

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y

AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

**DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA
FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON *Typha latifolia* EN
EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA**

PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

GALARZA GUZMÁN ALEXIS JOSÉ
PÉREZ GARCÍA GANDHY PATRICIO

DIRECTOR:

BIÓL.JORGE RENATO OQUENDO ANDINO MSc.

Ibarra-Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON *Typha latifolia* EN EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención de
Título de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Biól. Renato Oquendo MSc.
DIRECTOR

FIRMA

Ing. Santiago Cabrera MSc.
ASESOR

FIRMA

Ing. Jorge Granja
ASESOR

FIRMA

IBARRA – ECUADOR

OCTUBRE, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003863295	
APELLIDOS Y NOMBRES	Galarza Guzmán Alexis José	
DIRECCIÓN:	Ibarra-Ecuador	
EMAIL:	ajteslagalarzag@gmail.com	
TELÉFONO FIJO: 2 612-072	TELÉFONO MÓVIL:	0969245360

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	0401459805	
APELLIDOS Y NOMBRES	Pérez García Gandhi Patricio	
DIRECCIÓN:	Huaca-Carchi	
EMAIL:	gandhyperez1995@gmail.com	
TELÉFONO FIJO: 2 973-617	TELÉFONO MÓVIL:	0969630919

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON <i>Typha latifolia</i> EN EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA

DATOS DE LA OBRA	
AUTORES:	Galarza Guzmán Alexis José Pérez García Gandhi Patricio
FECHA:	24 de octubre del 2019
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Biól. Renato Oquendo MSc.

CONSTANCIA

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de octubre del 2019.

LOS AUTORES



Galarza Guzmán Alexis José

C.I: 1003863295



Pérez García Gandhi Patricio

C.I: 0401459805

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESION DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, AEXIS JOSÉ GALARZA GUZMÁN ALEXIS JOSÉ, con cédula de identidad Nro. 1003863295 y GANDHY PATRICIO PÉREZ GARCÍA, con cédula de identidad Nro. 0401459805, manifestamos la voluntad de ceder A LA Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra de trabajo de grado denominada “DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON *Typha latifolia* EN EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA”, que ha sido desarrollada para optar por el título de ingenieros en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Galarza Guzmán Alexis José
C.I: 1003863295



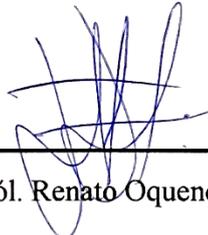
Pérez García Gandhi Patricio
C.I: 0401459805

CERTIFICACIÓN

Biól. Renato Oquendo MSc., director del Trabajo de Titulación desarrollado por los señores estudiantes Alexis José Galarza Guzmán y Gandhi Patricio Pérez García.

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Tesis de grado titulado “DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON *Typha latifolia* EN EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA”, ha sido realizado en su totalidad por los señores estudiantes Alexis José Galarza Guzmán y Gandhi Patricio Pérez García bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autorizada su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.



Biól. Renato Oquendo MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte por brindarnos gratas experiencias en nuestras vidas académicas y personales durante toda nuestra estancia en tan prestigiosa institución de educación superior. Por brindarnos el conocimiento valioso que nos permite ser excelentes profesionales y por los valores impartidos por parte de autoridades y docentes que nos ha servido para ser ante todo buenos seres humanos.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Yahuarcocha por facilitarnos información que fue de gran beneficio para el desarrollo del presente estudio. Al Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LABINAM) y a todo su equipo de trabajo.

A nuestro director de tesis, el Biol. Renato Oquendo MsC, por la paciencia y por guiarnos desde el inicio de nuestra investigación hasta el final. Siempre tratando de que se efectuara un buen trabajo en todos los aspectos, además por el tiempo y conocimiento compartidos lo cual nos ayudó además a ser mejores profesionales.

A nuestros asesores el Ing. Santiago Cabrera MsC e Ing. Jorge Granja por el acompañamiento que siempre lo efectuaron, con sus acertados consejos y correcciones lo cual permitió ir mejorando aún más el trabajo final presentado. Por el tiempo que nos facilitaron y la información valiosa compartida. Aunado a lo anterior, es importante dar un agradecimiento al PhD. James Rodríguez y PhD. José Alí Moncada por su tiempo y quienes nos ayudaron al desarrollo de este documento escrito y que también forman parte de el mismo.

A nuestra familia, por su apoyo incondicional para poder alcanzar una meta tan anhelada y a nuestros compañeros y amigos de la Universidad por su apoyo, consejos y experiencias inolvidables, convirtiéndose también en parte de nuestra familia y que siempre estarán dentro de nuestros pensamientos a lo largo de toda la vida.

Gandhy Patricio Perez García.

Alexis José Galarza Guzmán.

DEDICATORIA

A los que siempre confiaron en mí, apoyaron mis logros, me sostuvieron en mis tristezas, son y serán mi mayor inspiración y tesoro, mi padre Milton y a mi madre Paty.

A mis hermanos Alejandro y Sarahí por quienes quiero ser mejor cada día.

Al hermano de otra madre y mejor amigo, Miguel Ángel, por los años vividos y los sueños que aún nos faltan por cumplir.

A Salomé, por estar en el momento, lugar y día indicado.

Gandhy Patricio Pérez García

DEDICATORIA

En primera instancia este logro, como todos los alcanzados hasta el día de hoy y obtenidos en los siguientes años de mi vida, se lo dedico a Dios. Por ser mi inspiración y brindarme la fuerza, fortaleza y voluntad para alcanzar todo lo que deseo y aún más.

A las dos madres por las que siempre estaré agradecido a Dios y a la vida, Alba Guzmán y Lucila Portilla, quienes me han brindado su amor incondicional en todos estos años, por los valores y consejos que me han ayudado a cada vez mejorar como persona y el hombre que soy hoy en día es gracias a ellas. A mi abuelito Segundo Guzmán, quien se convirtió en la figura paterna de mi vida, por sus anécdotas y consejos que siempre perdurarán en mi memoria.

A mi padrastro y amigo Rubén Guzmán, quien siempre me ha orientado a tomar las mejores decisiones en los momentos más difíciles de mi vida y que gracias a su tan acertado consejo, hoy en día soy Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Por velar por mi futuro profesional y lo que llegue a alcanzar será gracias a él. A mi hermano Martin, que a pesar de su corta edad me permite aprender cosas nuevas cada día para ser mejor y por quien siento gran admiración.

Al Biol. Renato Oquendo MCs. que, a más de ser mi director de tesis, fue uno de los mejores docentes que pude haber tenido, además de haber iniciado en mí el gran amor que tengo por las plantas, gracias a sus conocimientos me permitieron tener gran admiración hacia estos seres tan maravillosos de la naturaleza.

A la Ing. Karen Portilla y su novio Jefferson Guerrero que se convirtieron en maravillosos amigos y han sido como hermanos, por quienes siento gran admiración, por sus consejos, siempre brindarme su apoyo y estoy agradecido de que sean parte de mi vida. A mi compañero y amigo Gandhi Pérez, quien me acompañó en esta odisea llamada tesis, por toda la voluntad que tuvo, me hizo recordar siempre que lo imposible no existe, sé que será un excelente profesional y auguro muchos éxitos en su vida.

A todos mis compañeros y amigos, en especial Andrés Ipiates y Melannie García.

Alexis José Galarza Guzmán

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Revisión de antecedentes.....	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	7
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Pregunta directriz de la Investigación.....	8
1.5. Hipótesis.....	8
CAPÍTULO II.....	9
REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
2.1. Marco Teórico.....	9
2.1.1 Ecosistemas hídricos.....	9
2.1.1.1 Contaminación de Ecosistemas hídricos.....	9
2.1.2 Metales pesados.....	11
2.1.2.1 Afectación de metales pesados en ecosistemas acuáticos.....	12
2.1.2.2 Afectación de metales pesados (Pb y Cr ⁶⁺) a la salud humana.....	12
2.1.3 Fitorremediación.....	13
2.1.3.1 Métodos de fitorremediación.....	14
2.1.3.2 Macrófitas (<i>Typha latifolia</i> L.).....	15
2.1.3.3 Humedales artificiales.....	15
2.2 Marco Legal.....	18
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador del año 2008.....	18
2.2.2.1 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida.....	19
2.2.2 Tratados y Convenios Internacionales.....	20
2.2.3 Leyes Orgánicas.....	21
2.2.4 Acuerdos Ministeriales.....	23
2.2.5 Ordenanzas.....	24

CAPÍTULO III.....	26
METODOLOGÍA	26
3.1 Descripción del área de estudio.....	26
3.2. Metodología.....	28
3.3.1 Fase I: Identificación de los factores socioambientales relacionados a los afluentes del lago Yahuarcocha.	28
3.2.2 Fase II: Analizar el desarrollo de la raíz de <i>T. latifolia</i> en un ambiente controlado con diferentes concentraciones de Pb y Cr	34
2.2.3 Fase III: Determinación del modelo de humedales artificiales con <i>T. latifolia</i> para depuración de Pb y Cr en el lago Yahuarcocha.....	37
3.3 Materiales y Equipos.....	40
CAPÍTULO IV.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. Identificación de los factores socioambientales relacionados a los afluentes del lago Yahuarcocha.....	41
4.1.1. Factores sociales.....	41
4.1.2. Caracterización ambiental de afluentes del lago Yahuarcocha.....	50
4.2. Análisis del desarrollo de la raíz de <i>T. latifolia</i> en un ambiente controlado con diferentes concentraciones de Pb y Cr	54
4.2.1. Germinación de semillas de <i>T. latifolia</i>	55
4.2.2. Afectación de concentraciones de Pb y Cr a la raíz de <i>T. latifolia</i>	56
4.3. Propuesta de diseño de humedal artificial para fitorremediación de plomo y cromo con <i>T. Latifolia</i>	62
4.3.1. Diseño hidráulico del humedal artificial	62
4.3.2. Diseño de elementos del humedal artificial subsuperficial.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Recomendaciones.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Casos de morbilidad relacionada con la presencia de Pb y Cr del centro de salud Priorato de 2015 hasta 2018.	13
Tabla 2. Características generales del Lago Yahuarcocha.	27
Tabla 3. Cuadro de operacionalización de variables.	28
Tabla 4. Promedio mensual de caudales en los afluentes del lago Yahuarcocha del año 2018.	33
Tabla 5. Promedio mensual de temperaturas de los afluentes del lago Yahuarcocha del año 2018.	33
Tabla 6. Sales para preparación de solución de microelementos.	35
Tabla 7. Cantidad de soluciones para preparar medio de cultivo Hoagland.	35
Tabla 8. Características de un Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal	38
Tabla 9. Materiales de campo, laboratorio y oficina.	40
Tabla 10. Longitud de los afluentes de la microcuenca del lago Yahuarcocha y uso de suelo (US).	53
Tabla 11. Concentraciones de Pb y Cr (VI) de los afluentes del lago Yahuarcocha.	54
Tabla 12. Prueba Shapiro-Wilk para datos de tratamientos con plomo.	57
Tabla 13. Prueba Shapiro-Wilk para datos de tratamientos con cromo.	57
Tabla 14. Resumen estadístico descriptivo de valores de tratamientos con plomo.	57
Tabla 15. Resumen estadístico descriptivo de valores de tratamientos con cromo.	58
Tabla 16. Prueba de análisis de varianza de los tratamientos con plomo.	58
Tabla 17. Prueba de análisis de varianza de los tratamientos con cromo.	59
Tabla 18. Prueba Tukey de tratamientos con concentraciones de plomo.	59
Tabla 19. Prueba Tukey de tratamientos con concentraciones de cromo.	59
Tabla 20. Determinación del caudal medio de la Quebrada Manzano Huayco. ...	62
Tabla 21. Determinación del caudal medio del Canal Tahuando.	63
Tabla 22. Fórmulas e Información para el diseño hidráulico del humedal.	63

