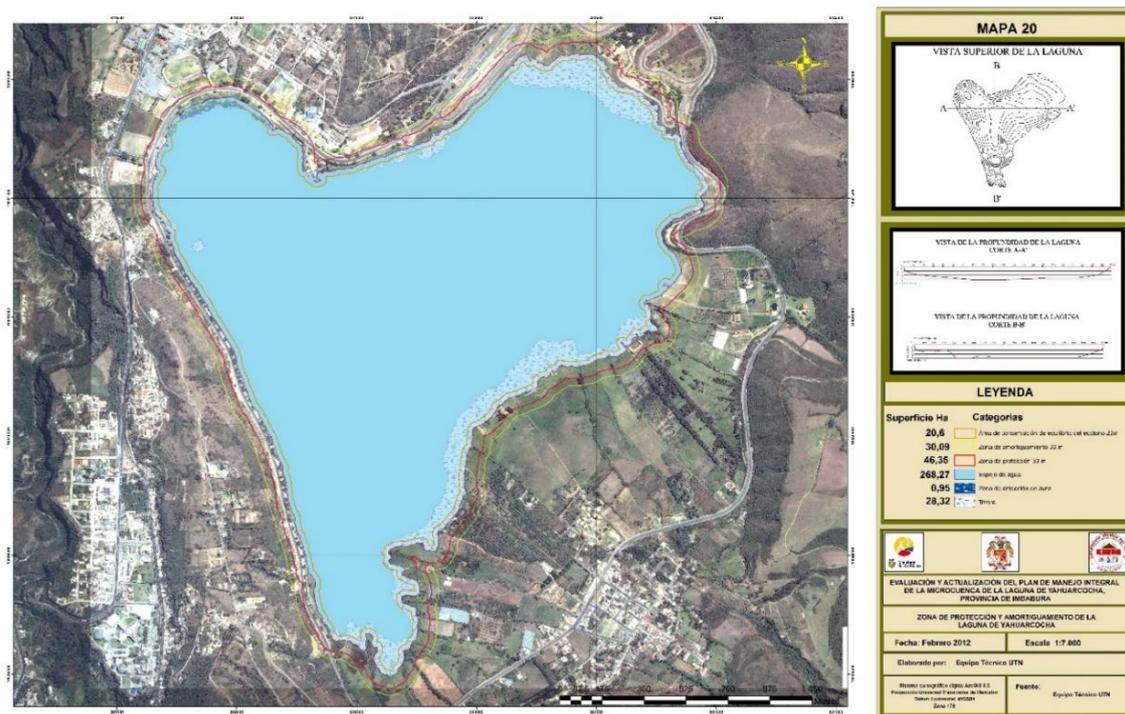


Figura 1. Mapa de la Laguna de Yahuarcocha

Fuente: Pabón *et al.* (2012)

La microcuenca alta que alberga la laguna de Yahuarcocha se compone de Bosque Muy húmedo Montano, mientras que en las zonas bajas corresponde a una vegetación de

Bosque Seco Montano Bajo. En el sector se pueden diferenciar tres tipos de clima: ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, ecuatorial frío semi-húmedo y ecuatorial frío húmedo; se ha determinado que existen tres meses ecológicamente secos que van desde junio hasta mediados de agosto y tres meses de lluvia que va desde marzo hasta mayo (Pabón *et al.*, 2012).

El cuerpo de agua posee una forma alargada y se alimenta de forma natural por medio del escurrimiento proveniente de las precipitaciones. Además, posee entradas principales que son: las Quebradas de Manzanahuayco-Santo Domingo, Polo Golo y San Antonio, el cual posee un régimen hídrico intermitente y se vacía en la época seca de la laguna; y de forma artificial por medio del Río Tahuando (Maridueña *et al.*, 2011). El suelo varía desde limoso a limo-arenoso, con presencia de arenas muy finas y suelos derivados de cenizas volcánicas. Presenta vegetación cultivada como maíz en los terrenos aledaños y la vegetación nativa con plantas acuáticas sumergidas emergentes y flotantes (Erazo & Jaramillo, 2005).

Tabla 1. Características generales de la Laguna de Yahuarcocha

PARÁMETRO	YAHUARCOCHA
Altitud	2200 m.
Altitud máxima	3750 msnm
Temperatura máxima	25 °C
Temperatura mínima	5 °C
Precipitación anual	750 mm
Área	25,07 km <sup>2</sup>
Área de la laguna	2,61 m <sup>2</sup>
Perímetro	26,96 km
Área urbana	6.07 %
Plantaciones	1,86%
Área agrícola	23,64%
Páramo	1,64%
Profundidad de la laguna	7.93 m.

**Fuente:** Blomme, 2014; Pabón, *et al.*, 2012.

Según Blomme (2014), en el área que comprende la Laguna de Yahuarcocha existen un sinnumero de plantas acuáticas que cumplen un rol importante de depuración del ecosistema lacustre. Entre las más importantes tenemos; *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia*, *Arundo donax*, *Egeria densa*, *Potamogeton sp.*, *Azolla sp.* y *Eichhornia crassipes*

entre otras. Estudios recientes de distribución y evaluación de macrofitas en la laguna de Yahuarcocha (Pabón, 2015), muestran que en los transectos realizados en zonas aledañas al espejo de agua, la totora *Schoenoplectus californicus* y la colla *Typha latifolia* son las especies más abundantes en la laguna, comprobando una vez más la representatividad de esta planta emergente en la zona de estudio.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA

El agua es un recurso muy apreciado y necesario para el desarrollo y equilibrio de la vida en el planeta, además de un factor de gran importancia para el bienestar humano. La contaminación de este recurso ha causado un sinnúmero de enfermedades graves que han diezmado a poblaciones enteras causando epidemias debido a agentes bacterianos, virales y químicos. Según Da Ros (1995), el agua contaminada posee una baja calidad por la alteración de su composición y deja de ser apta para actividades humanas; en el Ecuador esta degradación ha causado que la mayoría de fuentes de agua dulce como ríos y esteros contengan sustancias nocivas y que no se realice ningún tratamiento por restaurarlas.

En la actualidad existe una gran presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial. Según la UNESCO (2003) el 69% del agua dulce disponible se destinará a prácticas agrícolas, el 23% a la industria y el 8% al consumo doméstico. Aproximadamente seis mil millones de habitantes del planeta han acaparado 54% del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. En el 2025, el hombre consumirá el 70% del agua disponible. Esta estimación se ha realizado considerando únicamente el crecimiento demográfico.

La mayor preocupación sobre esta temática es la presencia potencial de contaminantes químicos nocivos que pueden ser orgánicos como inorgánicos como metales pesados; estos residuos son producidos por fuentes industriales, agrícolas y generalmente por la escorrentía humana. Todos estos factores hacen que el agua de consumo humano, riego y recreación sea un vector de enfermedades e intoxicación a los seres vivos (Manahan, 2006).

### **2.1.1. Fuentes de contaminación**

Las principales fuentes contaminantes se pueden dividir en dos tipos, estos se detallan a continuación:

#### **2.1.1.1. Fuentes fijas**

Son considerados como fuentes fijas las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción, explotación y construcción como excavaciones explotación agrícola, aprovechamiento forestal, minería, etc. Los contaminantes son nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos específicos y radionúclidos. Los componentes de los desechos t pueden ser microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico y se encuentran combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias. Los desechos de la industria proveen altas cantidades de materia orgánica provenientes de las plantas procesadoras de alimentos y bebidas y de la industria del cuero y de la madera. Otras actividades aumentan la descarga de sedimentos como los relaves mineros (GESAMP 2001).

#### **2.1.1.2. Fuentes difusas**

Estas fuentes corresponden a los desechos emitidos por prácticas agrícolas, el uso de pesticidas e insecticidas, así como el aporte de residuos de insumos agrícolas y restos de vegetales y animales. Este efluente producido contamina aguas subterráneas y acuíferos. El aumento de prácticas forestales sobre todo de plantaciones nativas, es una fuente difusa de contaminantes que produce cargas de nutrientes, pesticidas y sedimentos. El principal efecto de estas actividades es el incremento en la movilización de sedimentos, nutrientes y material particulado (Escobar, 2002).

Tabla 2. Principales contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua.

CONTAMINANTES Y PROCESOS	DESCRIPCIÓN	FUENTES
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales ( <i>E. coli</i> , protistas, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos generados de la combustión del petróleo.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola

Modificado de: Kraemer, Choudhury y Kampa (2001).

### 2.1.2. Generalidades de las aguas residuales

Los contaminantes más comunes de las aguas residuales incluyen la materia orgánica, sólidos disueltos y suspendidos provenientes de las aguas negras y grises, producto de las descargas urbanas y rurales. También poseen gases con diferente concentración como oxígeno disuelto, ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico y metano. Otros productos que constituyen

estas aguas provenientes de actividades industriales pueden ser metales pesados como plomo, cadmio, mercurio cromo y zinc. Finalmente el componente biológico que contamina estos cuerpos de agua que constituye la carga bacteriana, mohos, virus y protozoarios (Seoáñez, 1995).

### **2.1.3. Aguas residuales urbanas.**

Falcón, (1990), manifiesta que las aguas residuales son aguas que han sido utilizadas por la población y en ellas se encuentren un sinnúmero de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas. Estas son el resultado de combinación de los líquidos y/o desechos arrastrados por el agua procedente de casas, edificios comerciales, establecimientos industriales y aguas superficiales o de precipitación. La principal fuente de estas aguas residuales son los desechos humanos y animales, desperdicios caseros, corrientes pluviales y vertidos industriales.

## **2.2. CONTAMINACIÓN DE AGUA POR METALES PESADOS**

Los metales pesados son elementos electropositivos de densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, poseen un número atómico superior a 20 (Vardanyan & Ingole, 2006). Tienen una característica de bioacumulación en tejidos vivos a través de su paso por los distintos eslabones de las cadenas tróficas. En concentraciones elevadas, ocasionan graves problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos (Roy *et al.*, 2005).

Los orígenes de estos compuestos tóxicos, son muy diversos. Los más relevantes son las operaciones industriales como son las fundiciones, fábricas, y de plantas mineras. Algunas de las industrias que generan aguas residuales contaminadas por metales pesados entre otros contaminantes son: azucarera, petrolera, cervecera, textil, celulosa y papel, acabados metálicos, cobre y sus aleaciones, curtiduría, alimenticias, hierro y acero. Estas fuentes son clasificadas como focos puntuales de contaminación, aunque el escurrimiento de estos complejos es considerado como una fuente difusa (Laubstein, 2010).

### **2.2.1. Procedimientos para la remoción de metales pesados**

Los métodos convencionales y procesos existentes para la remoción de metales pesados de aguas residuales son principalmente la precipitación, coagulación, intercambio iónico, filtración, y ultra-filtración. Sin embargo, estos procesos requieren demasiadas construcciones, tanques, estaciones de bombas, así como una gran cantidad de compuestos químicos, energía, y personas capacitadas. Estos métodos, además, generan grandes volúmenes de lodos para ser procesados, los cuales presentan a su vez un alto costo en su tratamiento (Howard, 2000).

### **2.2.2. Generalidades del Plomo**

Uno de los primeros metales utilizados en el desarrollo de la civilización fue el plomo debido a su bajo punto de fusión y maleabilidad, además de combinarse muy fácilmente con otros metales formando aleaciones, cualidades atractivas para artesanos que construyen tuberías y derivados de lubricantes.

### **2.2.3. Características físicas y químicas del plomo**

El plomo es el metal pesado más abundante en la naturaleza, tiene una densidad relativa o gravedad específica de 11,4 a 16°C. Físicamente el plomo es de color azul, se empaña para adquirir un color gris mate, es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su punto de fusión es 327,4°C y el de ebullición es 1725°C. Las valencias químicas normales son  $2^+$  y  $4^+$ .

Químicamente, combinado con otros elementos forma compuestos con características únicas y altamente útiles, tiene la capacidad de formar muchas sales óxidos y compuestos. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas (Rubio *et al*, 2004).

### **2.2.4. Toxicidad del plomo**

Altas concentraciones de plomo que son tóxicas algunas veces provienen de la actividad humana de extraer y fundir adhesivos de utensilios hechos de peltre (aleación de plomo), soldadura de plomo, cerámica, plomo-vidrioso, ventanas de cristal de colores, de tubos de

plomo e instalación de cañerías. Otras actividades que se realizan son la descomposición de pinturas basadas en plomo, y el uso de gasolinas con aditivos de plomo. A pesar de sus numerosas aplicaciones beneficiosas, el plomo se define como un peligro a la salud humana en concentraciones relativamente pequeñas dentro del cuerpo, que se pueden adquirir por ingestión de alimento y agua o inhalando partículas aerotransportadas (Sánchez, 1999).

El cuerpo humano posee 120 mg de plomo en su organismo. Aproximadamente del 10 al 20% del plomo es absorbido por las vías digestivas. Los síntomas de la exposición al plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis. Los efectos del envenenamiento por plomo son de carácter neurológico. El plomo orgánico puede causar afectaciones a neuronas y daño en el sistema nervioso. El plomo inorgánico crea degeneración nerviosa. Ambas especies de plomo causan edema cerebral y congestión. Los compuestos orgánicos del plomo se absorben rápidamente y por lo tanto suponen un mayor riesgo (Lenntech, 2008).

Los compuestos orgánicos del plomo pueden tornarse cancerígenos. Las mujeres son generalmente más susceptibles al envenenamiento que los hombres. El plomo causa alteraciones en el ciclo menstrual y aumenta el riesgo de aborto. Los fetos son más susceptibles al envenenamiento por plomo y pueden nacer con este metal en su sangre. Los niños pueden absorber hasta un 40% más de plomo por unidad de masa corporal que los adultos. El tipo más severo de envenenamiento causa encefalopatía. La toxicidad del plomo tiene lugar cuando los iones de plomo reaccionan con grupos tiol en proteínas, como enzimas, y éstas se quedan activadas. Además, es el causante del Saturnismo que es una afectación que genera anemia ya que el plomo bloquea la síntesis de hemoglobina de la sangre (Newtenberg, 2010).

### **2.2.5. Fuentes generadoras de plomo**

La galena (sulfuro de plomo) es el mineral natural con más porcentaje de plomo. El uso más amplio de plomo se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de tetraetilo de plomo, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave, municiones, plomadas para pesca y también en la fabricación de juguetes. El plomo tiene un amplio uso en la construcción, en particular en la industria química ya que es resistente al ataque por parte de muchos ácidos porque forma

su propio revestimiento protector de óxido. Además, durante mucho tiempo, el plomo se ha empleado como pantalla protectora para las máquinas de rayos X (Aguilar, 2003).

Su utilización como cubierta para cables, ya sea la de teléfono, de internet o de electricidad, sigue siendo una forma de empleo. La ductilidad única del plomo lo hace particularmente apropiado para esta aplicación, porque puede estirarse para formar un forro continuo alrededor de los conductores internos. Las fuentes de exposición al plomo han cambiado en los años recientes, con la declinación de la gasolina plomada y de la soldadura del plomo en latas de alimentos (Jacobs, 1996).