Tabla 23. Costo de materiales para implementación de humedal artificial en la Quebrada Manzano Huayco.....	69
Tabla 24. Costo de materiales para implementación de humedal artificial en el Canal Tahuando.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (A) Modelo esquemático de tecnologías de fitorremediación que involucran la remoción y retención de contaminantes; (B) Procesos fisiológicos que tienen lugar en las plantas durante la fitorremediación.....	14
Figura 2. Humedal de flujo superficial.	16
Figura 3. Humedal de flujo vertical subsuperficial.....	16
Figura 4. Humedal de flujo horizontal subsuperficial.	17
Figura 5. Ubicación de la microcuenca del lago Yahuarcocha.....	26
Figura 6. Afluentes del lago Yahuarcocha.....	30
Figura 7. Sitios de colecta de muestras.....	31
Figura 8. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica Ibarra.....	32
Figura 9. <i>T. latifolia</i> cultivada en solución Hoagland en Rizotróf: a) vista frontal, b) vista lateral.....	36
Figura 10. Diseño del experimento con unidades experimentales.....	37
Figura 11. Género de los entrevistados.....	41
Figura 12. Pirámide de población de encuestados vs edad.....	42
Figura 13. Nivel de educación de los entrevistados.....	43
Figura 14. Tiempo de residencia de los entrevistados.	44
Figura 15. Actividad que realizan los entrevistados.	45
Figura 16. Uso de los recursos naturales del lago y afecciones dérmicas de los entrevistados.....	46
Figura 17. Uso de recursos del lago de los entrevistados.	47
Figura 18. Centro de Salud con más concurrencia por los pobladores entrevistados.	49
Figura 19. Percepción de los habitantes sobre el estado actual del lago Yahuarcocha.....	50
Figura 20. Volumen de caudales de los afluentes del lago Yahuarcocha.....	51
Figura 21. Temperatura de los afluentes del lago Yahuarcocha.	52
Figura 22. Sitios de colecta de semillas de <i>T. latifolia</i>	55
Figura 23. Germinación de semillas de <i>T. latifolia</i> : a) día 3, b) día 5 y c) día 10.	55

Figura 24. Porcentaje de germinación de semillas de <i>T. latifolia</i>	56
Figura 25. Medias del crecimiento de la raíz de <i>T. latifolia</i> en los diferentes tratamientos con plomo.....	60
Figura 26. Medias del crecimiento de la raíz de <i>T. latifolia</i> en los diferentes tratamientos con cromo.....	60
Figura 27. Dimensiones del humedal artificial: a) Humedal quebrada Manzano Huayco, b) humedal Canal Tahuando. Escala: sin escala.....	65
Figura 28. Estructuras de entrada del humedal artificial. a) corte vertical y b) vista superior. Escala: sin escala.....	67
Figura 29. Estructuras de salida del humedal artificial. a) corte vertical y b) vista superior. Escala: sin escala.....	68
Figura 30. Propuesta de ubicación de humedales artificiales en el lago Yahuarcocha.....	68

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA
FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON *Typha latifolia* EN
EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA

Proyecto del trabajo de titulación

Nombre del estudiante: Alexis José Galarza Guzmán

Gandhy Patricio Pérez García

RESUMEN

Las actividades antrópicas han deteriorado la microcuenca del lago Yahuarcocha, que a pesar de implementarse una planta de tratamiento de aguas residuales ha sido deficiente, es así como se propone utilizar métodos alternativos. El objetivo del presente estudio fue diseñar humedales artificiales con *Typha latifolia* para fitorremediación de Pb y Cr en los afluentes del lago Yahuarcocha, basado en tres fases: (1) identificación de aspectos socioambientales de los afluentes por medio de encuestas aplicadas al barrio San Miguel de Yahuarcocha, donde los pobladores utilizan recursos naturales del lago, mientras que la caracterización ambiental mostro que la Quebrada Manzano Huayco y Canal Tahuando aportan un caudal promedio de 123.3 Ls^{-1} y $75,83 \text{ Ls}^{-1}$ al año; y se encontró concentraciones de Pb ($<5 \text{ mgkg}^{-1}$) y Cr ($<3,54 \text{ mgkg}^{-1}$) en los afluentes. (2) El análisis de la raíz de *T. latifolia* con diferentes concentraciones de Pb (100, 200 y 300 ppm) que no afectan el crecimiento de la raíz y Cr (30, 60 7 90 ppm) donde concentraciones de 60 y 90 ppm crecieron menos en relación con el tratamiento con 30 ppm y control. (3) En la determinación del modelo del diseño del humedal se propuso un humedal artificial de flujo subsuperficial, el diseño hidráulico para la Quebrada Manzano Huayco fue de un área superficial de $2\,137,09 \text{ m}^2$, de $84,98 \text{ m}$ de largo por $25,14 \text{ m}$ de ancho, y para el Canal Tahuando se obtuvo un área superficial de $850,79 \text{ m}^2$, de $61,15 \text{ m}$ de largo por $13,91 \text{ m}$ de ancho, y $0,60 \text{ m}$ de profundidad para los dos casos.

Palabras clave: Humedales artificiales, afluentes, fitorremediación, metales pesados y rizotrófon.

ABSTRACT

Anthropic activities have deteriorated micro-basin Yahuarcocha lake and the implementation of a water treatment plant, has been deficient, that is why alternative methods are proposed. The objective of this research was to design artificial wetlands using *Typha latifolia* for Pb and Cr phytoremediation in the lake's affluent, based on three phases: (1) identification affluent social aspects through surveys applied in San Miguel de Yahuarcocha neighborhood, where people use the natural resources found in the lake, while the environmental characterization showed that the Manzano Huayco gully and the Canal Tahuando contribute to the lake an annual average of 123.3 Ls^{-1} and 75.83 Ls^{-1} ; and concentrations of Pb ($<5 \text{ mgkg}^{-1}$) and Cr ($<3,54 \text{ mgkg}^{-1}$) in affluent. (2) The *T. latifolia* root analysis with different concentrations of Pb (100, 200 y 300 ppm) that it do not affect root growth and Cr (30, 60 7 90 ppm), where root grew less in concentrations of 60 and 90 ppm in relation to treatment with 30 ppm and control, and (3) the determination of the wetland design model where an artificial subsurface flow wetland was proposed where the hydraulic design of the Manzano Huayco wetland was of a surface area of $2\,137.09 \text{ m}^2$, 84.98 m long by 25.14 m wide, and for the Canal Tahuando a surface area of 850.79 m^2 was obtained, 61.15 m long by 13.91 m wide, and 0.60 m deep for both cases.

Key words: Artificial wetland, affluent, phytoremediation, heavy metals and rhizotron.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

La necesidad de vivir en satisfacción con nuestro derecho al acceso, uso y consumo de recursos naturales ha ocasionado una degradación ambiental a nivel mundial, es así como el crecimiento demográfico acelerado ha provocado graves impactos en el ambiente (Comas y Morera, 2012; Chopra, 2016). Los países en desarrollo enfocan el crecimiento económico, desarrollo agrícola e industrial, pasando por alto las directrices de protección del ambiente, ocasionando el riesgo de salud en la población y regeneración natural o resiliencia en los ecosistemas (Jan et al., 2015).

El agua ha presentado una relación inexorable con la especie humana y es un recurso natural limitado, con un amplio potencial económico y comercial, convirtiéndose en el factor esencial para la vida, el desarrollo económico y bienestar social (Chaplin, 2001; Espinal, 2011). Los ecosistemas hídricos denominados humedales, brindan importantes beneficios o servicios ecosistémicos a la especie humana como suministros de agua dulce, fuentes alimenticias, fuentes de construcción, diversidad de especies y control de desastres naturales originados por el cambio climático (DAFF, 2011; Ramsar, 2014; Department of the Environment and Energy, 2018).

Sin embargo, la expansión urbana y la creciente necesidad de tierras origina presión hacia los humedales disminuyendo la cantidad, calidad y afectando a los servicios ecosistémicos en diferentes regiones como en América Latina y el Caribe (WLI, 2018). De acuerdo con Davidson (2014), en el siglo XX se evaluaron a nivel mundial 189 humedales, evidenciándose una pérdida entre el 64 y 71 %, afectando principalmente a humedales continentales naturales en África, Oceanía y el Neotrópico. En el siglo XXI aún se evidencia degradación de humedales con efectos graves en su composición y función mediante la incorporación de sustancias contaminantes resultantes de actividades antrópicas (Coello, Pesantes, Macías, y Revelo, 2005).

Las principales actividades que afectan a los humedales son agrícolas, industriales y el crecimiento demográfico, a través del aporte de materia orgánica y sustancias químicas como los hidrocarburos que deterioran la calidad del agua (Abarca y Mora, 2007; Acosta, Ríos, Rieradevall y Prat, 2008; Pazmiño, 2016). El turismo genera grandes impactos negativos en ciertos humedales, un ejemplo es el lago artificial Sochagota en Colombia, que se ha convertido en sumidero de oxidación de aguas negras del sector recreativo y turístico (Leguizamon, 2013).

Los ecosistemas dulceacuícolas lénticos son un medio acumulativo del impacto ambiental negativo de actividades antrópicas (Meena, Sathishkumar, Ameen, Yusoff, y Gu, 2017). De acuerdo con Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, y Acevedo (2011), la contaminación en este tipo de humedales es de dos tipos: la orgánica que incorpora hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, hidrocarburos de petróleo, disolventes clorados, compuestos aromáticos utilizados en la producción de colorantes, entre otros y la contaminación inorgánica que incluye compuestos metálicos y no metálicos.

En general, los ecosistemas lénticos como lagos, estanques y humedales están severamente contaminados por metales pesados (Meena et al., 2007), y como resultado de las grandes cantidades liberadas en estos medios, se ha generado abundancia, evolución, acumulación, permanencia y el desarrollo de técnicas de control de estos elementos, convirtiéndose en tema de preocupación e interés mundial (Islam, Ahmed, Raknuzzaman, Al-Mamum, y Kamrul, 2015). El Plomo y Cromo se incluyen en los metales más tóxicos y altas concentraciones de estos iones metálicos son perjudiciales para seres vivos debido a que su solubilidad en medios acuáticos es considerado uno de los principales problemas ambientales (Waseem et al., 2014).

La contaminación de los ecosistemas acuáticos por metales pesados es un problema ambiental a escala global que va en crecimiento (Sekabira, Origa, Basamba, Mutumba, y Kakudidi, 2010). Es resultado de actividades geológicas naturales y vertidos provenientes de fuentes antrópicas, incorporados a los sistemas hídricos

por medio de afluentes (Méndez et al., 2009). Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse, lo que significa un aumento de estos elementos en un organismo biológico a través del tiempo, a diferencia de los niveles existentes en el medio (Verma y Dwivedi, 2013).

El ámbito teórico de los contaminantes por actividades antrópicas poco se ha enfocado en el impacto de metales pesados en lesiones tóxicas o enfermedades humanas relacionadas con el ambiente (Özdağ y François, 2015). Kumar (2012), menciona que los metales pesados también están presentes en bajas concentraciones en aguas naturales y a pesar de encontrarse de forma natural, muchos de ellos son tóxicos, tal es el caso del plomo y cromo. Dhote y Dixit (2009), afirman que la presencia de estos elementos aumenta debido a la industria y agricultura e ingresan al cuerpo humano por medio de alimentos, agua, aire o absorción al contacto con la piel.

En la actualidad se aplican tratamientos físicos y químicos para la depuración de desechos y se han desarrollado técnicas como la precipitación química, filtros de membrana, entre otros para reducir la concentración de metales pesados en el medio natural. Sin embargo, aunque son efectivos resultan ser costosos, no son de beneficio ecológico y requieren un largo periodo de tiempo para su ejecución (Marreno, Amores y Coto, 2012; Olgún y Sánchez, 2012; Lara, Blázquez, Trujillo, Pérez y Calero, 2014; Sharma, Singh, y Manchanda, 2014). Así también existen métodos biológicos que utilizan mecanismos como el metabolismo microbiano de plantas o procesos de bioabsorción (Delgadillo et al., 2011). Muchas especies de plantas se utilizan con éxito para remediar sistemas de agua y suelos contaminados, en especial macrófitas nativas de los sistemas hídricos (Guittonny et al., 2015).

Autores como Juárez, Arribére, Arcagni y Williams (2016), muestran la eficiencia de las plantas en medios contaminados con metales, tal es el caso de los sistemas lacustres de la Cordillera Andina Patagónica del Norte, donde analizaron el contenido de metales pesados y elementos traza en la vegetación ribereña y en macrófitas, encontrando altas concentraciones de estos elementos en ciertas

especies. Quispe, Arias, Martínez, y Cruz, (2017), determinaron la eficiencia en la modificación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados con *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms., demostrando en ambos casos que el uso de macrófitas removió el 31% de las variables estudiadas, entre ellas el plomo total.

Oyuela, Fernández, y Gutiérrez (2016), realizaron una revisión de estudios donde mencionan que existen especies herbáceas endémicas y nativas para el tratamiento de metales pesados en la mayoría de países latinoamericanos y algunos en América del Norte, Europa y Asia listando 41 especies clasificadas dentro de 18 familias, además de otros estudios de especies distribuidas ampliamente alrededor del globo muestran la eficacia de 47 especies, clasificadas dentro de 19 familias; todas las especies mencionadas presentan la capacidad de tolerancia, bioacumulación e hiperacumulación de metales pesados.