### 2.3. FITOREMEDIACIÓN

Para Delgadillo-López, et al., (2011), la remediación ambiental con especies vegetales se beneficia de la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. La fitorremediación reduce *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos contaminantes a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. Estas tecnologías poseen ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de costos entre métodos de fitorremediación y métodos convencionales (pesos mexicanos).

Caso	Tratamiento con fitorremediación	Costo (miles de pesos)	Tratamiento convencional	Costo (miles de pesos)	Ahorro proyectado
Pb en suelo, 0.405 ha	Extracción, recolección, disposición	\$150-200	Excavación y disposición	\$500	50-65%
Solventes en agua subterránea, 1.012 ha	Degradación y control hidráulico	\$200 de instalación y mantenimiento inicial	Bombeo y tratamiento	\$700 costo de funcionamiento anual	50% de ahorro por tres años
Hidrocarburos en suelo, 0.405 ha	Degradación <i>in situ</i>	\$50-100	Excavación, incineración y disposición	\$500	80%

Fuente: Movahed, N. M., Mohammad, M. (2009).

Los procesos de fitorremediación poseen una serie de ventajas y limitaciones. Estas pueden tomarse en cuenta desde parámetros de comparación con otras tecnologías convencionales o simplemente con la ingeniería en sí del proceso. Estos parámetros se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del proceso de fitorremediación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas (costo 7-10 veces menor respecto de los métodos tradicionales).	El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o a aguas poco profundas.
- Las plantas emplean energía solar.	La fitotoxicidad es un limitante en áreas fuertemente contaminadas.
- Se puede realizar <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> .	Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.	La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.
Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.	Deben considerarse contaminaciones potenciales de la cadena alimentaria y napas de agua.
Es una metodología con buena aceptación pública.	Se requiere comprender mejor la naturaleza de los productos de degradación (Fitodegradación).
Se generan menos residuos secundarios.	Se requieren áreas relativamente grandes.

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

### 2.3.1. Tipos de fitorremediación

Según Metamerry (2011), los procesos de remediación ambiental con plantas se clasifican en:

### **2.3.1.1. Fitoextracción**

Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea). Esta técnica es usada principalmente para remediar metales y otros tóxicos inorgánicos (Se, As, radionucleótidos). Se utiliza para el tratamiento de contaminaciones con metales ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ).

### **2.3.1.2. Rizofiltración**

Las raíces de las plantas se usan para adsorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados. Técnica relativamente cara de implementar, siendo útil para cantidades pequeñas de aguas residuales conteniendo compuestos inorgánicos peligrosos (radionucleidos). Los humedales artificiales se utilizan para una amplia gama de contaminantes inorgánicos (metales, percloratos, cianuro, nitratos y fosfatos) y contaminantes orgánicos (explosivos y herbicidas). Se emplea en el tratamiento de contaminaciones por:

- Metales ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ )
- Radioisótopos
- Compuestos orgánicos hidrofílicos.

### **2.3.1.3. Fitoestimulación.**

Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos). Es usado para remediar contaminantes orgánicos hidrofóbicos que no pueden ser incorporados por la planta pero que pueden ser degradados por los microorganismos (PCBs, PAHs e hidrocarburos derivados del petróleo). Las plantas proveen el hábitat para el incremento en el tamaño y actividad de poblaciones microbianas.

### **2.3.1.4. Fitoestabilización**

Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire. Esta técnica es usada cuando se plantan coberturas vegetales en sitios conteniendo contaminantes orgánicos o inorgánicos; o cuando se usan

árboles como barreras hidráulicas para permitir el filtrado de contaminantes orgánicos e inorgánicos. • Empleada en el tratamiento de contaminación por:

- Metales ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{As}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ )
- Compuestos orgánicos hidrofóbicos: hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), bifenilopoliclorados (PCBs), dioxinas, furanos, pentaclorofenol, DDT, dieldrina

#### **2.3.1.5. Fitotransformación**

La fitotransformación comprende los procesos de fitodegradación y fitovolatilización

Empleada en tratamientos de contaminación por:

- Herbicidas (atrazina, alaclor)
- Aromáticos (BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos)
- Alifáticos clorinados (TCE: tricloroetileno; tetracloroetileno)
- Desechos de nutrientes ( $\text{NO}_3$ )
- Desechos explosivos (TNT; RDX: hexahidrottrinitrotriazina)

#### **2.3.1.6. Fitodegradación**

Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos. Es útil para compuestos orgánicos que se movilizan dentro de la planta, (herbicidas, TNT, MTBE y TCE).

#### **2.3.1.7. Fitovolatilización**

Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera mediante la transpiración. Esta técnica puede utilizarse para compuestos orgánicos con formas volátiles (TCE y MTBE) y para algunos compuestos inorgánicos que pueden existir en forma volátil (Se y Hg).

Tabla 5. Procesos de fitorremediación.

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
<b>Fitoextracción</b>	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
<b>Rizofiltración</b>	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
<b>Fitoestabilización</b>	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
<b>Fitoestimulación</b>	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
<b>Fitovolatilización</b>	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
<b>Fitodegradación</b>	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

**Fuente:** Reigosa, 2004.

Las lagunas con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores. Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por las plantas acuáticas, se pueden considerar a los sistemas de fitorremediación acuática como una alternativa ecológica y económicamente viable, no solo para el tratamiento de los efluentes municipales sino también para efluentes industriales (Olguín, 1994).

### 2.3.2. Fitorremediación de metales pesados

La actividad minera en particular genera una gran cantidad de desperdicios que rara vez son tratados adecuadamente. En sitios mineros se identifican dos fuentes principales de contaminantes: el proceso primario de tratamiento de metales y la generación de residuos mineros. Estos contaminantes son depositados en tiraderos a cielo abierto, donde contaminan el suelo y la atmósfera. El transporte de los contaminantes hacia los mantos freáticos ocurre

cuando se contaminan suelos de origen volcánico o calcáreo, que son muy porosos, los contaminantes elementales son lavados y son transportados a aguas subterráneas en donde se acumulan y forman parte del ciclo hidrológico.

Muchos suelos agrícolas tienen contaminación por metales pesados debido a la aplicación recurrente de fertilizantes y pesticidas. Aunque la concentración de metales peligrosos en estos suelos es generalmente mucho menor a la que puede encontrarse en zonas mineras y regiones industriales, a menudo sobrepasan los niveles permitidos y representan un riesgo para el ambiente y la salud humana porque entran a las cadenas tróficas y se bioacumulan en los organismos superiores (Weis & Weis, 2004).

### **2.3.2.1. Criterios de selección de plantas para la fitorremediación**

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las plantas, su estacionalidad y el tipo de metal a remover. Por lo mismo, para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características (Núñez, Meas, Ortega, & Olgún, 2004):

- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales.
- Ser acumuladoras de metales.
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Ser fácilmente cosechables.

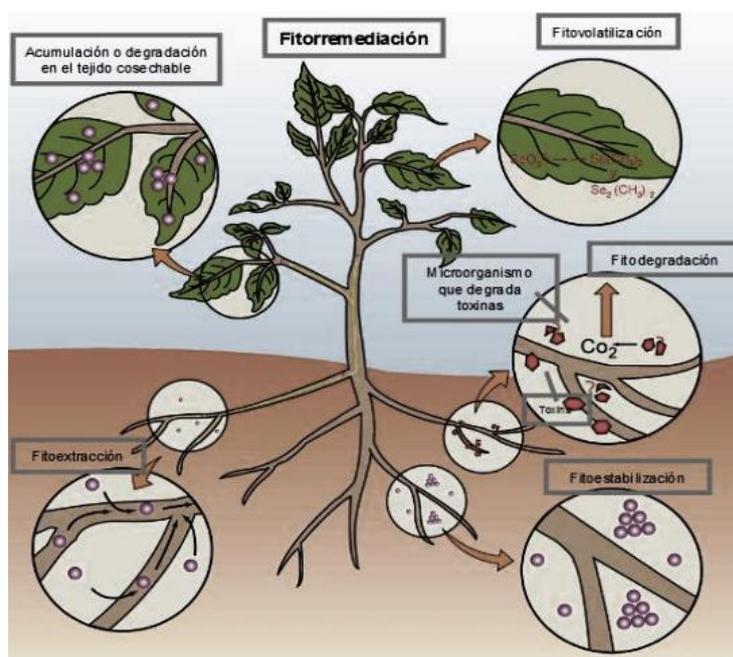


Figura 2. Procesos de fitorremediación

Fuente: Buchanan *et al.* (2000).

### 2.3.3. Mecanismos de tolerancia para contaminantes metálicos

Las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes (Navarro-Aviñó, 2007):

- Fase I. Corresponde al transporte de los metales pesados al interior de la planta e interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interaccionan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica.
- Fase II Las **metalotioneínas** son polipéptidos de unos 70-75 aminoácidos con un alto contenido en cisteína, aminoácido capaz de formar complejos con cationes mediante el grupo sulfhídrico. Tienen una marcada afinidad por las formas iónicas de Zn, Cd, Hg y Cu.
- Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

Debido a su alta afinidad por las proteínas y muchas otras moléculas biológicas, los metales pesados no existen en los sistemas biológicos en una forma libre o independiente. Las plantas tienen diferentes mecanismos de respuesta ante la presencia de compuestos tóxicos como los metales pesados. Entre ellos, destacan los mecanismos de exclusión, mineralización, reducción, solubilización, acumulación, quelación y translocación. Algunos son pasivos, como la adsorción por exclusión y otros son activos, es decir, que requieren energía metabólica para llevarse a cabo, como la acumulación, translocación o relocalización. La translocación es un tipo de alteración de un patrón de compartimentalización del metal, es decir, algunas plantas translocan o transfieren el exceso de metal a las hojas viejas, otras limitan el transporte de la raíz al tallo (Reed, 1990).

La hiperacumulación combina los aspectos de adsorción, transporte y translocación de metales. Se considera que existe este proceso en las plantas, cuando la concentración del metal acumulado en los tejidos de las plantas se encuentra en el rango de 0,1-1% del peso seco de la planta, este porcentaje es particular para diferentes metales. Hasta la fecha, han sido reportadas más de 430 especies como hiperacumuladora de metales pesados desde hierbas anuales hasta arbustos perennes y árboles. Por ejemplo, manglares como *Avicenia*, han sido reportados como hiperacumuladores de cobre, plomo y zinc (Mac, 2002).

### **2.3.3.1. Adsorción de metales pesados a superficies biológicas**

La adsorción es un proceso por el cual las moléculas se adhieren a superficies sólidas. La adsorción física no es específica, y las fuerzas que atraen a las moléculas a las superficies de los sólidos son relativamente frágiles. La energía de activación por adsorción física usualmente no es mayor de una Kcal/gmol. En la adsorción, los iones metálicos son secuestrados de la solución a través de algunos mecanismos como intercambio iónico, quelación, adsorción por fuerzas físicas y atrapamiento de iones. En general, los mecanismos de remoción son diferentes entre las distintas especies de plantas y estarán determinados por el tipo de metal. Sin embargo, la adsorción es sin duda el mecanismo de remoción extracelular más reportado en plantas acuáticas (Salegar, 1998).

### 2.3.3.2. Biología de la acumulación de metales en plantas.

Las plantas acuáticas emplean dos mecanismos para separar metales y otros contaminantes (incluyendo radioisótopos) de aguas polucionadas Metamberry (2011),

- Reacción superficial rápida independiente del metabolismo: proceso de difusión que finaliza cuando los iones metálicos solubles se unen o adsorben a la pared celular. Puede remover cantidades significativas en minutos.

- Reacción de incorporación intracelular lenta dependiente del metabolismo: proceso de transferencia desde la pared celular al interior de la célula. Demanda horas o días.

- Captación por las raíces:
  - Movilización de los metales
  - Quelación mediante fitosideróforos
  - Unión a proteínas quelantes (fitoquelatinas)
  - Acidificación por exudado de H<sup>+</sup>
  - Captación por la raíz
  - Vía apoplástica
  - Vía simplástica
- Transporte:
  - Almacenamiento en raíz o exportación al tallo por xilema
  - Transporte por xilema o redistribución por floema
  - Almacenamiento en vacuolas.
- Mecanismos de evasión o tolerancia:

- Captación celular limitada (evasión)

- Metabolismo tolerante a metales pesados

- Detoxificación por quelación, compartimentalización o precipitación.

- Mecanismos más probables:

- Compartimentalización en vacuolas y quelación con fitoquelatinas (Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> )

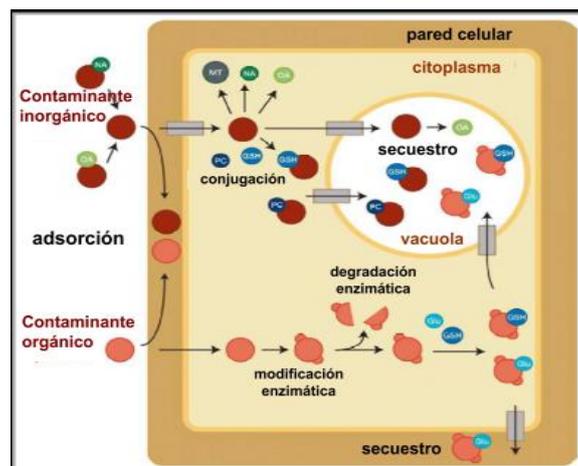


Figura 3. Procesos de captación de metales pesados por la célula vegetal

Fuente: Metamberry (2011).

## 2.4. GENERALIDADES DE *Typha latifolia*

### 2.4.1. Descripción General.

La familia de las Typhaceae está formada por un único género, el género *Typha*, de características morfológicas bastante homogéneas. Se trata de plantas acuáticas helófitas, esto es, plantas acuáticas con sistema radicular arraigado en el fango o fondo del humedal, y estructura vegetativa que emerge por encima de la lámina de agua; por esa razón también se denominan macrofitas emergentes. Son plantas herbáceas la planta, ya que están envainadas unas con otras. La hoja consta de vaina parte envolvente y lámina o limbo porción plana y extendida de la hoja, emergente. En función de la especie que se trate, también puede haber aurículas, que son como expansiones laterales de la parte superior de la vaina. La forma de la lámina de la hoja de las enneas es muy característica (Fernández de la Mora, 2009).

Todas las enneas son plantas monoicas; es decir, en un mismo espécimen aparecen flores unisexuales femeninas y flores unisexuales masculinas. En las enneas las flores se agrupan densa mente en inflorescencias unisexuales botánicamente son del tipo espiga compuesta-diferenciadas, que se sitúan muy próximas entre sí en el extremo del escapo floral; la inflorescencia masculina en la parte más apical del escapo floral, y la inflorescencia femenina por debajo de la masculina, pudiendo estar ambas inflorescencias prácticamente seguidas una de la otra, o estar separadas por un espacio axial de varios centímetros.