Un género empleado en las fitotecnologías es *Typha*, debido a la retención de metales pesados en su rizosfera, tolerando ciertas concentraciones sin daños fisiológicos (Singh, Richa, y Archana, 2011). Es importante determinar que especie presenta las mejores características de fitorremediación; sin embargo, una investigación de Bonanno y Cirelli (2017), en un humedal natural sujeto a aguas residuales municipales contaminadas con metales pesados cerca del puerto de Catania en la ciudad de Sicilia (Italia), analizó las concentraciones y distribuciones de ocho metales pesados dentro de los que se consideró al Pb y Cr, en tres especies del género *Typha*: *T. domingensis*, *T. latifolia* y *T. angustifolia*. Los resultados indicaron que las tres especies presentan capacidades semejantes para asimilar metales pesados en sus órganos, es decir, igual capacidad de fitorremediación. La alta captación de elementos y la gran biomasa hace de las especies de *Typha spp.* las mejores para la fitorremediación de ambientes contaminados con metales.

Cuando se construyen humedales artificiales para depurar aguas residuales con alto contenido de metales pesados, hay elementos como el Pb que originan estrés en las plantas, reduciendo el rendimiento del tratamiento y otros servicios del sistema, por lo que Han, Chen, Zhou y Wang (2015), investigaron el nivel inhibitorio

irreversible de Pb para *T. latifolia* en humedales de microcosmos para facilitar el diseño y operación de humedales para el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de Pb. La investigación se realizó en el Instituto de Tecnología de Shanghai, China, para lo cual se construyó siete humedales de flujo subsuperficial con concentraciones diferentes de Pb (mgL^{-1}): 0, 10, 25, 50, 100, 200 y 500, operados por lotes en un invernadero con aguas residuales artificiales (10L cada uno) durante 12 días. Los resultados indicaron que las características fisiológicas internas como el contenido relativo de clorofila, tasa de crecimiento relativo, entre otros, no fueron afectados cuando la concentración inicial de Pb fue igual o menor a $100 mgL^{-1}$. Sin embargo, cuando las concentraciones fueron superiores a $100 mgL^{-1}$, estos factores se vieron seriamente afectados, llegando a la conclusión de que las aguas residuales con altas concentraciones de Pb inhiben el crecimiento de *T. latifolia* y disminuye la tasa de fitorremediación dentro de los humedales.

El estudio de Ye, Baker, Wong y Willis (1997), ya confirmaba el estrés que pueden sufrir las plantas ante concentraciones altas de Pb, investigaron la tolerancia de Zn, Pb y Cd en cuatro poblaciones de *T. latifolia* producidas a partir de semillas recolectadas de un lugar no contaminado (Felixstowe, Inglaterra) y tres de sitios contaminados (Sheffield y Cavendish Mill en Inglaterra y Shaoguan en China). Los resultados mostraron que la elongación de hojas y raíz y peso de las plántulas no se vio afectado en concentraciones menores a 10 y $20 mgL^{-1}$, mientras que en concentraciones iguales o mayores a 10 y $20 mgL^{-1}$ se inhibió la elongación de hojas y raíz y reducción del peso de las plántulas, evidenciándose de esta manera la afectación a la fisiología externa de la planta.

Es importante señalar que la especie tolera concentraciones que de acuerdo con la teoría son tóxicas para las plantas como en el caso del Cr. Sasmaz, Obek y Hasar (2008), examinaron la absorción de algunos metales (entre estos el Cr) por *T. latifolia* y la transferencia de los metales desde las raíces a otras partes de la planta. El estudio se desarrolló en humedales de las llanuras de Luova (Turquía), dando como resultados que las concentraciones de Cr en ciertos órganos de la planta fueron altas: $44 mgkg^{-1}$ en raíces y $21 mgkg^{-1}$ en hojas, alcanzando

concentraciones superiores a 10 mgkg^{-1} las cuales presentan efectos fitotóxicos en las plantas según País y Jones (2000), pero encontrándose en el rango de toxicidad que mencionan Kabata y Pendias (2000) que llega a los 60 mgkg^{-1} , pudiendo considerar a esta especie como un bioindicador o bioacumulador para sedimentos y agua contaminada por metales.

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, *T. latifolia* L. es una especie subcosmopolita, que crece a orillas de lagos eutróficos poco profundos, ríos y zanjas (Lansdown, 2017). A nivel regional la Universidad San Luís Potosí (México), estudio la especie en la remoción de Cd y Pb para un humedal artificial de flujo subsuperficial, obteniendo resultados significativos en la remoción de Cd, aunque en el caso del Pb, debido al pH neutro de la solución, no existió una absorción eficaz. En general, la captación de metales pesados fue eficaz con más del 90 % de remoción de Cd y Pb en soluciones de $3,05 \text{ mgL}^{-1}$ (Loredo, Alfaro, y García, 2011).

A nivel local es importante señalar el estudio desarrollado por Oquendo (2016), quien buscó una alternativa para fitorremediación en base a macrófitas existentes en el lago Yahuarcocha, seleccionando a *T. latifolia* debido a las características que presenta y que se señala en la literatura. Estableció así la capacidad que tiene la especie para retener el Pb en su organismo y la disminución del elemento que se presenta en el medio de estudio que fue en un sustrato de turba estéril. Las plantas fueron expuestas a 3 tratamientos: 2, 5 y 10 ppm y una de control durante 10 días, aunque la planta ya presentaba una concentración de 5,80 ppm, siendo importante considerar en el análisis de los resultados. Se encontró que en el tratamiento de 2 ppm se obtuvo una concentración al finalizar el experimento de 7,01 ppm en la planta es decir una absorción del 62%; en 5 ppm, una concentración final de 7,08 ppm y una absorción del 40% y por último en 10 ppm una concentración final de 8,55 ppm y el 27% de absorción, evidenciándose la efectividad de fitorremediación de la especie ante la presencia de los metales pesados, por lo que su autor recomienda utilizarla para el desarrollo de humedales artificiales de flujo subsuperficial en el lago Yahuarcocha.

1.2 Problema de investigación y justificación.

En el lago Yahuarcocha se realizan diversas actividades como la agricultura, usos recreativos, entre otros, que constituyen factores que inciden cada vez más sobre la calidad del sistema lacustre (Pabón, 2015). Tal es el caso de la presencia de metales pesados como Pb y Cd identificados en *Oreochromis mossambicus* de acuerdo con el estudio de Malitaxi (2016). Es así que existe una concentración importante de metales pesados dentro del sistema lacustre, que puede llegar a afectar a la cadena trófica como a la salud de los habitantes de San Miguel de Yahuarcocha, y a pesar de que se ha implementado métodos para el tratamiento de las aguas residuales han sido deficientes y costosos, por lo que es importante implementar mejores métodos para reducir estas concentraciones de contaminación con metales pesados, como el uso de tecnologías ecológicas basadas en la fitorremediación con el uso de *T. latifolia* en sistemas que han propiciado aún más el tratamiento de estos contaminantes como son los humedales artificiales.

El lago Yahuarcocha no está exento a los problemas que acontecen en este tipo de ecosistemas a nivel mundial (Coello et al., 2005). Las diversas actividades que se desarrollan dentro de la microcuenca como en la laguna misma (turismo, agricultura, entre otros), constituyen agentes que inciden cada vez más sobre la calidad ambiental (GAD San Miguel de Ibarra, 2012). Estudios en la composición química del lago Yahuarcocha muestran niveles de Cr y Pb que se encuentran bajo los estándares de la USEPA (2001), como el de Oquendo (2016) y Salcedo (2019), y por otro lado Malitaxi (2016), demostró que las concentraciones de Pb en la especie *Oreochromis mossambicus* sobrepasan los límites máximos permisibles dispuestos en la normativa nacional vigente de calidad de agua de acuerdo con el MAE (2015). Asimismo, el Instituto Nacional de Pesca (2014) realizó un estudio en *Procambarus clarkii* donde se encontró niveles considerables de Pb en sus tejidos. El presente estudio tuvo como finalidad aprovechar las capacidades de *T. latifolia* para la retención de metales pesados con base a la reacción del sistema radicular de la especie frente a concentraciones de Pb y Cr. Se realizó en un ambiente controlado para proponer el diseño eficiente de un sistema de humedal

artificial, que pueda contribuir con la disminución de las concentraciones de Pb y Cr en el lago Yahuarcocha.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

- Diseñar humedales artificiales con *Typha latifolia* para fitorremediación de Pb y Cr en los afluentes del lago Yahuarcocha con base a la caracterización socioambiental.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los factores socioambientales relacionados a los afluentes del lago Yahuarcocha.
- Analizar el desarrollo de la raíz de *Typha latifolia* en condiciones atmosféricas naturales con diferentes concentraciones de Pb y Cr.
- Determinar el modelo de humedales artificiales con *Typha latifolia* para depuración de Pb y Cr en el lago Yahuarcocha.

1.4 Pregunta directriz de la Investigación

¿Afectan las concentraciones de Pb y Cr de los afluentes del lago Yahuarcocha a las raíces de las poblaciones de *Typha latifolia*?

1.5. Hipótesis

Ho: La arquitectura de la raíz de *Typha latifolia* no es afectada por diferentes concentraciones de Pb y Cr en ambientes controlados.

Ha: La arquitectura de la raíz de *Typha latifolia* es afectada por diferentes concentraciones de Pb y Cr en ambientes controlados.

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco Teórico

2.1.1 Ecosistemas hídricos

Un ecosistema es una unidad natural que consta de componentes biológicos (bióticos) y fisicoquímicos (abióticos) que interactúan entre sí para producir un sistema estable. Inicialmente los ecosistemas se pueden clasificar en acuáticos y terrestres, y en el caso del primero, en función de la composición de sales se clasifican también en ecosistemas marinos y de agua dulce. Los ecosistemas de agua dulce se incluyen a los lagos, ríos, arroyos, manantiales y humedales, siendo importante para su clasificación diferentes variables como: temperatura, turbidez, flujo hidráulico, penetración de la luz, vegetación y tiempo de residencia del agua (Barnes y Mann, 1991; University of South Florida, 2000).

Los ecosistemas hídricos aportan con la prestación de cruciales servicios ecosistémicos, como la recreación, el suministro de agua, la producción de peces y otros. Aunque estos servicios pueden ser identificados directamente por las personas, existen ciertos servicios como los de regulación y mantenimiento que no son evidentes. No obstante, todos los servicios deben tener presente que necesitan un uso sostenible y una gestión adecuada de recursos hídricos (Grizzetti, Lanzanova, Liqueste, Reynaud y Cardoso, 2016)

2.1.1.1 Contaminación de Ecosistemas hídricos

Varios cuerpos de agua presentes en todo el mundo han sido contaminados por actividades antropogénicas, por medio de contaminantes que se encuentran en forma de pesticidas, metales pesados, productos de cuidado personal y farmacéuticos, entre otros (Fatima, Usmani y Hossain, 2014). De los servicios que puede llegar a proporcionar el agua a nuestra especie, la actividad agrícola sigue siendo el sector donde más se utiliza y se ocasiona mayor contaminación. Según datos de la FAO en el año 2007 en América Latina el 70,7 % del agua es para uso agrícola, 19% uso doméstico y 10,3 % uso industrial (Erazo y Cárdenas, 2014).

El Ecuador debido a su baja rentabilidad y competitividad en la agricultura ha optado por el uso de agrotóxicos ocasionando contaminación en los ecosistemas en especial acuáticos. De acuerdo con la FAO el Ecuador aumento la compra en agrotóxicos 47 veces entre 1972 (2,3 millones) y 2002 (107,8 millones), a diferencia de otros países de la región como Perú que tan solo lo hizo en 8 veces (Gaibor, Nieto y Velastegui, 2006). Para el año 2000 las hectáreas fumigadas alcanzaban el 42 % de toda la superficie cultivada, es decir alrededor de un millón trescientas mil hectáreas. Los cultivos transitorios solos o monocultivo son los mayores consumidores de agrotóxicos que es alrededor del 65 % de su área, es así como para el año 2000 se fumigaron 653 914 ha dentro del territorio ecuatoriano (Isch, 2011).

Los humedales, siendo considerados como reservorios de agua y refugios de especies migratorias, han sido gravemente afectados por la contaminación. De acuerdo con reportes de Ramsar, alrededor del 60 % han sido deteriorados como resultado de vertidos que se originan de zonas agrícolas próximas, basureros improvisados y construcción de represas (Ramsar, 2014). Es así como en la ciudad de México se produce aproximadamente $120 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de aguas residuales que se depositan en los cuerpos de agua, ocasionando que sus condiciones naturales se degraden, causando un riesgo para la salud y bienestar de la flora, fauna y población humana (Félix y Sevilla, 2003).

La contaminación de los ecosistemas hídricos como resultado de productos orgánicos e inorgánicos es un factor importante por considerar, debido a que plantea una grave amenaza para la supervivencia de los organismos acuáticos como los peces o de otros que dependen de estos medios como la especie humana (Saeed y Shaker, 2008). Dentro de los tipos de contaminantes encontramos a los biológicos (virus, bacterias y otros), agentes físicos (temperatura y reactividad) y agentes químicos (venenos químicos, solidos suspendidos y otros). Los agentes químicos presentan un gran peligro para los ecosistemas hídricos, debido a que se presentan como venenos para los organismos, entre los cuales resaltan los metales pesados. Las sustancias químicas que se adicionan a los ecosistemas hídricos pueden ser

orgánicos e inorgánicos (Félix y Sevilla, 2003; Santos, Silva, Schaefer, Albuquerque y Campos, 2005):

a) Contaminantes orgánicos

Entre estos destacan los fenoles (dan sabor al agua), benceno (cancerígeno), clordano y DDT. El grupo que constituye a los difenilos policlorados (PBC₅) son compuestos similares al DDT respecto a la estabilidad y son extremadamente tóxicos, aunque se los emplea para diferentes procesos industriales como el vidrio, pinturas, equipo eléctrico, otros. Además, aunque irónico también se los utiliza para el tratamiento químico del agua. Otros contaminantes por considerar son los hidrocarburos clorados que afectan en especial a las aguas subterráneas.

b) Contaminantes inorgánicos

La contaminación de los ecosistemas acuáticos por medio de productos químicos inorgánicos se ha considerado una amenaza para los organismos acuáticos. El agua de drenaje agrícola que contiene pesticidas y fertilizantes, efluentes de actividades industriales y además de los efluentes de aguas residuales, suministran a los cuerpos de agua y sedimentos grandes cantidades de aniones inorgánicos y metales pesados.

2.1.2 Metales pesados

Los metales pesados, según Méndez et al. (2009) son elementos químicos con densidad alta, concentraciones tóxicas y venenosas para los seres vivos. Por lo general se encuentran en la corteza terrestre formando sales, minerales y debido a que no tienen funciones metabólicas específicas no pueden ser degradados. Su toxicidad no solo radica en la concentración total, sino en su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino et al., 2002). De acuerdo a Tiller (1989), el término metal pesado puede utilizarse como una designación a escala global que comprende todos aquellos elementos metálicos que sean notables como contaminantes potencialmente tóxicos para el ambiente.

2.1.2.1 Afectación de metales pesados en ecosistemas acuáticos

La contaminación en lagos con metales es un factor que representa una grave amenaza para la supervivencia de los organismos acuáticos. Los lagos son ecosistemas complejos y frágiles que poseen una baja capacidad para auto depurarse, por lo tanto, este tipo de ecosistemas pueden rápidamente acumular contaminantes (Dámarys et al., 2012; Vemic, Rousseau, Du Laing y Lens, 2014).

A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no son típicamente removidos de ecosistemas acuáticos por medio de procesos naturales. Una vez que se hayan acumulado en el fondo de los sedimentos, empiezan a ascender en la cadena alimentaria, a menudo se biomagnifica a niveles tróficos superiores y por último ocasionando enfermedades crónicas y agudas en humanos y animales (Förstner y Wittmann, 1981; Ross, 1994).

2.1.2.2 Afectación de metales pesados (Pb y Cr⁶⁺) a la salud humana

Las intoxicaciones agudas ocasionadas con metales pesados son poco frecuentes, siendo la intoxicación crónica más frecuente en la infancia la provocada por plomo. además, cuando es causada por otros metales, son múltiples los sistemas orgánicos que son afectados (Blumer, 1993). Los efectos tóxicos ocasionados por los metales pesados son resultado de la capacidad que presentan para reaccionar con ciertos grupos reactivos o ligandos esenciales, los cuales contienen nitrógeno, azufre y oxígeno (-OH, -SH, -NH₂), que son necesarios para el normal desarrollo de las funciones dentro del organismo (Beneit y Velasco, 1993).

De acuerdo con información sobre morbilidad del Sub centro de Salud de Priorato, que corresponde al más cercano al lugar de esta investigación, el Barrio San Miguel de Yahuarcocha, en el periodo 2015 a 2018, en función de los signos y síntomas más comunes debidos al Pb y Cr⁶⁺, se obtuvo que los casos de infección de las vías urinarias sitio no especificado y de código N390 es de las mayores afecciones con 113 casos y el prurito no especificado de código L299 con 18 casos el de menor afección dentro de los cuatro años (Tabla 1).

Tabla 1. Casos de morbilidad relacionada con la presencia de Pb y Cr del centro de salud Priorato de 2015 hasta 2018.

MORBILIDAD	Total de casos atendidos				Promedio
	2015	2016	2017	2018	
L209 - Dermatitis atópica no especificada	16	33	5	9	16
R51x - Cefalea	11	81	26	24	35
I10x - Hipertensión esencial (primaria)	12	71	13	25	30
N390 - Infección de vías urinarias sitio no especificado	14	262	97	78	113
K297 - Gastritis no especificada	29	109	19	5	40
M255 - Dolor en articulación	11	53	14	5	21
L299 - Prurito no especificado	--	32	4	--	18
M792 - Neuralgia y neuritis no especificadas	--	28	21	12	20

Fuente: Datos obtenidos del Distrito de Salud Ibarra N°1.

2.1.3 Fitorremediación

Según Delgadillo et al. (2011) “la fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes” (p. 597). La EPA (2001), la define como el uso de plantas para remediar parcial o sustancialmente contaminantes seleccionados utilizando procesos biológicos y las características físicas de las plantas para ayudar en la remediación del sitio. Oyuela et al. (2016), realiza una recopilación de estudios que reafirman la efectividad del uso de fitotecnologías debido a la gran capacidad de bioacumulación de iones metálicos de ciertas especies.

La fitorremediación es una tecnología respetuosa con el ambiente, económica y no invasiva para limpiar los recursos tanto hídricos como edáficos contaminados. Las plantas adoptan varios mecanismos para desarrollarse en ambientes con metales pesados sin efectos adversos que pueda comprometer su crecimiento (Sabir, Waraich, Rehman, y Ozturk, 2015; Szczygłowska, Piekarska, Konieczka, y Namieśnik, 2011).

La fitorremediación aprovecha los procesos biológicos de plantas para eliminar, controlar o estimular la descomposición de contaminantes por medio de diferentes mecanismos, permitiendo su absorción, concentración, transformación, estabilización y degradación, con microorganismos en la rizósfera o incorporándose

directamente a su biomasa (Cunningham, Shann, Crowley, y Anderson, 1997; Martín y Santamaría, 2000; McCutcheon y Schnoor, 2003).

2.1.3.1 Métodos de fitorremediación.

Una variedad de términos se han utilizado en la literatura para referirse a estos mecanismos (Figura 1), entre los más importantes se encuentran la: (i) fitoextracción, en donde las plantas absorben los contaminantes metálicos y luego se cosechan para su eliminación; (ii) la fitoestabilización, donde las plantas estabilizan contaminantes metálicos u orgánicos cerca de sus raíces; (iii) fitodegradación, donde los contaminantes orgánicos se transforman en algo menos tóxico o no tóxico, ya sea por la propia planta o por reacciones causadas por bacterias en la zona de la raíz de la planta; (iv) fitovolatilización, donde las plantas absorben contaminantes metálicos u orgánicos y los transforman en gas que se libera al aire y rizofiltración, las raíces se usan para absorber, precipitar y concentrar fuentes hídricas contaminadas, la cual suele utilizarse en la aplicación de humedales artificiales (Greipsson, 2011; Sabir, Waraich, Rehema y Öztürk, 2015; The University of Arizona, 2018).

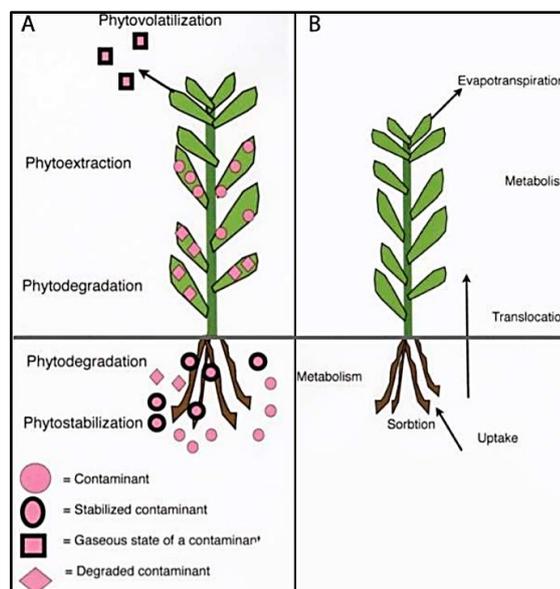


Figura 1. (A) Modelo esquemático de tecnologías de fitorremediación que involucran la remoción y retención de contaminantes; (B) Procesos fisiológicos que tienen lugar en las plantas durante la fitorremediación.

Fuente: Greipsson, 2011

2.1.3.2 Macrófitas (*Typha latifolia* L.)

Entre las diferentes especies de macrófitas potenciales para la depuración de aguas con metales pesados se considera a la especie *T. latifolia*, determinada como una especie acuática emergente, que realiza fundamentalmente el proceso de rizofiltración para alcanzar los objetivos de la fitorremediación (Mentaberry, 2011). *T. latifolia* es una planta perenne acuática que se desarrolla en humedales dulceacuícolas y en la orilla de lagos y lagunas con diferentes condiciones climáticas. Es una especie angiosperma de propagación accesible, que presenta una gran capacidad de crecer en sistemas hídricos contaminados con metales pesados y altas velocidades de crecimiento y reproducción. Además, se la utiliza como una especie bioindicadora para un extenso rango de tolerancia a toxicidad (Rodríguez, 2015).

2.1.3.3 Humedales artificiales

Los humedales artificiales dentro de la fitorremediación se consideran otro tipo de técnicas más complejas que pueden ayudar a mejorar la eficiencia del sistema para la depuración de los metales pesados en ecosistemas lénticos. Comprenden comúnmente a un monocultivo o policultivo de macrófitas dispuestas en lagunas, tanques o canales no tan hondos. El efluente es sometido a diferentes métodos fisicoquímicos y bacteriológicos (Delgadillo et al., 2011). No obstante, el oxígeno que es utilizado para este tipo de procesos se lo obtiene a través de las plantas, como resultado de procesos ecofisiológicos. Un requerimiento necesario para la eliminación de microorganismo por parte de estas plantas es la transferencia de oxígeno hacia la zona radicular. A pesar de que existen diversos tipos de humedales como los de flujo superficial, los libres o subsuperficiales (verticales u horizontales), para presentar mejores resultados se recomienda una aplicación mixta de estas técnicas (Lara, 1999; Fernández, 2002).

En lo que respecta a los humedales de flujo superficial el agua se encuentra expuesta a la atmósfera directamente y circula principalmente por medio de las hojas y tallos de las plantas (Figura 2). Este tipo de humedal se lo puede comprender como una transformación del lagunaje natural presentando una lámina de agua con una profundidad entre 0,3 y 0,4 m con plantas. Este método se suele aplicar para mejorar

los efluentes que presentan un tratamiento previo dentro de una depuradora (García y Corzo, 2008).

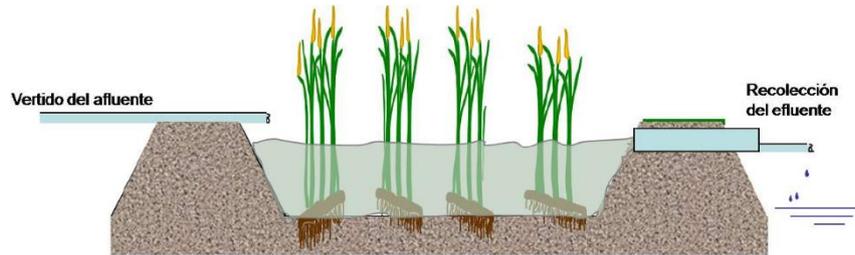


Figura 2. Humedal de flujo superficial.