El conjunto de la inflorescencia femenina tiene una apariencia similar a un ‘puro’, por su grosor y coloración marrón; bruscamente está seguida por el conjunto diferenciado de la inflorescencia masculina, de forma cilíndrica, similar a la forma de la femenina, pero no así su grosor más fino generalmente y coloración amarillenta por el polen; todo ello atravesado por un largo eje erecto (tallo aéreo o escapo floral) de grosor fino, prácticamente constante en toda su longitud. estigma; el gineceo está formado por un único carpelo, que contiene un único rudimento seminal. Además, la flor femenina lleva en su base un conjunto de pelos sedosos y, dependiendo de la especie que se trate, entre esos pelos se distingue fácilmente una escama estéril alargada, ya que su extremo está más o menos aplanado(Grace & Harrison, 1986).

El género *Typha* está representado por únicamente tres especies: *T. latifolia* L., *T. angustifolia* L, y *T. domingensis* (Pers.) Steudel, que ocasionalmente pueden hibridar entre sí. Los caracteres morfológicos más útiles para su identificación son: anchura del limbo foliar, presencia de glándulas mucilaginosas en la parte interna de la vaina foliar, presencia de escamas estériles (bractéolas), pigmentación de éstas y color de la inflorescencia femenina. (Fernández de la Mora, 2009).

#### **2.4.2. *Typha latifolia* L.**

Es una planta robusta, que alcanza más de 2 m de altura. La vaina de la hoja esta normalmente abierta en el extremo superior más próximo a la lámina, y se observan aurículas. En la cara interna de la vaina foliar no se observan a simple vista glándulas mucilaginosas oscuras. La lámina de la hoja es de color verde-grisáceo pálido, y tiene unos 8-20 mm de anchura. En el tallo floral las inflorescencias femenina y masculina están muy próximas entre sí (0-2.5cm entre sí). La femenina es de color marrón muy oscuro, larga (8-15 cm de longitud) y bastante gruesa (2-3 cm de diámetro). En esta especie, los pelos que acompañan a la flor femenina salen a partir de una cierta longitud (= 1mm) del pie del gineceo (ginóforo); no tiene escamas estériles.

### 2.4.2.1.Descripción taxonómica

Tabla 6. Descripción taxonomica de *Typha latifolia*

Reino:	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta,</i>
Clase:	<i>Liliopsida,</i>
Subclase:	<i>Commelinidae</i>
Orden:	<i>Typhales</i>
Familia:	<i>Typhaceae,</i>
Especie:	<i>Typha latifolia,</i>

Fuente: de Carvalho, *et al* (2014).

La aplicabilidad de las eneas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas es muy amplia. Pueden aplicarse en sistemas de flujo superficial, aprovechando su condición de halófito, en flujo sub-superficial, como plantas arraigadas en la grava, y en sistemas acuáticos en flotación inducida, optimizando el papel filtrante de su sistema radicular. Los resultados de diferentes experiencias indican que, en comparación con otras plantas utilizadas para tratamiento de aguas (*Scirpus validus* y *Juncus effusus*, entre otras) las eneas son las plantas más eficaces para la fitodepuración (Fernández de la Mora, 2009).



Figura 4. Ilustración de *Typha latifolia*

Fuente De Carvalho, *et al.* (2014).

## **2.5. HUMEDALES ARTIFICIALES**

### **2.5.1. Generalidades.**

Los humedales son áreas que se caracterizan por tener un suelo saturado de agua y una comunidad viviente (plantas y animales) adaptados a la vida acuática o a un suelo saturado. El término humedal (wetland, en inglés) se usa para definir áreas que tienen tres componentes típicos (CIEMA, 2005):

- Presencia de agua: el área permanece inundada permanente o periódicamente con una profundidad menor de un metro.
- Suelos característicos: clasificados como hídricos.
- Vegetación: prevalecen las plantas macrófitas adaptadas a las condiciones hidrológicas y del suelo.

Los humedales son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático y sirven como enlace dinámico entre los dos. El agua que se mueve arriba y abajo del gradiente de humedad, asimila una variedad de constituyentes químicos y físicos en solución, ya sea como detritus o sedimentos. Estos sistemas proveen sumideros efectivos de nutrientes y contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad es el mecanismo detrás de los humedales artificiales, también denominados wetlands, para simular un humedal natural con el propósito de tratar las aguas residuales de empresas y municipios (Frers, 2008).

Los humedales artificiales actúan como filtros naturales de depuración de aguas, pueden ser ubicados entre la planta y los recursos acuáticos (ríos, lagos, lagunas), estos sistemas, además de no necesitar mantenimiento ni consumir energía eléctrica, cuestan menos que la cuarta parte de un sistema de tratamiento tradicional. Los humedales se construyen utilizando diferentes especies de plantas que abundan en la zona: totoras, lenteja de agua, lechugin y juncos. Además de la depuración de aguas residuales, los humedales ofrecen beneficios ambientales agregados como son: crear y restaurar nichos ecológicos, generan mejoramiento paisajístico, contribuyen a la captura de carbono, contribuyen a la generación de zonas de amortiguamiento de crecidas de ríos, recargas y descargas de aguas subterráneas,

regulación del clima, retención de suelos y sedimentos, y hábitat para la polinización (Delgadillo, 2010).

### **2.5.2. Tipos de humedales**

Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales: los de flujo superficial (FWS – Free Water Surface) y los de flujo subsuperficial (SFS – Sub Surface Flow).

#### **2.5.2.1. Humedal artificial de flujo superficial**

Consiste en canales con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable, o con una cubierta impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos que oscilan entre 0.1 y 0.6 metros (Ñique, 2004). El tratamiento se produce durante la circulación lenta del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación.

Este sistema se puede dividir, de acuerdo con el tipo de macrófitas (CIEMA, 2005), en:

- Sistemas con macrófitas flotantes: formados por grandes lagunas con bajos niveles de agua y provistas de plantas macrófitas que flotan libremente en la superficie. Sus raíces sumergidas tienen un buen desarrollo.

#### **2.5.2.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial**

Este tipo de sistemas con macrófitas emergentes que consiste en un filtro biológico relleno de un medio poroso (por ejemplo piedra volcánica, grava), en el cual las plantas macrófitas se siembran en la superficie del lecho filtrante y las aguas residuales pre tratadas atraviesan de forma horizontal o vertical el lecho filtrante, en estos sistemas el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular (Martínez, Toro, Rojas, Giraldo, & Ángel, 2010).

Estos humedales se clasifican a su vez en humedales artificiales de flujo horizontal y humedales artificiales reflujo vertical, según la manera como las aguas residuales pre tratadas atraviesen el lecho filtrante.

- **Humedales de flujo horizontal**

En este tipo de humedal las aguas residuales fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, en una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta la superficie de recolección del efluente.

- **Humedal artificial de flujo vertical**

Aquí las aguas pre tratadas se distribuyen de manera uniforme e intermitente sobre la superficie del lecho filtrante y luego percolan hacia la zona de recolección (Figura 5).

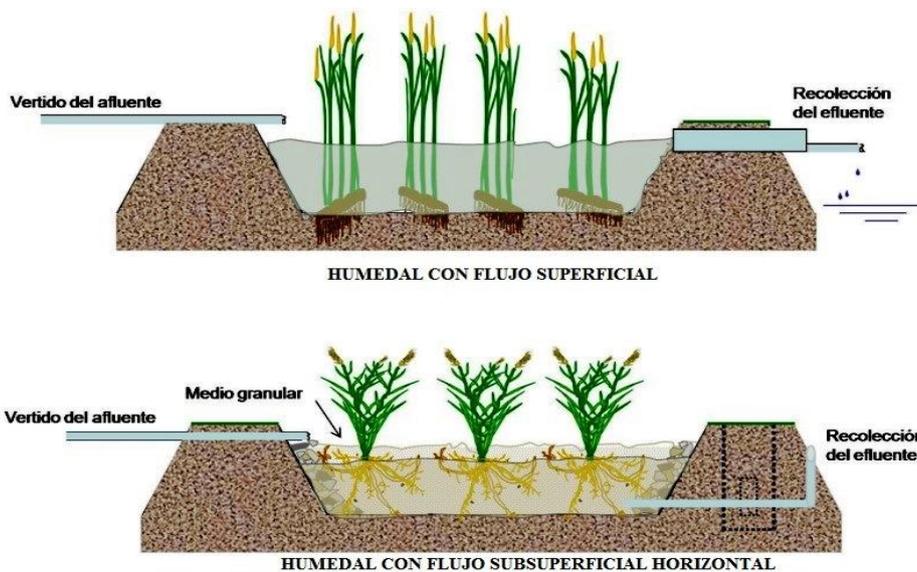


Figura 5. Diagramas con los diferentes tipos de humedales artificiales; flujo superficial y flujo subsuperficial horizontal

**Fuente:** García Serrano & Corzo Hernández, (2008).

## **2.6. MARCO LEGAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN EL ECUADOR**

### **2.6.1. Normativa Nacional**

De acuerdo a las leyes que rigen la República del Ecuador inscritas en su constitución vigente desde al año 2008, se expide un sinnúmero de artículos que consideran a la naturaleza como un ente con derechos, estas leyes promueven la protección y restauración del ambiente en favor de procesos de desarrollo sustentable y sostenible de los recursos naturales renovable y no renovables de la nación. Los artículos referentes a la protección ambiental y uso de sustancias tóxicas se citan a continuación:

**Art. 14.-** Establece los derechos de la población a vivir en un *ambiente sano y ecológicamente equilibrado*. De igual manera, declara de interés público la preservación del ambiente, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Art. 71,** determina la responsabilidad del Estado de incentivar a las personas tanto naturales como jurídicas, y a los colectivos, *para que protejan la naturaleza*, y promover el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

**Art. 72,** establece el *derecho de la naturaleza a la restauración*, derecho que será independiente de la obligación que tiene el Estado, personas naturales y jurídicas, de indemnizar a las personas que dependan de los sistemas naturales afectados.

**Art. 83** determinan que es responsabilidad de todos respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

**Art. 395.-** Que en sus numerales reconoce los principios ambientales siguientes:

- Garantizar un modelo equilibrado de desarrollo que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
- Aplicar las políticas de gestión ambiental de manera transversal serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
- Garantizar la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

## **2.6.2. Leyes Orgánicas**

### **2.6.2.1. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)**

## **CAPÍTULO III**

### **Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal**

#### **Sección Primera**

#### **Naturaleza Jurídica, Sede y Funciones**

**Artículo 54.- Funciones.** - Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes:

k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales;

#### **Artículo 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.**

Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; protección de las fuentes y cursos de agua; prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; y, educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza. Estas actividades serán coordinadas con las políticas, programas y proyectos ambientales de todos los demás niveles de gobierno, sobre conservación y uso sustentable de los recursos naturales.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos **contaminantes en ríos, lagos, lagunas**, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.

#### **2.6.2.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua**

Segundo Suplemento Registro Oficial N° 305 miércoles 6 de agosto de 2014

**Artículo 4.- Principios de la Ley.** Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios.....

- a) La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
- b) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;

g) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua; y,

h) La gestión del agua es pública o comunitaria.

## **TÍTULO V**

Infracciones, sanciones y Responsabilidades

Capítulo I Infracciones.

**Artículo 150.- Clasificación de infracciones.** Las infracciones administrativas contempladas en esta Ley se clasifican en leves, graves y muy graves.

**Artículo 151.- Infracciones administrativas en materia de los recursos hídrico**

c) Infracciones muy graves:

**9.** Verter aguas contaminadas sin tratamiento o sustancias contaminantes en el dominio hídrico público;

**10.** Acumular residuos sólidos, escombros, metales pesados o sustancias que puedan contaminar el dominio hídrico público, del suelo o del ambiente, sin observar prescripciones técnicas....

### **2.6.3. Normativa Internacional**

#### **2.6.3.1. Protocolo del Pacífico Sudeste Contra la Contaminación de Fuentes Terrestres**

### **Artículo I. ÁREA DE APLICACIÓN**

El ámbito de aplicación del presente Protocolo comprende el área del Pacífico Sudeste dentro de la Zona Marítima de soberanía y jurisdicción, hasta las 200 millas de las Altas Partes Contratantes, así como las aguas interiores hasta el límite de las aguas dulces.

El límite de las aguas dulces será determinado por cada Estado Parte, de acuerdo con los criterios técnicos o científicos pertinentes.

## **2.6.4. Leyes Especiales**

### **2.6.4.1. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental**

## **CAPITULO VI**

### **De la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas**

Art. 16.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna y a las propiedades.

### **2.6.4.2. Tratado Unificado de Legislación Ambiental, TULSMA (acuerdo ministerial 067).**

#### **Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua**

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

Los límites permisibles de plomo relacionados con cuerpos de agua se detallan a continuación: (Tabla 7).

Tabla 7. Límites máximos permisibles para plomo en Ecuador

TIPO	PARÁMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO
Aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento	Plomo	Pb	mg/l	0,05
Aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección (Tabla 2)	Plomo	Pb	mg/l	0,05
Criterio de calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, marina y estuario	Plomo	Pb	mg/l	0,01 Agua marina y de estuario
Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola (Tabla 6)	Plomo	Pb	mg/l	0,05
Criterios de calidad para aguas de uso pecuario (Tabla 8)	Plomo	Pb	mg/l	0,05
Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (Tabla 11)	Plomo	Pb	mg/l	0,5
Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Tabla 12)	Plomo	Pb	mg/l	0,2

Límites de descarga a un cuerpo de agua marina (Tabla 13)	Plomo	Pb	mg/l	0,5
---	-------	----	------	-----

**Fuente:** Anexo 1 del libro VI TULSMA (Acuerdo ministerial 067).

### 2.6.5. Ley del Régimen Municipal Ibarra vigente año 2009

#### Artículo 69, Numeral 31

Contiene los deberes y atribuciones del Alcalde: Dictar, en caso de emergencia grave, bajo su responsabilidad, medidas de carácter urgente y transitorio y dar cuenta de ellas al consejo, cuando se reúna, si a este hubiere correspondido adoptarlas, para su ratificación.

Considerando:

Que, La cuenca hidrográfica y la Laguna de Yahuarcocha se hallan en peligro grave de destrucción a causa de los cambios, mala práctica turística, agresión ecológica, impacto negativo del ecosistema y falta de conciencia urbanísticas inducidos de forma descontrolada y acelerada por los seres humanos que habitan en la zona y laderas circundantes.

Que, el abastecimiento de agua a la laguna ha sido afectado por la alteración del régimen climático debido al calentamiento global de la Tierra; por la utilización en el riego; se ha reducido sustancialmente el espejo de agua de la laguna; se ha provocado la falta de oxigenación del agua debido a la contaminación, produciendo contaminación con pérdida de hábitat acuático, extinción de peces, aves y especies vegetales

Que, la Municipalidad de Ibarra sobre la Laguna de Yahuarcocha, posee un estudio que propone el desarrollo y control de la zona, como “Plan Integral de Yahuarcocha” que data del año 1983, el mismo que a la fecha ya es desactualizado, debido a las dinámicas poblacionales y socioeconómicas, eventos climatológicos y geomorfológicos asociados a amenazas naturales y con las provocadas con las actividades humanas, por lo que se requiere de su actualización, por ello es imprescindible tener un instrumento técnico legal actualizado, que norme el área de intervención, el uso del suelo urbano y rural, el de la cuenca hidrográfica alta, media y baja de la laguna de Yahuarcocha, así como las disposiciones de la ocupación del territorio, dentro de un contexto racional ecológico, paisajístico, cultural e histórico.

Que, se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético y urbanístico de la zona, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Resuelve. - Declarar en emergencia la cuenca hidrográfica baja, mediana y alta de la Laguna de Yahuarcocha; en resolución Nro. 008-DPM, mediante sesión ordinaria realizada el martes 13 de octubre de 2009 la misma que fue ratificada el miércoles 21 de octubre de 2009.

### 2.6.6. Normas Técnicas INEN

La Norma INEN (980-981) establece los límites permisibles de contaminantes en aguas, considerando cianuros y metales pesados como: arsénico, cadmio, cobre, plomo, cromo, mercurio, etc. A continuación, se presenta una tabla con los parámetros permitidos para los diferentes metales.

Tabla 8. Límites permitidos para contaminantes en el agua

REFERENCIA	EXPRESADO	VALOR (mg/l)
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	1,0
Cadmio	Cd	0,01
Cinc	Zn	15,0
Cloruros	Cl-	250,0
Cobre	Cu	1,0
Cromo	Cr6+	0,05
Mercurio	Hg	0,002
Nitratos	N	10,0
Nitritos	N	1,0
Plata	Ag	0,05
<b>Plomo</b>	<b>Pb</b>	<b>0,01</b>
Selenio	Se	0,01

**Fuente:** Norma ecuatoriana INEN 980-981

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación para la evaluación de la absorción de *Typha latifolia* y propuesta de humedales artificiales para fitorremediación de aguas contaminadas por metales pesados comprende dos fases, las que serán descritas a continuación:

#### 3.1. FASE DE CAMPO

La fase de campo se ejecutó en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, en las riberas de la laguna de Yahuarcocha. Se realizaron visitas de campo previas con caminatas alrededor del espejo de agua para determinar los sitios de muestreo. La elección de toma de muestras se realizó tomando en cuenta como criterio de inclusión a aquellos sectores que presentan mayor abundancia de la especie en mención y más cercanos a descargas de aguas residuales.

#### 2.6.7. Protocolo de recolección y procesamiento de individuos de *Typha latifolia*

Las plántulas fueron cosechadas con herramientas manuales como palas y barrenos, posteriormente fueron colocadas en fundas con el sustrato del sitio (Figura 6).



Figura 6. Recolección de individuos de *Typha latifolia* en Yahuarcocha

Las muestras recolectadas fueron trasladadas al laboratorio de Análisis de Aguas de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Tabacundo (EMASA), allí fueron procesadas retirando el sustrato y colocándolas en los recipientes plásticos de 1 litro. El sustrato utilizado para las muestras fue turba rubia con nutrientes marca Stender (Figura 7). Los componentes del sustrato se detallan a continuación (Tabla 9):

Tabla 9. Composición del Turba Rubia marca Stender

TIPO	PH	SALINIDAD g/l	SUSTANCIA NUTRITIVA mg/l		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
A200-210	5,0-6,0	0,5	70	80	90

Fuente: Alecoconsult, 2009.



Figura 7. Sustrato utilizado para el mantenimiento de las plántulas

Se plantó las muestras individuales y se colocó un sorbete de plástico que realizará la tarea de recolector de gases de la base del recipiente y la aireación del sistema, además se realizó la ordenación de las muestras para la aplicación de los tratamientos en base de las soluciones preparadas en laboratorio (Figura 8).

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha



Figura 8. Procesamiento de muestras vegetales de *T. latifolia*

Los individuos fueron sometidos a un periodo de adaptación de 10 días al nuevo medio nutritivo. Posteriormente fueron etiquetados tomando como referencia el diseño experimental para la aplicación del plomo en las concentraciones definidas como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Diseño experimental para aplicación de contaminantes.

El protocolo de campo para la colecta y mantenimiento de las unidades experimentales se muestra en el diagrama siguiente:



Figura 10. Diagrama del protocolo de recolección y mantenimiento de la fase de campo

### 3.2. FASE DE LABORATORIO

#### 3.2.1. Unidades experimentales

Se montaron 12 unidades experimentales de 4 plántulas cada uno para los diferentes tratamientos. Como control se utilizó únicamente plantas y sustrato.

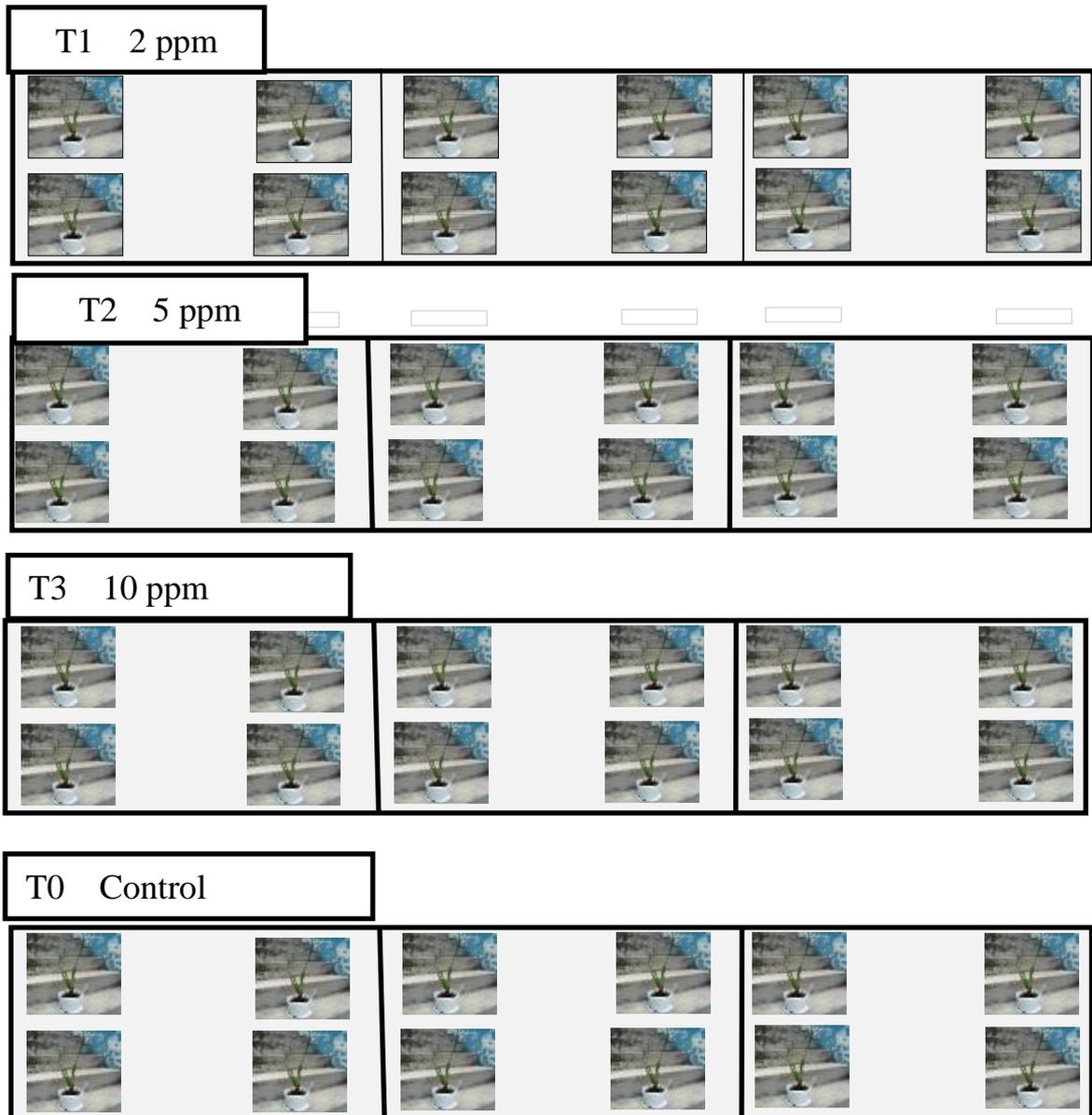


Figura 11. Diseño experimental para la aplicación de los contaminantes.

### 3.2.2. Condiciones ambientales

La biomasa tendrá condiciones estables de temperatura, humedad e intensidad luminosa, como presenta a continuación:

- Un fotoperiodo de 12 horas de luz con 12 horas de oscuridad
- Una temperatura de aire de aproximadamente 20°C
- Humedad del 60%

### 3.2.3. Preparación y aplicación de contaminantes

A partir de la sal inorgánica de nitrato de plomo se preparó una solución *buffer* de concentración 0,01M. Se realizó las diluciones correspondientes hasta tener una solución base de 100 ppm de plomo (Figura 12).



Figura 12. Preparación de soluciones con plomo.

Posteriormente se hicieron las diluciones correspondientes para la aplicación de los tratamientos descritos a continuación.

En base de: Nitrato de Plomo [Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]

- Tratamiento 1: 2 ppm Pb
- Tratamiento 2: 5 ppm Pb
- Tratamiento 3: 10 ppm Pb

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha

- Tratamiento 4: control sin Pb

Se colocaron las soluciones con las concentraciones prescritas de plomo en los individuos como se muestra en la figura 13.



Figura 13. Aplicación de las dosis con concentraciones de plomo.

Las muestras fueron expuestas a las soluciones de plomo aproximadamente 10 días aplicando la metodología de (Alonso-Castro, *et al.* 2009). Los individuos fueron monitoreados semanalmente realizando observaciones de color y estado de la planta. También se realizó un monitoreo del Ph de la solución para identificar diferencias en el transcurso del ensayo al inicio y al final de cada experimento se tomarán fotografías de las muestras para observar los posibles cambios de la apariencia como hojas y raíces (Figura 14.)



Figura 14. Medición de Ph del medio.

### 3.2.4. Cuantificación de la concentración de plomo absorbida por *Typha latifolia*

Transcurrido el tiempo de exposición del contaminante, se procedió a sacar la planta y lavar las raíces secuencialmente. Los rizomas resultantes de cada tratamiento fueron colocados en fundas Ziploc y trasladados al Laboratorio de Análisis Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (LABINAM) para su secado. Las muestras fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 60 grados por tres días para eliminar la humedad y obtener el peso seco de las muestras (Figuras 15, 16, 17 y 18).



Figura 15. Lavado y empaquetamiento de raíces después del tratamiento.



Figura 16. Muestras resultantes de la exposición al contaminante.



Figura 17. Secado de las muestras.



Figura 18. Muestras secas de raíces de *Typha latifolia*

Una vez secas se ingresó las muestras etiquetadas al laboratorio de Análisis Químicos Físicos y Biológicos de la Universidad Técnica del Norte. Posteriormente se realizó la espectrofotometría de absorción atómica modalidad llama para la cuantificación del plomo absorbido por las plantas en cada tratamiento.

### 3.2.5. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Las muestras secas fueron maceradas y entraron al proceso de digestión ácida para eliminar todo residuo orgánico de la muestra, esto se lo realiza añadiendo a 0,5 g de muestra con 8 ml ácido nítrico al 65% y siguiendo el procedimiento indicado en el [Anexo A](#). Finalmente se colocó las muestras en horno digestor Milestone modelo START D calibrado en el 2015, el procedimiento llevado a cabo se muestra en las figuras 19, 20 y 21.

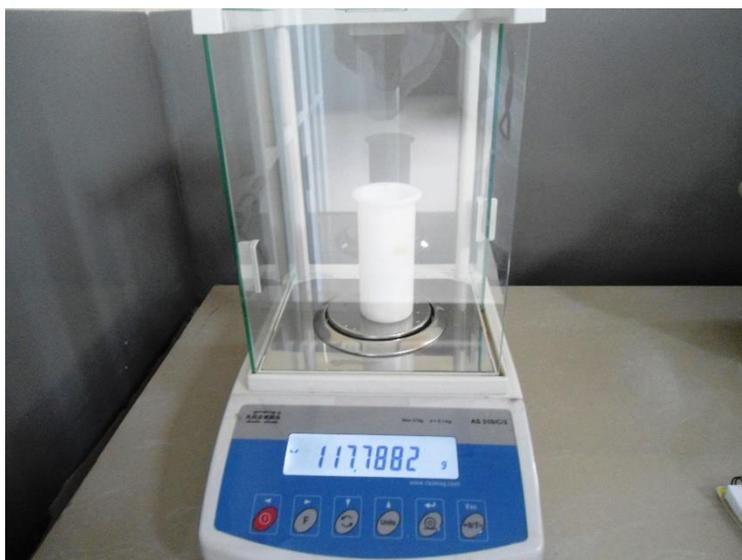


Figura 19. Peso de la muestra y calibración de la balanza analítica.



Figura 20. Aplicación de reactivos para la digestión ácida.

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha

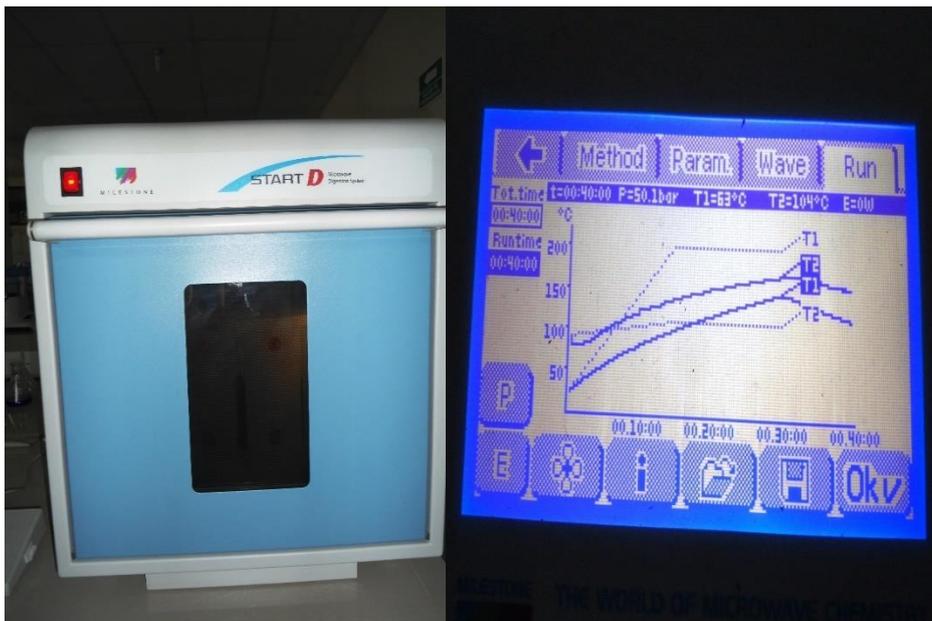


Figura 21. Digestión ácida de las muestras.