Fuente: (García y Corzo, 2008).

Los humedales construidos con flujo subsuperficial se usan predominantemente en Europa. En tales humedales, la dirección del flujo de aguas residuales puede ser vertical u horizontal (Mustafa, 2013). Independientemente de la dirección del flujo, las partes principales de los humedales construidos son: parte de entrada, parte central (filtración) y parte de salida. La conformación del humedal debe contribuir a la orientación adecuada del flujo de aguas residuales, de modo que pase (si es posible) a través de todo el medio de filtración (Stanković, 2017).

En el caso de humedales de flujo vertical subsuperficial, las aguas residuales se distribuyen a lo largo de la superficie del medio de filtración y luego se filtra verticalmente a través de este medio (sustrato). El término "filtro vertical" también se adopta para este tipo de humedales, que se encuentran constituidos por un lecho plano de arena o grava cubierto de vegetación (Figura 3). Las aguas residuales se distribuyen en la parte superior y se filtran por medio del lecho, para ser después recogidas a través de una red de drenaje que se coloca en la base del sistema (ONU-HABITAT, 2008).

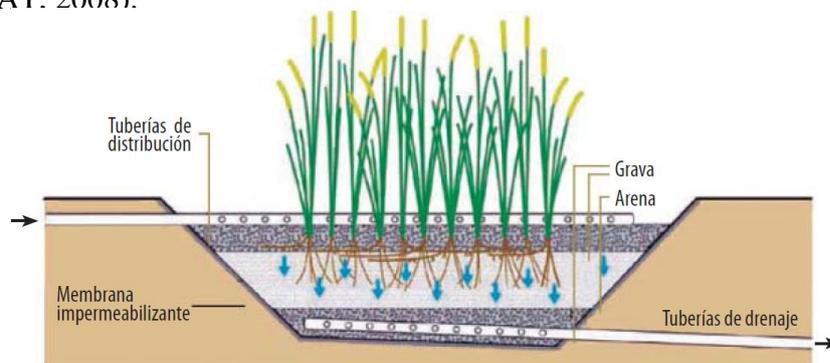


Figura 3. Humedal de flujo vertical subsuperficial.

Fuente: (ONU-HABITAT, 2008).

En el caso de un humedal de flujo horizontal subsuperficial, el agua residual se distribuye en la parte de entrada a lo largo de un lado del lecho y fluye horizontalmente a través del medio de filtración, en dirección a la parte de salida del humedal (Figura 4). El término "filtro horizontal" también se usa a menudo para denotar este tipo de humedal. Las aguas residuales durante este trayecto están en contacto con una trama de zonas anóxicas, aeróbicas y anaeróbicas. En el transcurso del paso de las aguas residuales a través de la rizosfera de la planta, el agua a ser depurada se limpia por medio de procesos fisicoquímicos y degradación microbológica (García y Corzo, 2008).

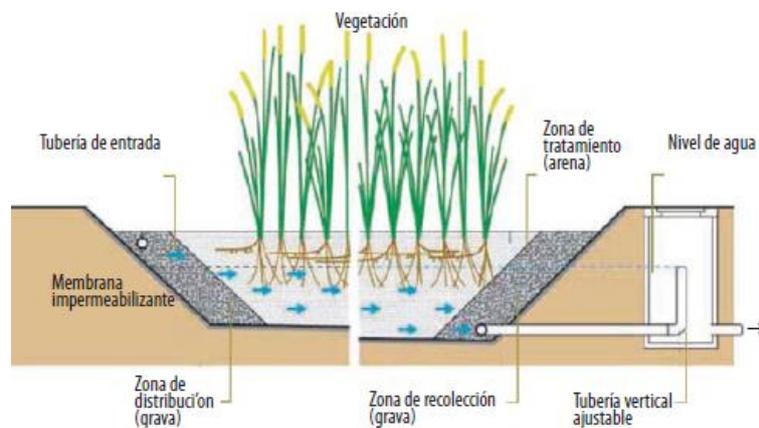


Figura 4. Humedal de flujo horizontal subsuperficial.

Fuente: (ONU-HABITAT, 2008).

a) Hidrología de un humedal artificial

La hidrología de los humedales influye directamente y controla los factores abióticos, como la disponibilidad de agua y nutrientes, las condiciones aeróbicas y anaeróbicas en las columnas de suelo y agua, la química del agua, la salinidad del suelo, las condiciones del suelo (por ejemplo, la construcción de turba) y la profundidad y velocidad del agua. A su vez, los componentes bióticos de un humedal (principalmente vegetación) influyen directamente en la hidrología de los humedales a través de procesos, como la transpiración, la intercepción de precipitaciones, la construcción de turba, el sombreado y los bloques de viento (USEPA, 1999).

b) Diseño hidráulico del humedal artificial

Según la USEPA (1999), la hidráulica del humedal se refiere al movimiento del agua dentro del humedal artificial construido, el diseño hidráulico inadecuado puede causar problemas con el transporte y filtración del agua, así como generar olores y vectores. Dentro de los parámetros más importantes a tomar en cuenta para el diseño del humedal se debe considerar:

- Profundidad del agua
- Área Superficial
- Volumen del humedal
- Porosidad del medio
- Tiempo de retención hidráulica
- Temperatura del afluente
- Caudal de ingreso
- Relación Largo x Ancho
- Conductividad Hidráulica
- Elementos del humedal artificial

2.2 Marco Legal

Como se menciona en la carta magna de la República del Ecuador, con Registro Oficial 449 del 20 de octubre del 2008, suscrito en el Art. 424, La Constitución es la *norma superior* y predomina sobre cualquier otra norma del orden jurídico. Es así como en el Art. 425, basándose en la pirámide de Kelsen, la constitución va a ser la primera norma en ser considerada, siguiendo con los tratados y convenios internacionales, y en última instancia con los demás actos y decisiones de los poderes públicos.

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador del año 2008

Dentro de la constitución de la República del Ecuador, se presentan artículos sobre la protección y restauración del ambiente, los cuales se muestran a continuación (Constitución de la República del Ecuador, 2008):

En el Art. 14 y 66 inciso 27, hablan sobre establecer derechos de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como la preservación de espacios públicos y la recuperación de espacios naturales de interés público, y el derecho a la restauración de los ecosistemas para garantizar la salud, por medio de mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental como se menciona en el Art. 72 y 397 inciso 2.

En el Art. 395, se establecen principios ambientales relacionados al desarrollo sostenible, siendo importante tan solo mencionar lo más relevante dentro de cada numeral:

1. El Estado garantizará que se conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

Con respecto al Art. 406 menciona que el Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación y limitaciones de los ecosistemas frágiles y amenazados, entre estos los humedales.

2.2.2.1 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida.

El Plan Nacional de Desarrollo se enmarca en la constitución en los Art. 280 el cual menciona que el plan es un instrumento que se sujetarán a las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del estado en donde su formulación y ejecución se sujetara al plan como se menciona en el Art. 293. Se enfoca en tres ejes y cada uno con tres objetivos específicos (SENPLADES, 2017).

El Eje 1 (Derechos para todos durante toda una vida), en su objetivo 3 se menciona que se va a garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones en donde vendría inmerso el presente estudio. Dentro de sus políticas en la 3.2 se menciona en distribuir equitativamente el acceso al patrimonio natural,

así como beneficios y riqueza obtenidos por su aprovechamiento, promover la gobernanza sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables. En la 3.4 se opta por promover buenas prácticas que ayuden a la reducción de la contaminación, la conservación, mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático e impulsar las mismas en el ámbito global.

De acuerdo con las metas a ser alcanzadas para el 2021 en función del eje y objetivo mencionados, se pretende mantener el 16% de territorio nacional bajo conservación o manejo ambiental, reducir y remediar la contaminación de fuentes hídricas, incrementar el porcentaje de aguas residuales con tratamiento adecuado e incrementar el número de municipios que depuran las descargas de agua antes de verterlas al ambiente.

2.2.2 Tratados y Convenios Internacionales

2.2.2.1 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo

Uno de los convenios internacionales que marcó un hito en la historia del desarrollo sostenible y en especial de la gestión ambiental es la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que se lo llevo a cabo en la ciudad de Río del 3 al 14 de junio de 1992. Es así que los principios a considerar dentro del trabajo de estudio son los siguientes (ONU, 1992):

Principio 1:

El cual menciona a los seres humanos como el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible, que tienen derecho *a una vida saludable y productiva, en equilibrio con la naturaleza.*

Principio 4:

Para alcanzar el desarrollo sostenible, se debe considerar *en forma conjunta la protección del ambiente,* y no de forma aislada.

Principio 7:

En este principio se menciona a los Estados como *principales entes para conservar, proteger y restablecer la salud e integridad de los ecosistemas de la Tierra.*

Principio 15:

Con el objetivo de proteger al ambiente, los Estados deber aplicar en su totalidad el *criterio de precaución* conforme a sus posibilidades.

2.2.3 Leyes Orgánicas

2.2.3.1 Código Orgánico del Ambiente (COA)

Con Registro Oficial N° 983 - Suplemento del 12-04-2017, el COA tiene como fin garantizar a las personas vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza, cuyo cumplimiento es obligatorio por parte de todos los entes públicos, privados o naturales, siendo los artículos más importantes los siguientes (COA, 2008):

Reiterando lo antes mencionado, en el Art. 3 numeral 4, 7 y 8, y Art. 6 se propone que este código tiene como fin: establecer, implementar e incentivar mecanismos e instrumentos para la restauración de los ecosistemas, servicios ambientales y recursos naturales; por medio de la prevención, minimización, control y participación frente a los impactos ambientales, teniendo presente los derechos de la naturaleza como se hace mención en la carta magna.

En el Art. 9, sobre los principios ambientales, en el numeral 2 menciona que: El Estado va a proponer tanto al sector público como privado el uso de tecnologías limpias amigables con el ambiente, que reduzcan los daños al ambiente en todas las fases productivas y los costos y disposición final de los desechos.

Respecto al Art. 26 numeral 2 y Art. 27 numeral 2 es competencia de los GAD provinciales y municipales elaborar planes, programas y proyectos de restauración. En el Art. 82 relacionado con los servicios ambientales, se establecerá un marco general para la restauración de los ecosistemas por medio de mecanismos que aseguren su permanencia.

El Art. 118 hace mención que en la restauración de ecosistemas se priorizará la regeneración natural cuando sea posible técnica, económica y socialmente; y

De acuerdo con el Art. 261 con respecto a las medidas mínimas de adaptación y mitigación la autoridad ambiental con las entidades intersectoriales, impulsarán la promoción de la restauración de zonas y ecosistemas degradados y afectados,

2.2.3.2 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD)

De Registro Oficial N° 303 – Suplemento, del 19-10-2010, establece la organización político-administrativa del Estado, el régimen de los diferentes niveles de los GADs y regímenes especiales con el objetivo de garantizar la autonomía política, administrativa y financiera (COOTAD, 2010):

En su Art. 136, menciona que los GADs 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.

2.2.3.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Registro Oficial N° 305 - Segundo Suplemento, del 06-08-2014, la presente ley tiene como fin garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la restauración de los recursos hídricos, la gestión integral y la recuperación en sus distintas áreas (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

En su Art. 3 menciona sobre el objetivo de la ley, el cual será garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos. Por otro lado, en su Art. 4 uno de sus principios es que el agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad.

El Art. 64, manifiesta que la naturaleza tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida, es así que tiene derecho a:

a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;

- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

2.2.3.4 Ley Orgánica de Salud

Con Registro Oficial N° 423 - Suplemento, del 22 de diciembre de 2006, la presente ley tiene como fin regular las acciones que permitan asegurar el derecho a la salud Universal (Ley Orgánica de Salud, 2012).

En el Art. 3 se menciona que el Estado es responsable de la protección y garantía del derecho humano a la salud el cual es inalienable, indivisible, irrenunciable e intransmisible. Además, se debe presentar una interacción entre el Estado, sociedad, familia e individuos para la creación de ambientes, entornos y estilos de vida saludable.

En el caso del Art. 7 literal c, toda persona con respecto a la salud tiene derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.

2.2.4 Acuerdos Ministeriales.

2.2.4.1 Acuerdo Ministerial No 061

De Registro Oficial N° 316 y de fecha 04 de mayo del 2015, está normativa se presenta como una reforma al Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente, que tiene como fin establecer los procedimientos y regulaciones a las actividades públicas y privadas en materia de calidad ambiental (MAE, 2015).

En el capítulo VIII concerniente a la calidad de los componentes bióticos y abióticos, sección III (calidad de los componentes abióticos), parágrafo I (del agua) en el Art. 209 de la calidad de agua, se menciona que el control y evaluación de la

calidad del agua se lo va a realizar por medio de monitoreos, procedimientos analíticos y muestreos. Además, que toda actividad antrópica deberá efectuar las acciones preventivas necesarias para asegurar y no alterar la calidad y cantidad de agua.

Con respecto al Art. 10 de la prohibición, en el literal b se manifiesta que se prohíbe la descarga de vertidos y descargas que sobrepasen los criterios de calidad o límites permisibles establecidos en las normas técnicas o anexos de aplicación y en este Libro. Es así, que en el literal d además se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no se encuentre apto para soportar las descargas.

Continuando con el mismo capítulo VIII, sección III y párrafo III de los sedimentos, en el Art. 215 referente a la calidad de los sedimentos, se menciona que los sedimentos pueden ser de origen natural tales como los existentes en los lechos de los lagos y lagunas; y los de origen industrial como los que provienen de plantas de tratamiento. Para efectuar la evaluación de la calidad de los sedimentos al igual que el agua se realiza muestreos y monitoreos de las áreas directamente influenciadas por la actividad regulada.

En el caso de existir contaminación en el Art. 218 de los tratamientos de los sedimentos contaminados, se ejecutará por medio de procedimientos aceptados por la Autoridad Ambiental Competente, acorde a lo establecido en la norma técnica de sedimentos y de ser el caso en la de desechos peligrosos.

2.2.5 Ordenanzas

2.2.5.1 Ordenanza que Reglamenta el Uso y Ocupación del Suelo en el Cantón Ibarra

Con Fecha de Registro Oficial del 24-01-2017, la presenta Ordenanza tiene como objetivo regular el territorio del cantón Ibarra, fortaleciendo el desarrollo sostenible

y sustentable del uso y ocupación del suelo, en forma ordenada, planificada y regularizada (GAD San Miguel de Ibarra, 2017).

De acuerdo con los Arts. 297, 298, 299, 300, 302, 305, 306, 307, 309, 310, 311, 313, 314 y 317, de forma general tratan sobre que el Lago de Yahuarcocha es declarado como Patrimonio Natural de la ciudad de Ibarra, y las diferentes actividades y zonas de protección que se le va a asignar al cuerpo lacustre en base a las leyes orgánicas como la ley de recurso hídrico, uso y aprovechamiento del agua y el COOTAD.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El lago Yahuarcocha se ubica en la zona norte del Ecuador, en la provincia de Imbabura, en el cantón Ibarra. La microcuenca posee una longitud axial de 10,59 Km^2 con una superficie de 25,07 Km^2 , y un perímetro de 26,96 Km . Ocupa el sector urbano y urbano marginal correspondiente a las parroquias de: San Francisco, El Sagrario y la Dolorosa de El Priorato (GAD San Miguel de Ibarra, 2012). En la parroquia San Francisco se encuentran poblados: Yuracucito y Añaspamba, en la parroquia El Sagrario se ubican los Barrios San Miguel de Arcángel, El Olivo Alto y Yuracruz, y en la parroquia la Dolorosa de El Priorato están los barrios de Aloburo, Priorato y San Miguel de Yahuarcocha, siendo este último el centro poblado más grande (Figura 5).

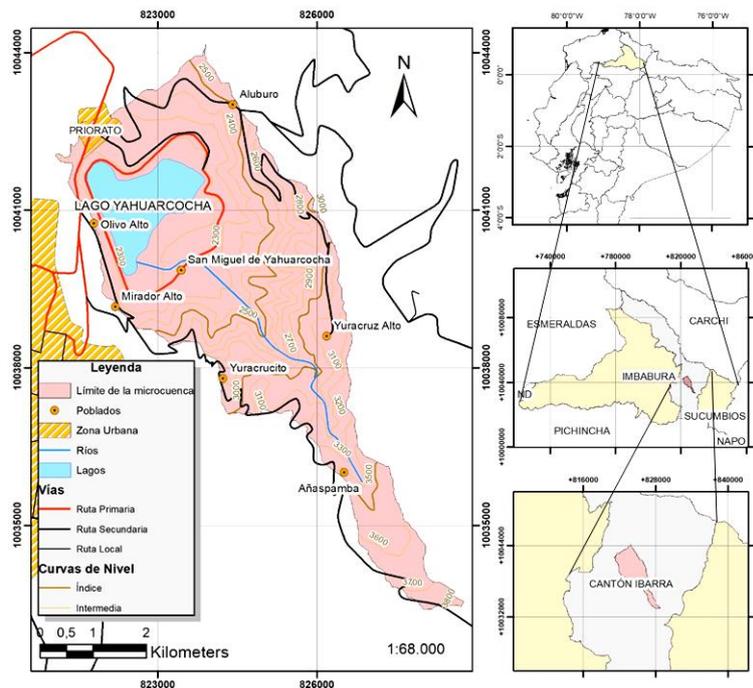


Figura 5. Ubicación de la microcuenca del lago Yahuarcocha.

En su zona alta y media posee ecosistema tipo páramo y bosque húmedo, mientras que en la cuenca baja se encuentra el lago Yahuarcocha, rodeado por las lomas de

Priorato, Yuracucito y Piola que presentan vegetación de matorral seco. Según el GAD San Miguel de Ibarra (2012), la altitud máxima es de 3820 m s.n.m., mientras que la cota más baja se encuentra sobre los 2200 m s.n.m.; geográficamente se ubica en las coordenadas latitud N 00°22'30" y longitud O 78°06'10".

Según el diagrama ombrotérmico del plan del manejo de la microcuenca del lago Yahuarcocha tiene dos épocas, la lluviosa desde los meses de enero hasta finales de mayo y desde septiembre hasta diciembre. Por otro lado, la época seca va desde junio a agosto (GAD San Miguel de Ibarra, 2012). Posee un clima subhúmedo mesotérmico templado frío, con temperaturas que varían entre 5 a 25 °C y una precipitación media anual de 720 mm y debido a su proximidad con la ciudad de Ibarra es considerado un lago urbano (Revelo, 2017).

El lago Yahuarcocha se encuentra a una altitud de 2192 m s.n.m., con una superficie de 2,6 km² y 12,7 millones de m³ de agua. Alrededor del 25% de la cuenca es zona agrícola (GAD San Miguel de Ibarra, 2012). Según Saelens (2015) la zona urbana representa un 6,1% y en las partes más altas se encuentra vegetación típica de páramo (1,6%) (Tabla 2).

Tabla 2. Características generales del Lago Yahuarcocha.

Parámetro	Yahuarcocha
Altitud (<i>m</i>)	2192
Área superficial (m²)	2,6
Profundidad máxima (<i>m</i>)	6,9
Profundidad media (<i>m</i>)	4,9
Volumen (m³)	12,7*10 ⁶
Precipitación anual (<i>mm</i>)	750
Área de captación (km²)	23,71
Área urbana (%)	6,07
Plantaciones (%)	1,86
Área agrícola (%)	25,64
Páramo (%)	1,64

Modificado de: (Saelens, 2015).

3.2. Metodología.

La Metodología se ha establecido en función de los tres objetivos específicos del proyecto de investigación, es así como cada objetivo para su cumplimiento consta de una fase, las cuales van a ser presentadas a continuación:

3.3.1 Fase I: Identificación de los factores socioambientales relacionados a los afluentes del lago Yahuarcocha.

3.2.1.1 Factores sociales

Para caracterizar los aspectos socioambientales se elaboró un cuestionario el cual, según Hernández (2014), es el instrumento más utilizado para obtener datos de estos fenómenos y se utilizan en encuestas de todo tipo. El cuestionario se realizó con base en un cuadro de operacionalización de variables (Tabla 3) y se validó por el PhD. José Alí Moncada, docente y personal técnico científico del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte (Anexo 1).

Tabla 3. Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicador	Ítem
Salud de los habitantes de San Miguel de Yahuarcocha	Aspecto Social	Grupo Étnico al que pertenece.	1
		Nivel de Educación.	2
		Años de residencia.	3
		Actividad que realiza	4
		Recursos del Lago utilizados	5
	Aspecto de salud	Tipo de recursos utilizados en el humedal.	6
		Afectación cutánea por contacto con el lago	7
		Enfermedades cutáneas y órganos internos atendidas en centros de salud	8
		Lugar donde se realiza la atención médica de las personas	9
		Percepción del estado actual del lago (Escala de Likert)	10

Las encuestas se aplicaron en el Barrio de San Miguel de Yahuarcocha debido a su cercanía con el cuerpo lacustre, para verificar como el agua ha incidido sobre la salud de la población. Se realizó una encuesta no probabilística y la aplicación del muestreo aleatorio simple con reposición (MAS), ya que todas las unidades muestrales van a tener la misma posibilidad de ser elegidas una sola vez dentro del

estudio y para la estimación del tamaño muestral se utilizó la fórmula propuesta por Salinas y Cárdenas (2009). Los datos fueron procesados con ayuda del software de análisis estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), el cual se utiliza para el análisis de datos cualitativos, (Herrerias, 2005).

La población se determinó mediante el método empleado para el cálculo de la población atendida por el servicio de agua potable por las empresas EMAPA-I y EMELNORTE y modificado para su uso por Jácome (2015), con datos del total de acometidas domiciliarias actuales y un factor de correlación de 3.39, la tasa de crecimiento demográfico es de 1,6 utilizando las siguientes fórmulas

Fórmula 1. Población atendida

$$**Población Atendida = Total de acometidas domiciliarias * Factor de Correlación**$$

$$**Población atendida = 638 * 3,39**$$

$$**Población atendida = 2162,82**$$

Fórmula 2. Población sin conexión al servicio

$$**Población sin conexión al Servicio = \frac{Tasa de Crecimiento Demográfico * Población Atendida}{100}**$$

$$**Población sin conexión al servicio = \frac{1,6 * 2162,82}{100}**$$

$$**Población sin conexión al servicio = 34,61**$$

Fórmula 3. Población Total

$$**Población Total = Población Atendida + Población Sin conexión al Servicio**$$

$$**Población total = 2162,82 + 34,61**$$

$$**Población total = 2197,43 \approx 2197 habitantes**$$

Para obtener una muestra significativa de la población se aplicó la fórmula de tamaño de una muestra de una población conocida:

Fórmula 4. Muestra significativa

$$n = \frac{k^2 * N * V^2}{N * D^2 + k^2 * V^2}$$

Donde:

k: es el nivel de confianza

N: es tamaño de la población

V: es el coeficiente de variación poblacional de la variable bajo estudio
D: es el margen de error muestral relativo

$$n = \frac{2197 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (2197 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$n = 327 \text{ pobladores}$

3.2.1.2 Caracterización de afluentes del lago Yahuarcocha

Se generó un mapa de cobertura vegetal con la técnica de clasificación no supervisada de una imagen satelital con la ayuda de Software GIS, cuya técnica según Arango, Branch y Botero (2005), es una agrupación de los valores digitales iguales de las bandas de una imagen satelital, denominadas firmas espectrales, del área de estudio para conocer los diferentes ecosistemas que son atravesados por las redes de drenajes de los afluentes del lago.

Los afluentes fueron caracterizados según los resultados de Portilla (2015), quien identifica 5 ingresos de agua al lago: Canal del río Tahuando, Quebrada Manzano Huaycu, Quebrada Polo Golo, Quebrada San Antonio (Rancho Totoral) y Quebrada del Girón (Predio Miguel Hidrobo) (Figura 6).

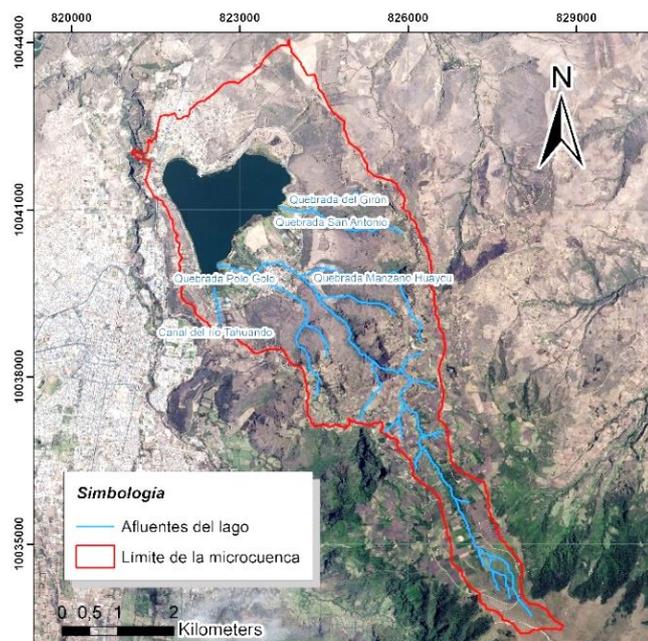


Figura 6. Afluentes del lago Yahuarcocha.