Cada análisis se realizó por duplicado para mayor precisión de los datos finales. Una vez digeridas las muestras finales entraron al espectrofotómetro marca PERKIN ELMERS modelo ANALYST 400 para su lectura. Antes de esto se realizó la curva de calibración con la solución de plomo estándar con 5 puntos de concentración de 1, 2, 5, 7, 10 ppm. Este procedimiento se muestra en las figuras 22, 23 y 24.

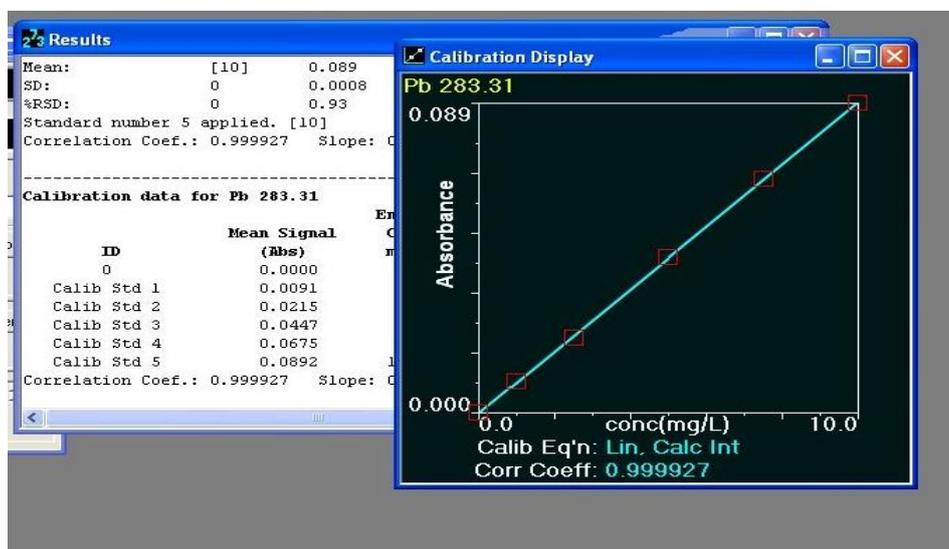


Figura 22. Curva de calibración del espectrofotómetro de absorción atómica (Pb).

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha



Figura 23. Muestras digeridas listas para la lectura.



Figura 24. Medición de concentración de plomo de las muestras.

Finalmente se procedió a realizar la lectura de cada muestra para conocer la cantidad de plomo absorbido por la planta en cada tratamiento.

El protocolo de laboratorio para la cuantificación del plomo absorbido por la especie en estudio se muestra en el diagrama siguiente:



Figura 25. Protocolo para cuantificación de plomo absorbido por *Typha latifolia*

### **3.3. ANALISIS DE DATOS**

#### **3.3.1. Porcentaje de remoción**

El porcentaje de remoción se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

**Donde:**

*C<sub>i</sub>*= Concentración inicial (mg/l) y *C<sub>f</sub>*= Concentración final (mg/l)

#### **3.3.2. Análisis del diseño experimental**

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) aplicando de la prueba de significación de TUKEY al 0,05% para la comparación de medias. El análisis estadístico fue desarrollado usando el programa INFOSTAT teniendo en cuenta los valores de F tabulados.

### **3.4. PROPUESTA DE HUMEDALES PARA LA DEPURACIÓN DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA**

Para realizar este objetivo se realizó una búsqueda bibliográfica de estudios referentes a la contaminación de la laguna de Yahuarcocha para determinar las fuentes puntuales de mayor contaminación al cuerpo de agua. También se utilizó información cartográfica proporcionada por el Instituto Geográfico Militar a escala 1: 25000 y ortofotos de la laguna de Yahuarcocha con definición de 5 km. La información proporcionada fue procesada en el programa Arc. GIS 10.2, el mapa generado constaba de los siguientes mapas temáticos:

- Mapa de estradas y salidas de agua
- Mapa hidrológico.
- Mapa base

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha

Los resultados serán plasmados en un mapa con sistemas de georreferenciación ubicando los lugares idóneos para la construcción de los humedales artificiales usando *Typha latifolia*.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RECOLECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE INDIVIDUOS DE *TYPHA LATIFOLIA*

Se recolectó un total de 48 individuos de la especie *Typha latifolia* en los puntos de muestreo seleccionados. Las muestras fueron procesadas y puestas en el medio nutritivo para la aplicación de los tratamientos con las diferentes concentraciones de plomo. Los puntos de muestreo fueron georreferenciados y ubicados en un mapa base de la Laguna de Yahuarcocha tomando en cuenta las poblaciones más representativas en el cuerpo lacustre. El posicionamiento y mapeo de los sitios de muestreo se observan en la Figura 26.

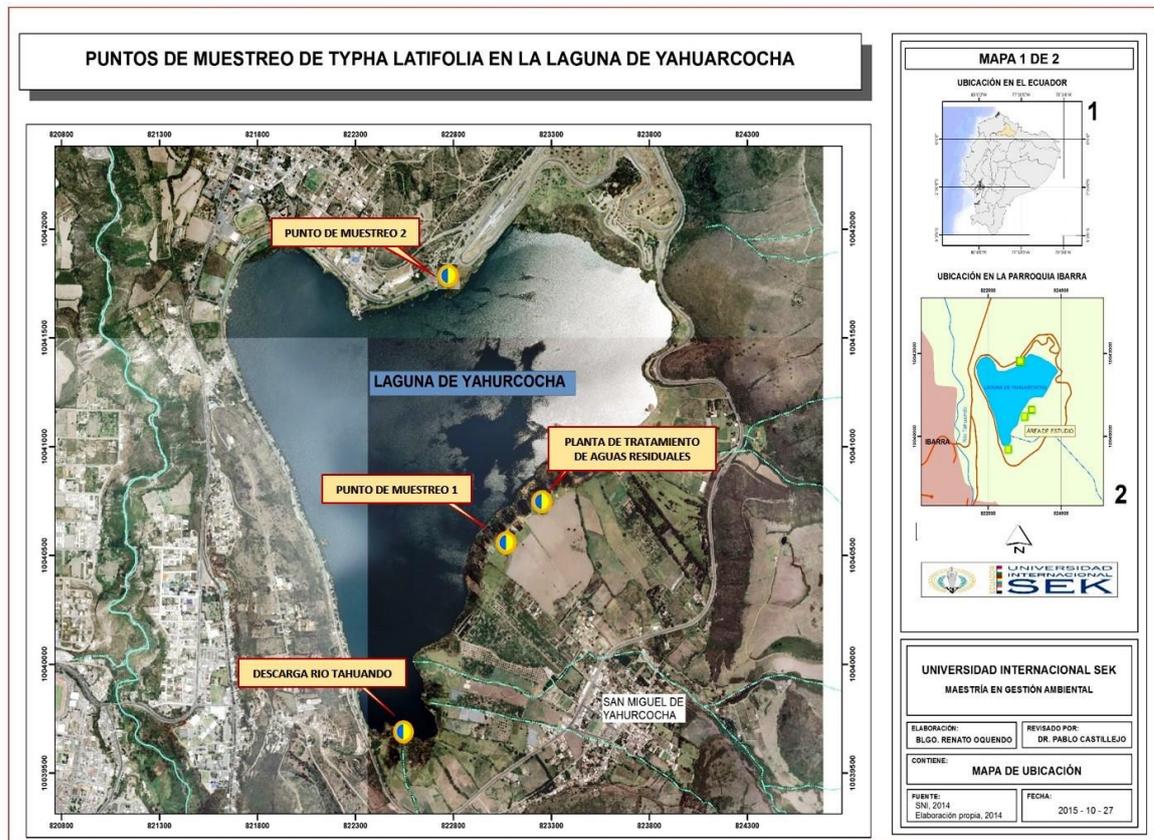


Figura 26. Puntos de muestreo de *Typha latifolia* en la Laguna de Yahuarcocha.

Las plántulas al momento de la recolección y traslado al medio nutritivo presentaron un color verdoso pálido, sin embargo, al final de la aplicación de los tratamientos con plomo se notó tanto el amarillamiento de las puntas hojas como la pérdida de vigor de las mismas. Sin embargo, la planta seguía emitiendo hojas jóvenes y continuaba con su crecimiento normal. Esto se lo puede observar en la figura 27.



Figura 27. Estado de las plántulas antes y después del tratamiento con plomo.

#### 4.2. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE PLOMO ABSORBIDO POR TYPHA LATIFOLIA

Los resultados obtenidos posterior al análisis de espectrofotometría mostraron que las muestras utilizadas como control ya poseían plomo bioacumulado en sus raíces con una concentración media de 5,80 ppm, el tratamiento con exposición a 2 ppm llegó a un rango de 7,01 ppm con un porcentaje de absorción del 62%, el tratamiento con exposición 5 ppm alcanzó un rango de 7,8 ppm y un porcentaje de absorción del 40%, finalmente el tratamiento con exposición a 10 ppm tuvo un límite de concentración de 8,55ppm y un porcentaje de absorción del 27%. Para el cálculo de la concentración absorbida en el tiempo de exposición se realizó la diferencia entre las concentraciones obtenidas y el control. Las concentraciones obtenidas del análisis se muestran en el [Anexo B](#) y la figura 28.

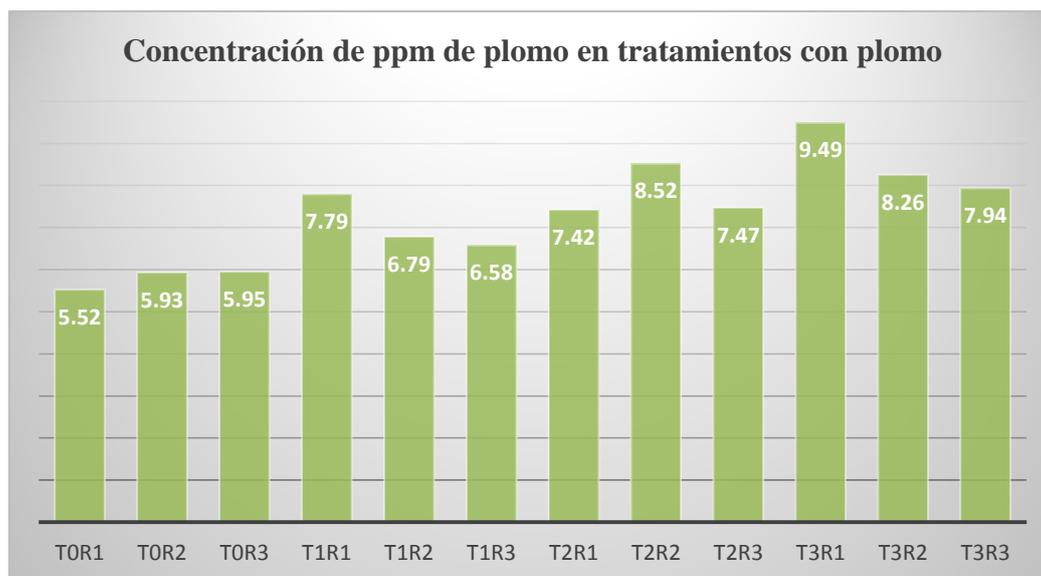


Figura 28. Concentraciones obtenidas de los tratamientos con plomo.

La cantidad de plomo absorbida por los rizomas de la especie en estudio se muestran en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 10. Datos obtenidos en la absorción de plomo en las muestras

Tratamiento	Rep1	Rep2	Rep3	Media	ppm absorbidos
T1	7,79	6,79	6,58	7,05	1,25
T2	7,42	8,52	7,47	7,80	2,00
T3	9,49	8,26	7,94	8,56	2,76

#### 4.2.1. Porcentaje de remoción

La concentración absorbida total para el tratamiento con 2 ppm fue de 1,25 ppm y la concentración final fue 0,75 ppm, para el tratamiento con 5 ppm fue de 2 ppm con una concentración final de 3 ppm y finalmente para el tratamiento con 10 ppm fue de 2,76 ppm con la concentración final de 7,24 ppm. La relación porcentual de remoción del plomo se muestra en las Figuras 29, 30 y 31.

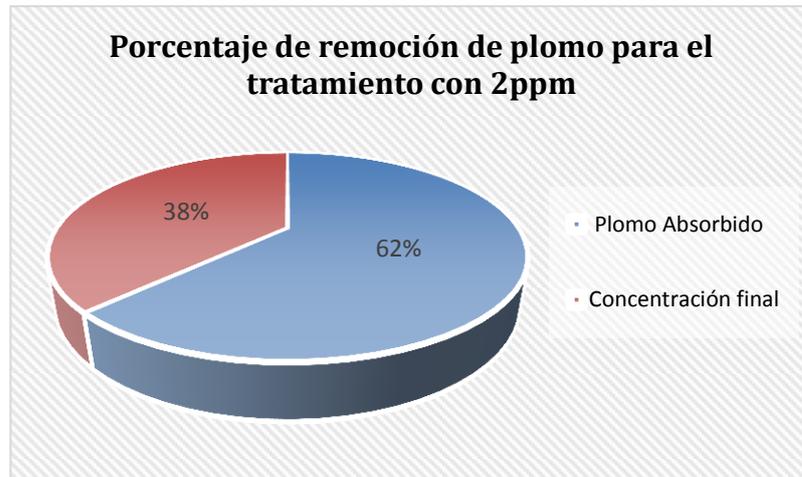


Figura 29. Porcentaje de remoción de plomo para el tratamiento con 2 ppm.

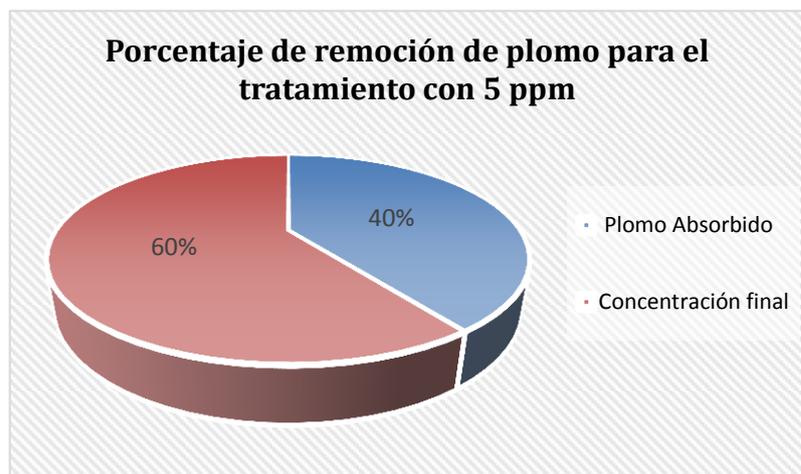


Figura 30. Porcentaje de remoción de plomo para el tratamiento con 5 ppm.

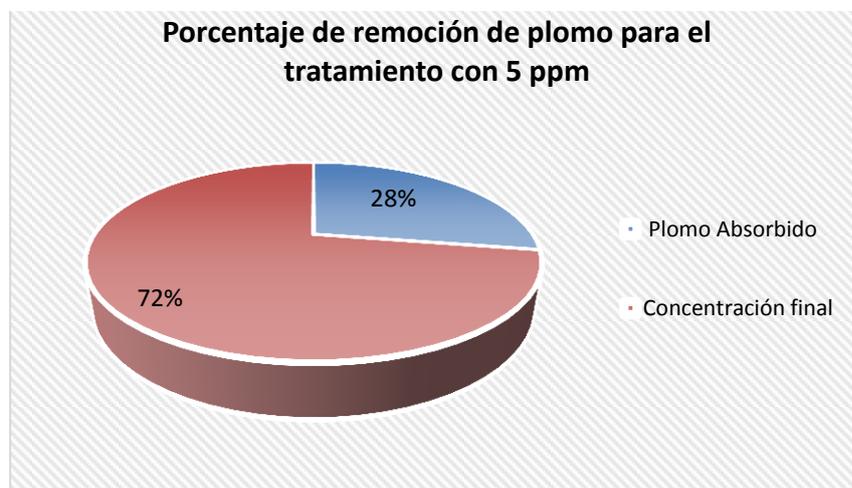


Figura 31. Porcentaje de remoción de plomo para el tratamiento con 10 ppm.

A pesar que el porcentaje de remoción de los tres tratamientos baja de acuerdo al aumento de concentración del contaminante del medio circundante, se puede observar que mientras aumenta la concentración de plomo del medio la planta remueve más contaminante de 1,25 a 2,75 ppm en el tiempo de exposición determinado en el ensayo.

#### 4.2.3. Medición de Ph del medio

Al tomar las lecturas de Ph durante el tiempo de exposición se notó claramente que la medida pasó de un medio ácido a un medio con tendencia al neutro, los registros están representados en los graficos 33, 34, 35 y 36.

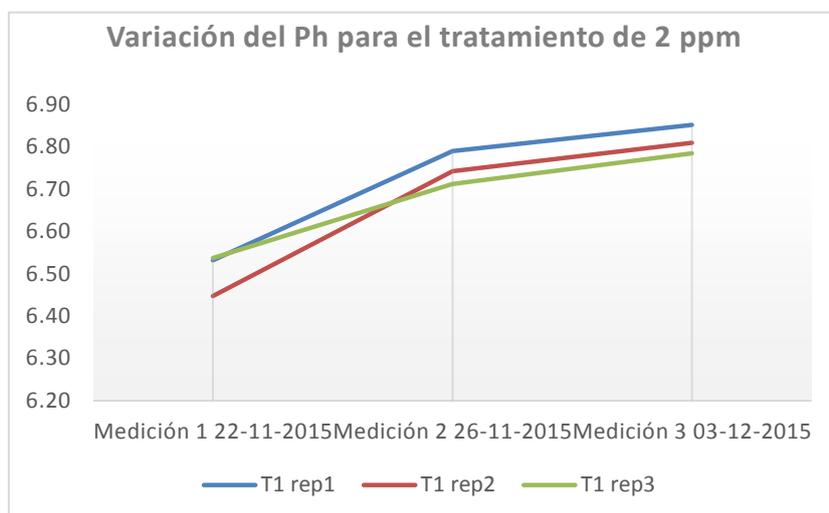


Figura 32. Variación del Ph para el tratamiento de 2 ppm.

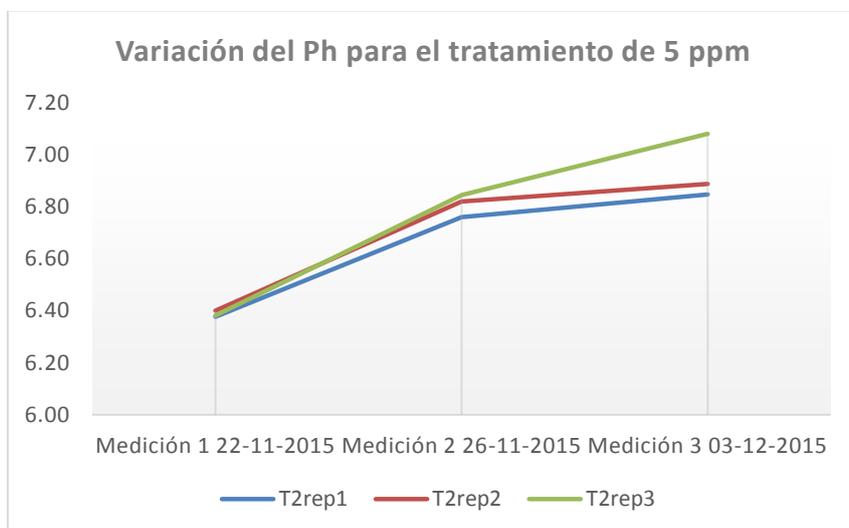


Figura 33. Variación del Ph para el tratamiento de 5 ppm.

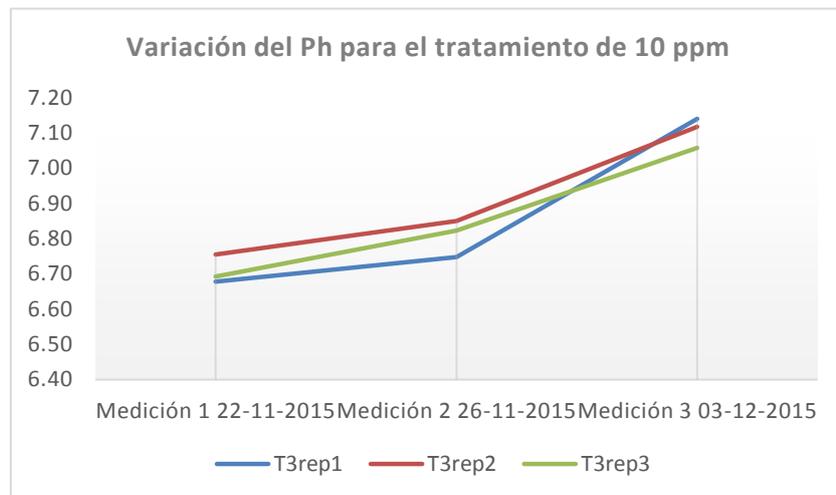


Figura 34. Variación del Ph para el tratamiento de 10 ppm.

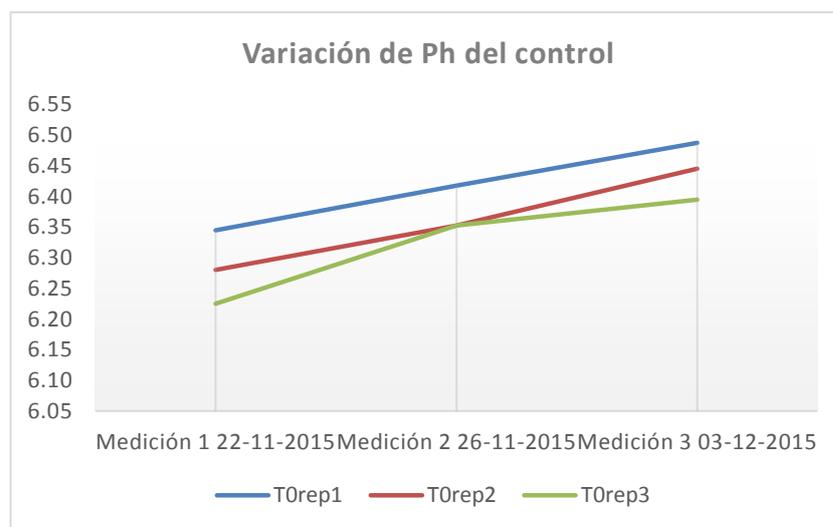


Figura 35. Variación de Ph del control.

#### 4.2.4. Análisis de varianza y prueba de significación

El análisis de varianza realizado con los datos obtenidos demostró que las comparaciones de las medias no existieron diferencias significativas entre el control y tratamiento con 2 ppm, pero si existieron diferencias con los tratamientos de 5ppm y 10 ppm tratamientos. Esto significa que la variación de los datos es causada por la aplicación del tratamiento con plomo y no por el azar.

Tabla 11. Análisis de Varianza con prueba de Tukey al 0,05%.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Pb en ppms	12	0,80	0,73	8,47	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,48	3	4,16	10,86	0,0034
Tratamiento	12,48	3	4,16	10,86	0,0034
Error	3,06	8	0,38		
Total	15,55	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,61838					
Error: 0,3831 gl: 8					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T0	5,80	3	0,36	A	
T1	7,05	3	0,36	A	B
T2	7,80	3	0,36	B	
T3	8,56	3	0,36	B	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

En la figura representada a continuación se puede notar las diferentes categorías en las que se agrupó los datos de la comparación de medias obtenidas con los datos del estudio, siendo el tratamiento de 2 ppm similar al tratamiento control pero diferentes a los tratamientos de 5 y 10 ppm respectivamente.

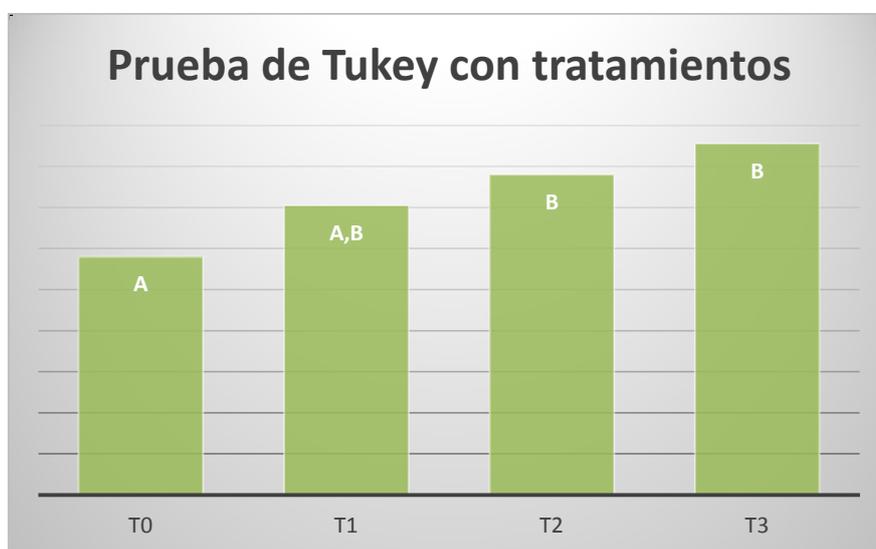


Figura 36. Comparación de medias y asignación de tratamientos.

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la capacidad de absorción de plomo de la especie en estudio. En los experimentos realizados la concentración de plomo decrece en la solución mientras el tiempo de exposición es mayor, el porcentaje de absorción mayor fue

de 65%, estos datos son comparados con experimentos similares con plomo, (Alonso-Castro *et al.*, 2009), que tuvieron porcentajes de remoción del 84% en medio hidropónico. Esto se puede deber a que las plantas ya poseían plomo en sus raíces y que la tolerancia y capacidad de absorción del metal se viera saturada.

La capacidad de absorción de metales de *Typha latifolia* en comparación con otras especies es relativamente alta, en función del plomo cadmio y arsénico. Estudios realizados por (Carranza-Álvarez, *et al.*, 2008) ratifican la capacidad de bioacumulación en lagunas contaminadas en San Luis Potosí en México, sugiriendo esta especie para tratamientos de fitorremediación de lagunas contaminadas por metales pesados.

La tolerancia a los metales pesados de *Typha latifolia* ha sido registrada desde los años 70s, donde, McNaughton *et al.*, (1974), realiza un estudio de tolerancia a metales pesados como zinc y cadmio en suelos contaminados, se realizan análisis de estos metales en dos sitios con diferentes niveles de metales traza, concluyendo que existe una variación de los ecotipos generando tolerancia de la especie en lugares con mayor contaminación.

La acumulación de metales pesados en humedales naturales de *Typha latifolia* también ha sido sujeto a investigaciones, Taylor, (1983), realizó un estudio sobre la bioacumulación de contaminantes en los humedales de Sudbury en Ontario- Canadá, llegando a la conclusión después de realizar los análisis en tejidos de la especie, que era hiperacumuladora de Fe, Zn, Mg y Ca.

No solo se reportan estudios de descontaminación de aguas y suelo con *T. latifolia*, Manios *et al.*, (2003), realizó ensayos sobre lodos de depuración de desechos industriales, concluyendo que esta especie es una buena depuradora del medio. Los metales analizados fueron: Zn, Cu, Ni, los resultaron arrojaron datos de absorción hasta del 100% en cobre y zinc y casi 96% de Ni, la cantidad total de metales eliminados del sustrato por las plantas fue considerablemente alta.

*Typha latifolia* es reportada también como una buena opción para humedales artificiales de depuración de materia orgánica de aguas municipales, Ha existido buenos resultados en la eliminación biológica de la demanda de oxígeno, solidos suspendidos y totales, además se ha propuesto utilizar la biomasa obtenida como combustible o para compost o alimentos para los animales (Ciria, Solano & Soriano, 2005).

También se registran estudios de humedales artificiales con *Typha latifolia* para la depuración de aguas residuales industriales, hasta inclusive la reutilización de las mismas. Se realizan humedales de flujo subsuperficial horizontal con *Phragmites australis* y *Thypha latifolia* para el tratamiento de agua de curtiembres, comprobándose la resistencia de las dos especies a los contaminantes del agua de los efluentes (Calheiros, Rangel, & Castro, 2009).

Brankovic, *et al.* 2011, indica que esta planta acuática es hiperacumuladora de metales pesados en sus raíces, tomando estas sustancias contaminantes y absorbiéndolas hasta llegar a concentraciones superiores al cuerpo contaminado que puede ser agua o suelo, concluyendo que unos metales son más absorbidos que otros y que existe una selectividad a la absorción de ciertos iones o la combinación de los mismos, concluyendo que este tipo de plantas pueden ser utilizadas como indicadores biológicos de contaminación, además descubrir que tanto *T. latifolia* y *T. angustifolia* tiene una gran capacidad de concentrar elementos traza como cobre y plomo como se muestra en la figura 37.