Se colectaron muestras de sedimentos en la desembocadura de cada afluente del lago (5 ingresos y una salida), cuyos sitios de muestreo fueron los que plantea Revelo (2017) (Figura 7). Para la colecta y conservación de las muestras se consideró lo establecido por los Métodos de prueba para la evaluación de residuos sólidos: métodos físicos/químicos también conocidos como SW-846, que fueron creados para el análisis de varios métodos ambientales y como apoyo a la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) (USEPA, 2017).

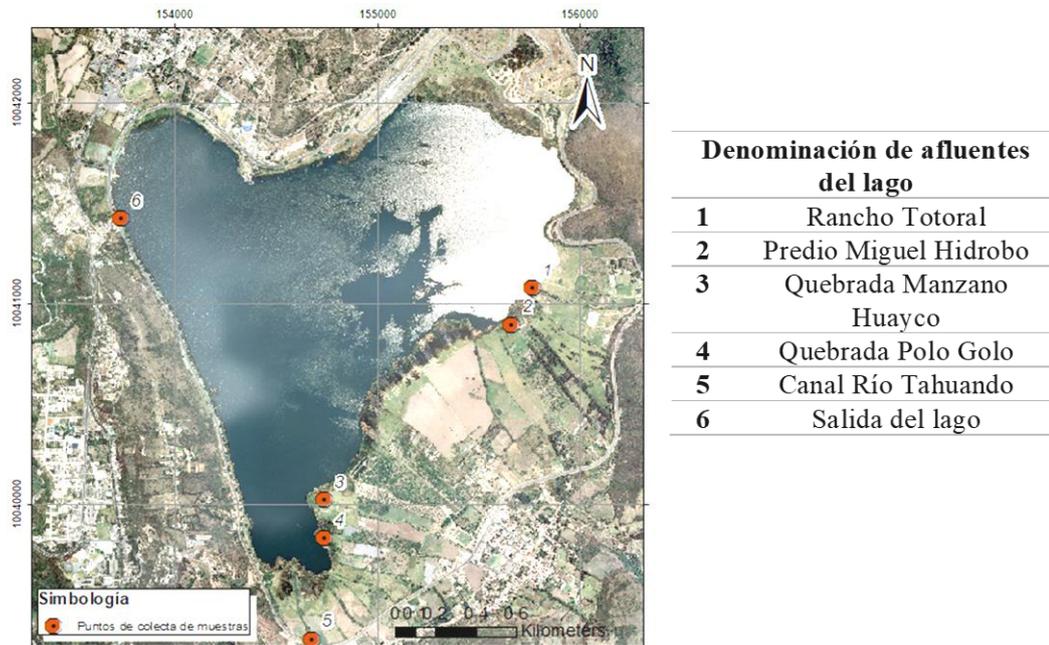


Figura 7. Sitios de colecta de muestras.

El volumen de la muestra se considera en función del procedimiento de digestión necesario para el análisis que en este caso fue por espectroscopía de absorción atómica por llama de acetileno. La toma de muestras se realizó en época seca de acuerdo con el diagrama ombrotérmico (Figura 8), presentado por el GAD San Miguel de Ibarra (2012). Las muestras fueron enviadas para su análisis al Laboratorio LASA de la ciudad de Quito, que presenta acreditaciones de la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2005 según Resolución OAE LE 1C 06-002.

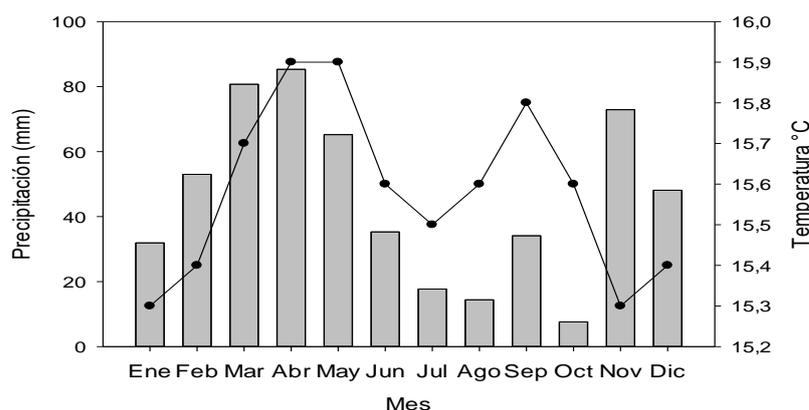


Figura 8. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica Ibarra.

Es así como en función de la cantidad a utilizar para el procedimiento de digestión se consideró lo presentado en la Tabla 3-1 de la USEPA (1996) (Tiempos de retención de muestra, volúmenes de digestión y colecta recomendados para determinación inorgánica, en muestras acuosas y sólidas). En total se tomó en cada desembocadura tres repeticiones para hacer una muestra compuesta como lo mencionan la APHA., AWWA. y WEF (1999), cada una de 200 g, donde se colocó las colectas en un balde y se mezcló para completar un volumen de colecta de 600 g al ser considerada una muestra acuosa y disuelta.

Para la toma de la muestra se utilizó un tubo PVC de 4" y 60 cm de largo de acuerdo con lo establecido por Iglesias y Rodríguez (2007), a una profundidad de 40 cm en cada punto, para tener una colecta en forma de testigo como resultado y poder colocar en el balde y mezclar. De acuerdo con el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2014), en la tabla N°4 (Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes), en función del parámetro a evaluar que en este caso es metales pesados, la muestra de los 600 g que se obtuvo de la mezcla de lo colectado en cada afluente se almaceno en una bolsa de polietileno densa y se conservó en un refrigerador a 4 °C.

Se obtuvo información de la medición de caudales de enero 2018 hasta noviembre 2018 que fue realizada por el GAD San Miguel de Ibarra, utilizando la metodología

del molinete, el cual mide la velocidad del agua a una determinada profundidad para luego multiplicar este valor por el área del afluente (Tabla 4).

Tabla 4. Promedio mensual de caudales en los afluentes del lago Yahuarcocha del año 2018.

Ubicación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Predio Miguel Hidrobo	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9
Rancho Totoral	9,6	0,6	1,8	4,5	5,8	5,3	2,3	4,2	1,1	1,7	6,7
Quebrada Manzano Huayco	170,3	105,9	115,4	218,6	589,4	73,3	0	0,9	0	0	88,9
Quebrada Polo Golo	6	7,8	7,9	13,5	14	39,3	11,2	10,6	19,9	19,8	11,9
Canal Río Tahuando	81,4	4,6	42,8	125,5	67,5	103,6	35,7	11,6	8,1	234,8	166,9
Predio Mensual	268	119,6	168,6	362,8	677,4	222,2	49,9	28,1	30	257,2	275,3

Fuente: Datos proporcionados por el GAD San Miguel de Ibarra

La información de la temperatura de los caudales fue facilitada por el GAD San Miguel de Ibarra, la cual fue tomada en los mismos puntos de medición de caudales (Tabla 5).

Tabla 5. Promedio mensual de temperaturas de los afluentes del lago Yahuarcocha del año 2018.

Ubicación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Predio Miguel Hidrobo	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,1	19,0	19,0	19,0
Rancho Totoral	24,7	24,2	21,1	21,0	17,3	20,0	23,4	21,7	23,8	22,6	22,3
Quebrada Manzano Huayco	17,7	19,0	21,8	18,1	16,5	16,0		18,3			23,0
Quebrada Polo Golo	20,9	21,8	23,0	20,5	17,9	22,0	21,0	21,9	22,5	21,2	21,1
Canal Río Tahuando	18,5	23,3	21,8	15,0	16,8	18,0	21,2	22,0	24,2	20,6	19,3
Predio Mensual	20,3	21,6	21,4	18,8	17,6	19,1	21,3	20,6	22,4	20,9	20,9

Fuente: Datos proporcionados por el GAD San Miguel de Ibarra.

3.2.2 Fase II: Analizar el desarrollo de la raíz de *T. latifolia* en un ambiente controlado con diferentes concentraciones de Pb y Cr

3.2.2.1 Germinación de *T. latifolia*

Se recolectaron semillas maduras de las poblaciones de *T. latifolia* del lago Yahuarcocha por medio de observación directa y fueron conservadas en un refrigerador a 4° C para prolongar su estado de letargo. Con el uso de una licuadora comercial se procedió a la separación del aquenio del papus o villano con agua corriente como lo indica Ekstam y Forseby (1999), dejando precipitar unos minutos para luego con una pipeta coleccionar los aquenios. Se realizó una prueba previa para verificar la viabilidad de las semillas colocándolas en cajas Petri con agua, para posterior colocar en 3 cajas Petri 60 semillas, para evaluar el porcentaje de germinación. Los individuos de *T. latifolia* fueron cultivados en solución estable Hoagland Nutritiva de macro y macronutrientes que se preparó de acuerdo con Hoagland y Arnon (1950), elaborando soluciones de reserva como se indica a continuación:

1. Solución 1 M de KH_2PO_4

Pesar 34,0225 g de KH_2PO_4 , disolver y llevar a volumen de 250 ml con agua destilada.

2. Solución 1 M de KNO_3

Pesar 25,2750 g de KNO_3 , disolver y llevar a volumen de 250 ml con agua destilada.

3. Solución 1 M de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Pesar 45,5275 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, disolver y llevar a volumen de 250 ml con agua destilada.

4. Solución 1 M de MgSO_4

Pesar 61,62 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, disolver y llevar a volumen de 250 ml con agua destilada.

5. Solución de microelementos

Disolver en 1000 ml los pesos de las siguientes sales: (Tabla 6).

Tabla 6. Sales para preparación de solución de microelementos.

Sal	gr
H ₃ BO ₃	2,86
MnCl ₂ · 4 H ₂ O	1,81
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	0,22
CuSO ₄ · 5 H ₂ O	0,08
H ₂ MoO ₄ · H ₂ O	0,02

Fuente: Hoagland y Arnon (1950).

6. Solución de EDTA – Fe

Disolver 5,57 g de FeSO₄ · 7 H₂O en alrededor de 200 ml de agua destilada. Disolver 7,45 de Na₂ EDTA en alrededor de 200 ml de agua destilada caliente. Mezcl agitando continuamente ambas soluciones. Enfriar y llevar a volumen de 1 litro con agua destilada.

7. Solución Hoagland

Preparar la solución Hoagland añadiendo a 500 ml de agua destilada en volumétrico de 1 litro las siguientes cantidades de las soluciones antes preparadas. Después de añadir cada una agite circularmente (Tabla 7).

Tabla 7. Cantidad de soluciones para preparar medio de cultivo Hoagland.

Solución de	Volumen (ml)	Cantidades
1) KH ₂ PO ₄ 1 M	1	18 ml (72 ml)
2) KNO ₃ 1 M	5	90 ml (360 ml)
3) Ca (NO ₃) ₂ 1M	5	90 ml (360 ml)
4) MgSO ₄ 1M	2	36 ml (144 ml)
5) Microelementos	1	18 ml (72 ml)
6) EDTA-Fe	2	36 ml (144 ml)

Fuente: Hoagland y Arnon (1950).

Llevar a volumen de 1 litro con agua destilada y agite.

3.2.2.2 Análisis de la afectación a la exposición de Pb y Cr a la raíz de *T. latifolia*

El experimento se desarrolló en rizotrones, con un espacio de crecimiento para las raíces de 0,4 cm de acuerdo con Lobet y Draye (2013), por un periodo de 20 días

(Dong, J., Wu, F., Huang, R. y Zang, G., 2007; Chen et al., 2014) (Figura 9), fueron expuestos a diferentes concentraciones de estudio, con base a los resultados obtenidos en el primer objetivo. El experimento fue un diseño mixto, debido a que va a presentar más de una unidad experimental (García y Cáceres, 2014) y con respecto a las clases de diseño propuesto por Campbell y Stanley (1966) fue un diseño de grupo de control con postest.