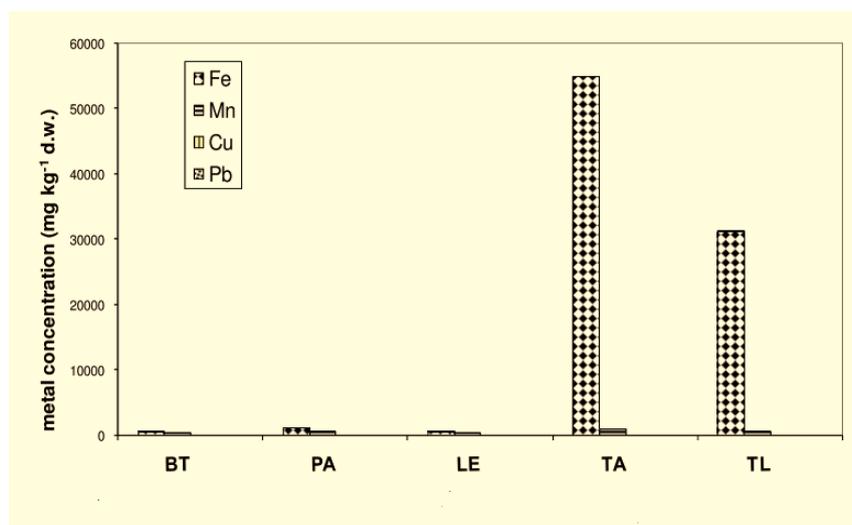


Figura 37. Concentración media de Fe, Mn, Cu y Pb en 5 macrofitas (BT *Bidens tripartitus*, PA *Poligonium amphibium*, LE *Lycopus europaeus*, TA *Typha angustifolia*, TL *Typha latifolia*).

**Fuente:** Bronkovic, *et al* (2011).

En España las eneas o espadañas como comúnmente se conocen a las especies de la familia Typhaceae, son utilizadas para la fitodepuración tanto de materia orgánica como de metales pesados y compuestos inorgánicos, estos procedimientos asociados con la implantación de humedales de flujo superficial y subsuperficial, ofrecen alternativas

interesantes de bajo costo y alta eficiencia en la remoción de contaminantes (Fernández de la Mora, 2009).

Se ha realizado estudios sobre la capacidad de acumulación de otros metales como As, Cr y cadmio de *Typha latifolia*, estos metales traza fueron absorbidos por los rizomas de la especie en diferentes concentraciones. Los resultados sugieren que *T. latifolia* puede ser considerado como una alternativa interesante para el tratamiento de efluentes acuáticos contaminados con elementos traza tóxicos (Leura-Vicencio *et al.*, 2013).

### 4.3. PROPUESTA DE HUMEDALES PARA LA DEPURACIÓN DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA

#### 4.3.1. Ubicación de los humedales artificiales en Yahuarcocha

Para la propuesta de diseño de humedales artificiales, ya comprobada la capacidad de acumulación de metales de la especie tanto en experimentación como en revisión bibliográfica, se basó en las entradas puntuales de aguas residuales no intermitentes que desembocan en la Laguna de Yahuarcocha. Estos sitios fueron determinados tomando en cuenta las zonas de descarga de aguas residuales del río Tahuando y Planta de tratamiento de San Miguel de Yahuarcocha como se muestra en la figura 38.

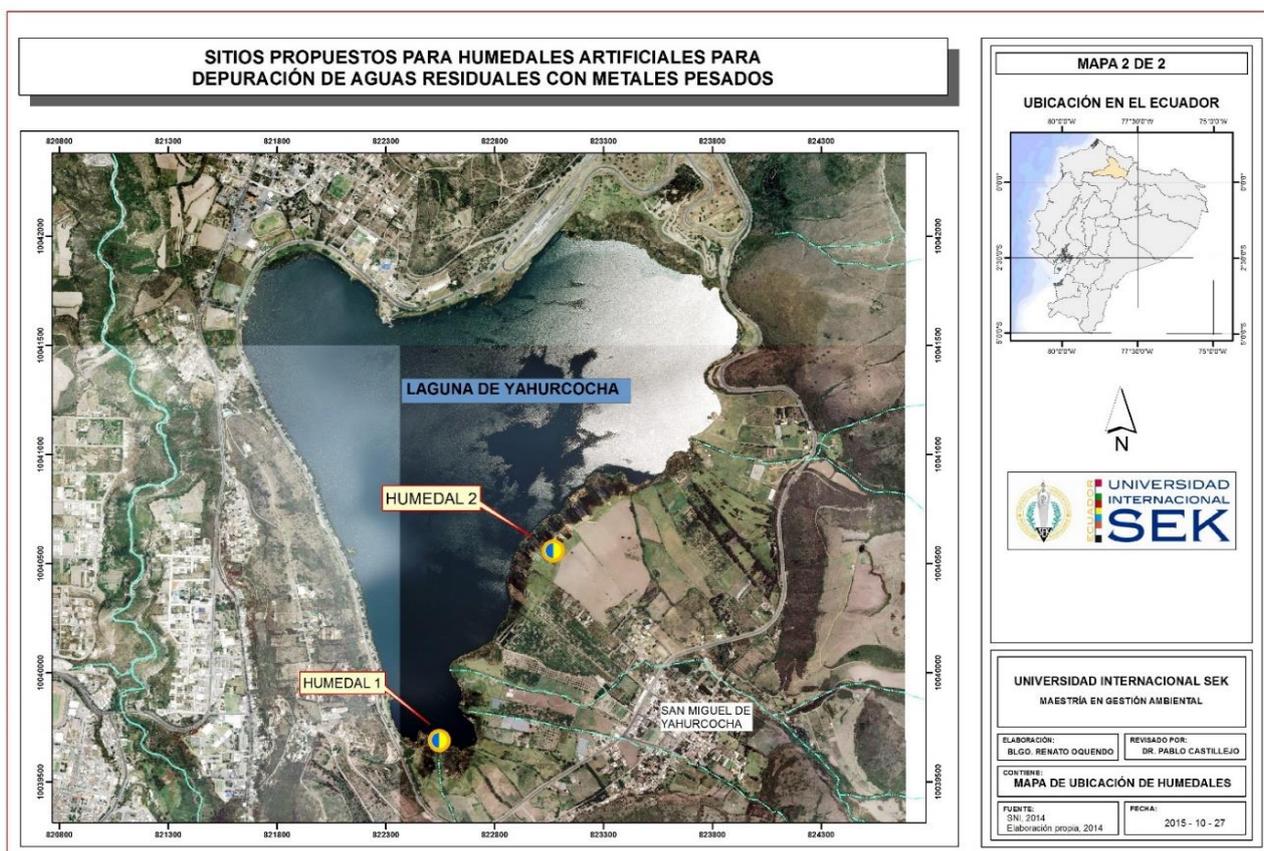


Figura 38. Sitios propuestos para humedales artificiales con *Typha latifolia*.

Los humedales artificiales están compuestos de un medio terrestre y acuático en el cual intervienen plantas que pueden subsistir en esas condiciones de humedad, su labor la absorción de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas contenidas en los efluentes. La ventaja de los humedales artificiales vs los humedales naturales en sitios puntuales es la eficiencia del proceso con situaciones más controladas como el ingreso de un caudal específico, un dimensionamiento del humedal de acuerdo al volumen de agua que ingresa y el tiempo de retención idóneo para la efectividad del proceso de depuración.

Tabla 12. Sitios sugeridos para la implantación de humedales artificiales con *Typha latifolia*.

SITIOS SUJERIDOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES CON <i>TYPHA LATIFOLIA</i>	
Entrada del Canal del Rio Tahuando	Planta de Tratamiento de San Miguel de Yahuarcocha
La entrada del canal Tahuando ubicado en las coordenadas geográficas de 822 610,22 y 10 039.515,52,	El humedal de la planta de tratamiento ubicado en las coordenadas de 823 079,09 y 10 040 647,87

#### 4.3.1. Aspectos relevantes para la implantación Implementación de los Humedales artificiales en la Laguna de Yahuarcocha.

Con el fin garantizar resultados eficientes en el diseño de humedales artificiales con *Thypa latifolia* se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros.

##### a) Componente Biótico

La implantación de sistemas artificiales de depuración de aguas residuales con metales pesados se puede realizar bien a partir de pequeñas plántulas desarrolladas en vivero, o directamente mediante rizomas, dependiendo de la disponibilidad del material vegetal y de la época en que se desea realizar la implantación. Por las condiciones climáticas que presenta la Laguna de Yahuarcocha, las plantas pueden implantarse en cualquier época del año, mientras que, para la implantación de rizomas, el momento óptimo es en verano, justo antes de la brotación.

La distancia óptima entre rizomas es de aproximadamente 1 m; con esta distancia, en unos 3 meses de desarrollo se consigue una buena cobertura vegetal. Cualquiera de los dos sistemas de implantación tanto rizomas o plantas puede aplicarse en humedales de flujo superficial y flujo sub superficial; siendo el último el aconsejado para este tipo de proceso por el contacto de las raíces con el sustrato.

Las plantas también se pueden producir en vivero con dos alternativas de producción, desde semilla o reproducción vegetativa partiendo de plantas madres. Los individuos de la familia Typhaceae producen gran cantidad de frutos se estima que son aproximadamente 20 000 por inflorescencia. Las semillas germinan fácilmente en condiciones adecuadas de humedad y calidad del agua. En condiciones naturales, el sistema de reproducción más competitivo y que asegura la propagación y extensión de colonias es la reproducción vegetativa gracias a los rizomas, que son órganos de almacenamiento de carbohidratos de reserva. Cuando las condiciones son adecuadas, los rizomas proporcionan muy eficazmente el sustento necesario para la brotación de la planta. La propagación por semilla sirve, ante todo, para la dispersión espacial de la especie.

#### **b) Medición de caudales**

Después de la obtención del material vegetal en condiciones óptimas, el siguiente paso es la medición de los caudales de los efluentes que ingresan a la laguna. Se recomienda monitorear las salidas de agua en los sitios propuestos, esto permitirá el dimensionamiento de la estructura y el tiempo de retención que mantendrá en agua para resultados efectivos en materia de remoción

#### **c) Caracterización del agua de descarga**

Se recomienda hacer los análisis fisicoquímicos y biológicos a la par del monitoreo de los caudales. Este procedimiento permitirá saber el estado actual del efluente en especial la presencia de metales pesados que en el puedan encontrarse. Se recomienda realizar análisis de Ph, conductividad eléctrica, DBO, DQO, OD, sólidos totales entre otros. Estos datos son de gran importancia ya que determinarían que cantidad de contaminantes se trataría en cada humedal.

#### **d) Monitoreo y seguimiento**

Una vez implementados los humedales artificiales, se debería llevar un registro de monitoreo de calidad del agua, tomando en cuenta los parámetros antes mencionados.

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha

Mediciones del efluente que ingresa al humedal artificial y la calidad de agua que se entrega a la laguna. Este control y seguimiento se debería hacer constantemente para garantizar los resultados del proceso.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La especie en estudio *Typha latifolia* remueve efectivamente el plomo contenido en las soluciones administradas en los tratamientos propuestos y es capaz de acumular este metal en la raíz.
- La laguna de Yahuarcocha esta contaminada por plomo como lo demuestran los análisis realizados a los individuos tomados como control para este experimento, esta concentración del contaminante lo habría acumulado del medio natural.
- En la experimentación *Typha latifolia* fue tolerante a concentraciones de hasta 10 ppm. A pesar del amarillamiento de las hojas y el marchitamiento parcial de la planta, las plántulas emitían hojas nuevas y su crecimiento se desarrollaba con normalidad.
- La especie en estudio es capaz de remover hasta en un 62% del contaminante del medio a una concentración de 2 ppm, y a pesar de que en las concentraciones mas altas de 5 y 10 ppm hubo una disminución del porcentaje de absorción del total, la cantidad de contaminante removido en comparación con el primer tratamiento tuvo una relación directamente proporcional con la administración del plomo.

- El sustrato utilizado, turba rubia estéril, es apto para el cultivo de la *Typha latifolia* fuera de su hábitat natural, ya que permitió el desarrollo óptimo de la planta la fase de adaptación y el tiempo de realización del ensayo de aplicación de los contaminantes.
- En el análisis de varianza se comprobó que la diferencia de las medias de los datos obtenidos correspondía a la administración de las diferentes concentraciones de plomo y no por el azar.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el monitoreo de metales pesados en otros sitios diferentes a los propuestos a los humedales artificiales y tener un mapeo de estos contaminantes para posibles soluciones de fitorremediación como la propuesta realizada en este estudio.
- Es recomendable realizar más estudios referentes a la fisiología de la planta y mecanismos de absorción como la simbiosis con organismos como bacterias para juntar procedimientos biotecnológicos que puedan aumentar la eficiencia del sistema de fitodepuración de contaminantes.
- Presentar esta propuesta y trabajo de investigación para que se genere un diseño de los humedales artificiales y posible financiamiento para su implementación. Estas alternativas amigables con el ambiente se deben tomar en cuenta para la depuración de aguas residuales municipales.
- Es de suma importancia integrar a la población local en desarrollo de esta estrategia de fitorremediación. Se recomienda implementar planes, programas y proyectos de difusión de la problemática de la laguna tanto a la población aledaña a la laguna, como de los visitantes que se benefician de su atractivo turístico y escénico.

- Se recomienda realizar el experimento ejecutado en este trabajo de titulación con plántulas que no contengan plomo bioacumulado con anterioridad. Una opción es recolectar individuos de *Typha latifolia* de lagunas como la de Mojanda que no tiene tanta influencia antrópica como la laguna de Yahuarcocha.

## CAPITULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alecoconsult. (2009). Composición de la turba rubia fina. Disponible en línea: <http://www.alecoconsult.com/index.php?id=turbas> Fecha de consulta: Octubre 2015.
- Aguilar V. (2003). Niveles de Plomo en sangre y factores asociados, en niños del Municipio de Centro Habana. *Revista Cubana Hig Epidemiol*; 41(2).
- Alonso-Castro, A. J., Carranza-Álvarez, C., Alfaro-De la Torre, M. C., Chávez-Guerrero, L., & García-De la Cruz, R. F. (2009). Removal and Accumulation of Cadmium and Lead by *Typha latifolia* Exposed to Single and Mixed Metal Solutions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 57(4), 688-696. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-009-9351-6>
- Agudelo Betancur, L. M., Macías Mazo, K. I., & Suárez Mendoza, A. J. (2012). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos.
- Ballesteros Lara, J. L. (2011). *Determinación de la eficacia de Azolla Caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados*. Quito, 2011.
- Buchanan, B.; Gruissem, W.; Jones, R. (2000). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Recuperado de: <http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agb.Fitorremediacion.pdf>.
- Blomme, J. (2013). *General limnology and zooplankton ecology of two tropical high altitud lakes in Northern Ecuador: Mojanda & Yahuarcocha*. KU Leuven, Kortrijk, Belgium.
- Brankovic, S., Pavlovic-Muratspahic, D., Topuzovic, M., Glisic, R., Bankovic, D., & Stankovic, M. (2011). Environmental study of some metals on several aquatic macrophytes. *African Journal of Biotechnology*, 10(56), 11956-11965.
- Campos del Pozo, V. M. (2011). *Fitorremediación de contaminantes persistentes: una aproximación biotecnológica utilizando chopo (Populus Spp.) como sistema modelo*. Montes. Madrid

- Coello, D., Pesantes, Macias, P. & Revelo W. 2005 Mortandad de peces en la laguna de Yahuarcocha Instituto Nacional de Pesca. Ecuador.
- Calheiros, C. S., Rangel, A. O., & Castro, P. M. (2009). Treatment of industrial wastewater with two-stage constructed wetlands planted with *Typha latifolia* and *Phragmites australis*. *Bioresource technology*, 100(13), 3205-3213.
- Carranza-Álvarez, C., Alonso-Castro, A. J., Alfaro-De La Torre, M. C., & García-De La Cruz, R. F. (2008). Accumulation and distribution of heavy metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an artificial lagoon in San Luis Potosí, México. *Water, air, and soil pollution*, 188(1-4), 297-309.
- Ciria, M., Solano, M., & Soriano, P. (2005). Role of macrophyte *Typha latifolia* in a constructed wetland for wastewater treatment and assessment of its potential as a biomass fuel. *Biosystems Engineering*, 92(4), 535-544.
- CIEMA. (Centro de investigación y estudios en medio ambiente).(2005).Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proyecto ASTEC SUCHER & HOLZER.Austria - Nicaragua. Managua, Nicaragua:. 43 p.
- Constitución de la República del Ecuador (2008) Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20 octubre del 2008.
- Da Ros, G. (1995). *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica*. Quito: Abya Yala.
- De Carvalho, M. L. S., de Lima, C. T., de Oliveira, R. P., & Giulietti, A. M. (2014). Flora of Bahia: Typhaceae. *SITIENIBUS série Ciências Biológicas*, 14.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612
- Delgadillo, O. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor San Simón.
- Ecuavisa (2014a). Laguna de Yahuarcocha en emergencia tras la contaminación con draga. *Noticias Ecuavisa*.
- Ecuavisa. (2014b). Langostas del río Yaguarcocha están contamimadas con plomo, según INP |Ecuavisa. Recuperado en December 30, 2015, from <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/actualidad/51274-langostas-del-rio-yaguarcocha-estan-contamimadas-plomo-segun-inp>.

- Erazo, A. & Jaramillo, B. (2005). Evaluación de impacto ambiental y propuesta del plan de manejo de los procesos de la primera etapa de la Laguna de Yahuarcocha. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar* (Vol. 50): United Nations Publications.
- Falcón, C. (1990). *Manual de tratamiento de aguas negras*. New York: Limusa.
- Fernández de la Mora, M. D. (2009). Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en floatación. End report of the LIFE project Nuevos filtros verdes de macrofitas en floatación para la cuenca mediterránea, 143 p.
- Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental*, 11, 301-305.
- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO–IOC/WMO/WHO/AIEA/UN/UNEP- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects on Marine Environmental Protection), (2001). Protecting the Oceans from Land-based Activities GESAMP Reports and Studies (71): p.162.
- Grace, J. B., & Harrison, J. S. (1986). THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS.: 73. *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. and *Typha xglauca* Godr. *Canadian Journal of Plant Science*, 66(2), 361-379. doi: 10.4141/cjps86-051.
- Gudiño, E. (2015). Evaluación de la diversidad florística y de avifauna, y generación de estrategias de conservación en la zona media alta de la microcuenca de Yahuarcocha. Tesis de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Ibarra.Ecuador.
- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín-Izquierdo, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de toxicología*, 21(2-3), 72-80.
- Herrera, L. (2003). “Mercurio y Plomo contaminan el lago Yahuarcocha”. Tomado de Diario El Comercio. Disponible en línea:

- [http://www.bnamericas.com/news/aguasyresiduos/Mercurio\\_y\\_plomo\\_contaminan\\_lago\\_Yahuarcocha](http://www.bnamericas.com/news/aguasyresiduos/Mercurio_y_plomo_contaminan_lago_Yahuarcocha). Consulta: Agosto 2015.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Prentice Hall.
- Howard T. 2000. *Heavy Metals in the Environment. Using wetlands for their removal*. Lewis Publishers. Pp. 31-48.
- Jacobs D. 1996. Los efectos del plomo en el cuerpo humano. *Revista Lead Perspectives*. Pp 2-32
- Kraemer A. R, Choudhury K. y E. Kampa, 2001. Protecting Water Resources: Pollution Prevention, Thematic Background Paper – International Conference on freshwater Bonn 2001, Secretariat of the International Conference on Freshwater Bonn 2001 (Ed) Bonn, 2001, ([http://: www.water-2001.de](http://www.water-2001.de)).
- Laubstein, U. (2010). La intoxicación por metales. Recuperado de : <http://www.absolum.org>.
- Lenntech (2008). Plomo (Pb) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Recuperado de: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>.
- Ley de Gestión Ambiental. Ley No. 37. Registro oficial 245 de 30 de Julio de 1999.
- Ley de Prevención de la Contaminación Ambiental. Decreto Supremo No.374. Registro Oficial 245 de 30 de julio de 1999.
- Ley Reformatoria al Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), publicada en el Registro Oficial No. 166 del 21 de enero de 2014.
- Ley del Régimen Municipal Ibarra vigente año 2009. Municipalidad de Ibarra, Ibarra.
- Holdig, B. (2009). Agua residual y purificación del aire: Lenntech.
- Leura-Vicencio, A., Alonso-Castro, A. J., Carranza-Álvarez, C., Loredoportales, R., Alfaro-De la Torre, M. C., & García-De la Cruz, R. F. (2013). Removal and Accumulation of As, Cd and Cr by *Typha latifolia*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90(6), 650-653. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-013-0962-2>.
- Mac G. 2002. Toxicidad, crecimiento y acumulación de cobre, plomo y zinc en manglar *Avicena marina*. *Revista contaminación marina*. Pp 5-84.
- Manahan, S. E. (2006). *Introducción a la Química Ambiental*: Reverté.

- Manios, T., Stentiford, E., & Millner, P. (2003). Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere*, 53(5), 487-494.
- Maridueña, A., Chalén, N., Coello D., Cajas, J., Solís-Coello, P. y Aguilar, F. (2011). Mortandad de peces en la Laguna de Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. Febrero 2003. *Boletín Especial* 02(1), 1-21.
- Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, M. L. H. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador técnico*(74), 12-22.
- McNaughton, S. J., Folsom, T. C., Lee, T., Park, F., Price, C., Roeder, D., . . . Stockwell, C. (1974). Heavy Metal Tolerance in *Typha latifolia* without the Evolution of Tolerant Races. *Ecology*, 55(5), 1163-1165. doi: 10.2307/1940369.
- Mercure, S. Wilson, W. y Whillans T. (2004). “Gestión Integral de Cuencas y Asentamientos Humanos”. Ediciones ABYA-YALA. Quito, Ecuador.
- Metamberry, A. (2011). Fitorremediación. Agrobiotecnología. Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires
- Movahed, N. M., Mohammad, M. 2009. Phytoremediation and sustainable urban design methods (Low Carbon Cities through Phytoremediation). 45th ISOCARP Congress.
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar- Alonso, I., López-Moya, J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación demetales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16:10-25.
- Newtenberg A, ( 2010). ¿Cuál es el efecto del Plomo en la salud humana? Recuperado de: <http://www.sinia.cl/1292/fo-article-34246.pdf>.
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olgún, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana deficiencias*, 55, 69-82.
- Ñique Álvarez, M.(2004). Humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Perú, Sociedad Peruana de Gestión Ambiental [en línea]. Disponible en: [http://www.geocities.com/sociedadpga/publicaciones/anoInro1/humedales\\_tratamiento\\_aguas.htm](http://www.geocities.com/sociedadpga/publicaciones/anoInro1/humedales_tratamiento_aguas.htm).

- Olguín E. 1994. Aprovechamiento de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Revista "*Tecnologías Ambientales*". México. pp 11-20.
- Protocolo para Protección del Pacífico Sudeste contra la contaminación proveniente de fuentes terrestres. Quito, 22 de julio de 1983.
- Pabón, G., Reascos, D., Yépez, L., Oña, T., Velarde, E., Vásquez, L. & Molina, P. (2012). Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura. Reporte Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- Pabón, J. (2015). Distribución y evaluación de la vegetación macrofítica en el lago de Yahuarcocha. Tesis de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Ibarra.Ecuador.
- Portilla, K. (2015). Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del Lago de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura. Tesis de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Ibarra.Ecuador.
- Peuke, & Rennenberg, H. (2005) Phytoremediation. *EMBO Rep.*, 6(6), 497
- Reed, R. 1990. Tolerancia a los metales en algas eucarióticas y procarióticas. Revista *CRC Press*. Pp 105-118.
- Reigosa MJ, Sánchez- Moreiras A, Pedrol N (2004) La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis. Ed. Thomson -Paraninfo. Published in 2003.
- Roy, S., Labelle, S., Mehta, P., Mihoc, A., Fortin, N., Masson, C., Leblan, R., Cha, G., Sura, C., Gallipeau, C., Olsen, C., Delisle, S., Labrecque, M., Greer, C. W. (2005). Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites. *Plant and Soil*. 272: 277-290.
- Salager J. 1998. Adsorción y Mojabilidad. Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.  
Recuperado de [http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S160A\\_AdsorcionMojabilidad.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S160A_AdsorcionMojabilidad.pdf)

- Sánchez R, 1999, *Abundancia de los metales pesados en la biósfera*. En: Contaminación ambiental, por metales pesados: Impacto en los seres vivos. Editorial A. G. T. S. A. México. Pp 15-21
- Saad, I., Castillo, J. I., & Rebolledo, D. (2009). *Fitorremediación: estudio de inteligencia tecnológica competitiva*. Paper presented at the Memorias del 4 Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad: Hacia la Inteligencia Competitiva. León, Guanajuato, México.
- Sasmaz, A., Obek, E., & Hasar, H. (2008). The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological engineering*, 33(3), 278-284.
- Shutes, R., Ellis, J., Revitt, D., & Zhang, T. (1993). The use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban wetlands. *Constructed wetlands for water quality improvement*, 407414.
- Seoáñez, M. (1995). *Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Taylor, G. J., & Crowder, A. A. (1983). Uptake and accumulation of heavy metals by *Typha latifolia* in wetlands of the Sudbury, Ontario region. *Canadian Journal of Botany*, 61(1), 63-73. doi: 10.1139/b83-005.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). s/f. Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1.
- UNESCO. (2003) World Water Assessment Programme, People and the Planet, en [www.wateryear2003.org](http://www.wateryear2003.org).
- Vardanyan, L. G., Ingole, B. S. (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. *International*. 32: 208-218
- Weis, J. & Weis, P. (2004). "Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration". *Environment International*, 30: 685– 700.

## ANEXO A

### ROOTS



Application field: Agriculture

Digestion Application Note **DG-AG-08**

#### **SUMMARY**

**This method provides for the acid digestion of the roots sample in a closed vessel device using temperature control microwave heating for the metal determination by spectroscopic methods.**

#### **MICROWAVE EQUIPMENT**

Milestone ETHOS labstation with easyWAVE or easyCONTROL software, and HPR1000/10S high pressure segmented rotor.

#### **SAMPLE AMOUNT**

0.5 g

#### **REAGENTS**

8 ml of HNO<sub>3</sub> 65%, 0.5 ml of HF 40%

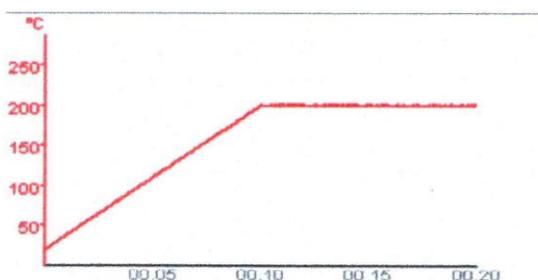
#### **PROCEDURE**

1. Place a TFM vessel on the balance plate, tare it and weigh of the sample.
2. Introduce the TFM vessel into the HTC safety shield.
3. Add the acids; if part of the sample stays on the inner wall of the TFM vessel, wet it by adding acids drop by drop, then gently swirl the solution to homogenize the sample with the acids.
4. Close the vessel and introduce it into the rotor segment, then tighten by using the torque wrench.
5. Insert the segment into the microwave cavity and connect the temperature sensor
6. Run the microwave program to completion.
7. Cool the rotor by air or by water until the solution reaches room temperature.
8. Open the vessel and transfer the solution to a marked flask.

#### **MICROWAVE PROGRAM**

Step	Time	Temperature	Microwave power
1	10 minutes	200°C	Up to 1000 Watt*
2	10 minutes	200°C	Up to 1000 Watt*

#### **TEMPERATURE PROFILE**



#### **NOTES**

\*Use up to 500 Watt for operations with 3 or less vessels simultaneously.

This procedure is only a guideline and it may need to be modified or changed to obtain the required results on your sample. Always use hand, eye and body protection when operating with the microwave system.

Evaluación de *T. latifolia* con plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha

## ANEXO B



### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.  
Resolución No. 001 - 073 - CEAACES - 2013 - 13

**FICAYA**

**Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos**

Informe N°:	126 - 2015
Análisis solicitado por:	Biol. Jorge Oquendo
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	14 de diciembre de 2015
Fecha de entrega informe:	18 de diciembre de 2015
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Raíz de Typha
No. de Lote	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T0 A	T0 B	T1R1 A	T1R1 B	
Plomo (Pb)	ppm	5,52	5,95	7,62	7,96	Espectrofotometría de Absorción Atómica (llama)

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T1R2 A	T1R2 B	T1R3 A	T1R3 B	
Plomo (Pb)	ppm	6,69	6,88	6,49	6,67	Espectrofotometría de Absorción Atómica (llama)

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T2R1 A	T2R1 B	T2R2 A	T2R2 B	
Plomo (Pb)	ppm	7,71	7,12	8,18	8,86	Espectrofotometría de Absorción Atómica (llama)

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T2R3 A	T2R3 B	T3R1 A	T3R1 B	
Plomo (Pb)	ppm	7,09	7,85	9,39	9,59	Espectrofotometría de Absorción Atómica (llama)

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T3R2 A	T3R2 B	T3R3 A	T3R3 B	
Plomo (Pb)	ppm	7,68	8,83	7,22	8,65	Espectrofotometría de Absorción Atómica (llama)

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno  
Técnico de Laboratorio



#### Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María  
Córdova. Barrio El Olivo.  
Teléfono: (06)2997800  
Fax: Ext. 7711.  
Email: utn@utn.edu.ec  
www.utn.edu.ec  
Ibarra - Ecuador

## ANEXO C

### REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista panorámica de la Laguna de Yahuarcocha

Fuente: Gudiño, 2014.



Sitio de muestreo 1. Planta de Tratamiento de San Miguel de Yahuarcocha.



Sitio de muestreo 2. Humedal natural tras la Estación de los Bomberos.



Recolección manual de individuos de *Typha latifolia*.



Inflorescencia de *Typha latifolia*, masculina y femenina.



Planta de adulta de 3m. aprox.



Vista panorámica de humedales naturales de *Schoenoplectus californicus* (totora) y *Typha latifolia* en Yahuarcocha.