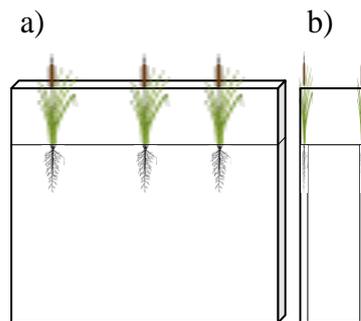


Figura 9. *T. latifolia* cultivada en solución Hoagland en Rizotrófon: a) vista frontal, b) vista lateral.

Las soluciones buffer se prepararon mezclando cantidades calculadas de dicromato de potasio y nitrato de plomo con agua del grifo de acuerdo con Ginthuku, Ndambuki, Salim y Badejo (2018). Para el análisis de la exposición de la raíz a metales se toma una imagen de la arquitectura de la raíz, antes durante y después de ser sometidas a experimento, las fotografías fueron analizadas con el software ImageJ con el complemento SmartRoot, con el que se obtienen datos del área de la raíz (Adu et al., 2014).

3.2.2.3 Análisis del diseño experimental

Para el diseño experimental de los datos se verifico que sean paramétricos, realizando una prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad y una prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de las medias de las mediciones, para posterior realizar un análisis de varianza o ANOVA, aplicando una prueba Tukey al 0,05% (De Souza, Locastro, De Lima, y Iwakura, 2015), con el objetivo de determinar si existe una reacción en la fisiología externa de la raíz con respecto a los diferentes tratamientos, realizando las pruebas mencionadas con el software estadístico SPSS.

Las unidades muestrales fueron 21 individuos de *T. latifolia*, divididos en 3 tratamientos o unidades experimentales (Control, Pb y Cr) con 3 individuos cultivados en rizotrones sometidos a 3 diferentes concentraciones de Pb y Cr (Figura 10).

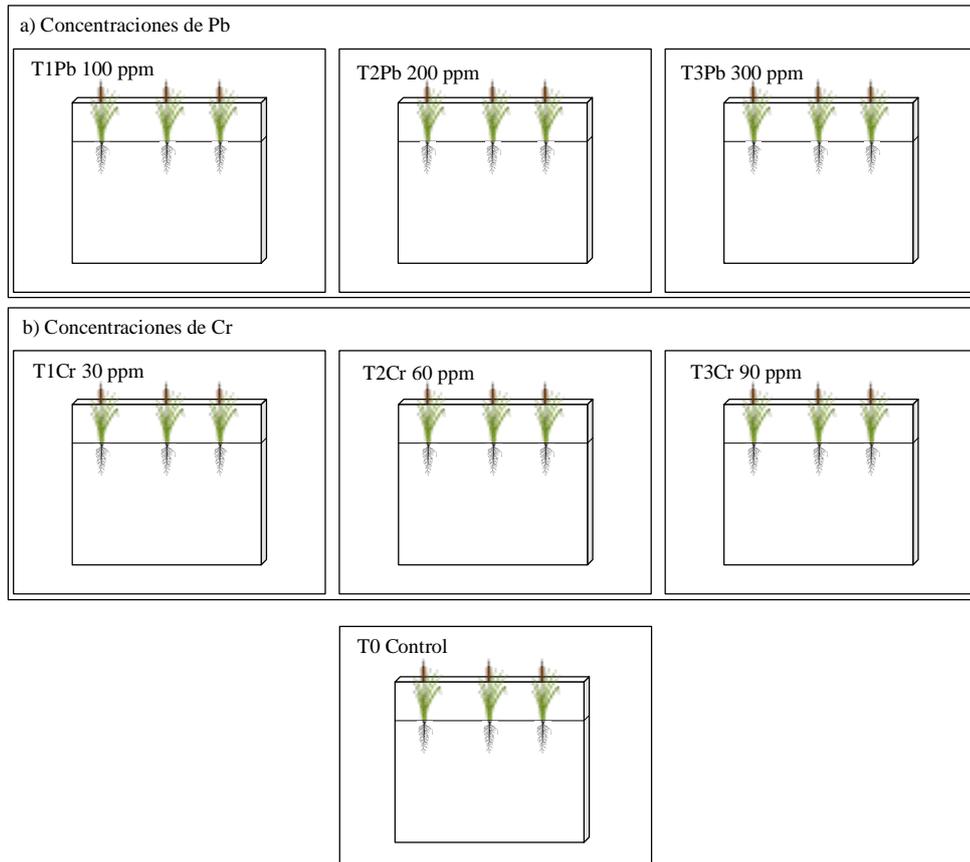


Figura 10. Diseño del experimento con unidades experimentales.

2.2.3 Fase III: Determinación del modelo de humedales artificiales con *T. latifolia* para depuración de Pb y Cr en el lago Yahuarcocha.

La determinación del modelo de humedal artificial fue con base a la información presentada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 1993), y el Natural Wastewater Treatment Systems (Crites, Middlebrooks, Reed y Group, 2006), ya que el diseño de humedales artificiales presentados por este libro son los más considerados dentro de este tipo de estudios, como lo menciona Lara (1999). Crites et al. (2006), mencionan que los dos tipos de humedales

generalmente contruidos son: (i) el humedal de superficie libre de agua (FWS) que es similar a un pantano natural porque la superficie del agua está expuesta a la atmósfera, y (ii) el humedal de flujo subsuperficial (SSF), que utiliza un medio permeable y el nivel de agua se mantiene debajo de la parte superior de la cama.

Para el presente proyecto se diseñó un humedal artificial de flujo subsuperficial, debido a que se necesita que el afluente este en contacto con las raíces de *T. latifolia*, con la información obtenida en las fases uno y dos. Este tipo de humedales artificiales según Crites et al. (2006), consisten en cuencas someras o canales con barrera de filtración y estructuras de entrada y salida. El flujo de agua es horizontal en el humedal y está diseñado para mantenerse por debajo de la superficie superior del medio, los humedales de flujo subsuperficial están diseñados en función del tiempo de retención hidráulica y el flujo de diseño promedio; los tiempos de detención más cortos suelen ser necesarios para eliminar la DBO, el nitrógeno y el TSS de las aguas residuales municipales, mientras que la remoción de amoníaco y metales usualmente requiere tiempos de detención más largos (Tabla 8).

Tabla 8. Características de un Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal

HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL			
Factor	Unidad	Intervalo	Valor Usual
<i>Medio Filtrante</i>			
Grava ingreso y salida	<i>mm</i>	40-100	50
Grava media	<i>mm</i>	5-10	8
Profundidad del medio	<i>m</i>	0,7-1,5	0,7
Pendiente	<i>%</i>	0,5-1	1
Relación largo-ancho		2:1-7:1	3:1
<i>Drenaje</i>			
Tubería perforada	<i>Pulg</i>	3-4	4
<i>Distribución de agua</i>			
Tubería perforada	<i>Pulg</i>	3-4	3
<i>Hidráulica</i>			
Profundidad del agua	<i>m</i>	0,1-0,8	0,6
Carga orgánica	<i>DBO/m2/día</i>	3-7,5	<11
Carga hidráulica	<i>m3/m2/día</i>	0,1-0,2	

Modificado de Villarreal (2015).

Según Villarreal (2015), los principales componentes de los humedales de flujo subsuperficial son los siguientes:

- Cubeta
- Substrato o Lecho filtrante
- Vegetación
- Membrana impermeabilizante
- Estructuras de entrada y salida

El cálculo de la superficie del humedal se realizó en base a la fórmula 5 propuesta por Crites et al. (2006).

Fórmula 5. Área superficial del humedal

$$A_s = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_t n y}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal (m^2).

Q = Flujo de diseño promedio ($m^3 d^{-1}$).

C_0 = Concentración constituyente del influente ($mg L^{-1}$).

C_e = Concentración constituyente del efluente ($mg L^{-1}$).

K_t = Constante de velocidad = 1.1/d a 20 ° C.

y = Profundidad de diseño (m).

n = Porosidad de los medios

Para obtener la constante de velocidad de reacción se utiliza la fórmula 6.

Fórmula 6. Constante de velocidad de reacción

$$K_t = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

Donde:

K_t : Velocidad constante a temperatura T, (d^{-1})

K_{20} : Valor constante a 20°C, (d^{-1}) = 1,104

θ = 1,06

Se debe seguir una relación entre el largo y ancho (L:W) del humedal de entre 1:0,5 hasta 5:1, de acuerdo como dicta la USEPA (1993), por lo que se determinó el ancho de la celda con la siguiente ecuación (3.4) (fórmula 8) y para determinar el largo se despeja de la siguiente ecuación:

Fórmula 7. Área superficial simplificada

$$A_S = L \times W$$

Fórmula 8. Ancho del humedal

$$W = \left(\frac{1}{y}\right) \left[\frac{Q_a A_S}{k_S m}\right]^{0,5}$$

De donde:

W: Ancho del humedal (*m*)

Y: Profundidad del agua en el humedal (*m*)

Q_A : Caudal medio del humedal (m^3/d)

A_S : Área de la superficie del humedal (m^2/\wedge)

m: Parte del gradiente hidráulico disponible que se utiliza para proporcionar la altura necesaria, según Crites et al. (2006), se utilizan valores de entre 5-20%.

k_S : Conductividad hidráulica (m^2/d)

La profundidad de penetración las raíces en el medio de cultivo de *T. latifolia* y el tiempo de retención va a ser establecido en la fase dos del proyecto, así también de estudios previos e información existente acerca de diseño de humedales con el uso de esta especie.

3.3 Materiales y Equipos.

Los materiales para la investigación han sido categorizados en tres clases: de campo, laboratorio y oficina (Tabla 9).

Tabla 9. Materiales de campo, laboratorio y oficina.

	Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Materiales de oficina
MATERIALES	GPS Garmin inReach SE+	Rizotrón	Software SPSS
	Cámara Digital compacta Sony	Solución Hoagland Nutritiva (Macro y Micronutrientes)	Software ImageJ
	Multiparámetro YSI	Solución buffer de Pb y de Cr	Software SmartRoot
	Frascos de vidrio ámbar	Nitrato de plomo	Paquete ArcGis 10.5
	Fundas plásticas ziploc	Dicromato de potasio	Software SigmaPlot
	Herramientas manuales (pala de mano y barra)	Matraz Erlenmeyer de 100 ml	Computadoras marca DELL
	Cartografía del área de estudio obtenida de SNI a una resolución 1:50 000 e imagen satelital Sentinel 2B 10x10m	Agua destilada	

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de los factores socioambientales relacionados a los afluentes del lago Yahuarcocha.

4.1.1. Factores sociales

Para la identificación de los factores sociales, se obtuvo la población del Barrio San Miguel de Yahuarcocha, que fue de un total de 2197 habitantes, obteniendo así una muestra significativa de 327 habitantes a quienes se aplicó la entrevista, previamente validada, durante los meses de diciembre del 2018 a enero del 2019, donde se obtuvo que la mayoría de la población del lugar de estudio es de sexo femenino con un 55,2 % es decir 181 entrevistadas (Figura 11).

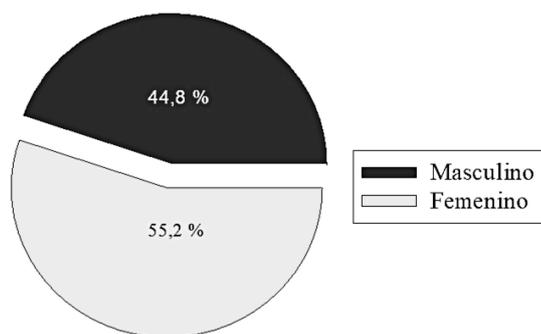


Figura 11. Género de los entrevistados

De los datos obtenidos con respecto a la cantidad de población existente en el Barrio San Miguel de Yahuarcocha el resultado es similar con lo presentado por Terneus (2014), quien menciona una población aproximada de 3000 habitantes y en el caso de la muestra el resultado también es igual a lo manifestado por Jácome (2015), para la microcuenca del lago Yahuarcocha con un valor de 260 pobladores. Los resultados aún se mantienen a pesar de existir una diferencia de 6 años entre los datos actuales y estudios de anteriores años, evidenciándose que los métodos utilizados para el cálculo de la muestra y población son adecuados, siendo válida la tasa muestral obtenida y que los resultados pueden ser considerados como verdaderos para toda la población del lugar de estudio. Para los siguientes años podría perdurar esta tendencia siendo importante que en posteriores estudios se considere como referencia esta información y además saber la razón del porqué la

población se mantiene en este Barrio de ser así el caso, lo cual podría deberse principalmente a la migración a la zona urbana de la parroquia por facilidad de movilidad y servicios u a otras provincias debido a estudios y trabajo.

El género femenino es el de mayor presencia dentro del lugar de estudio con un 55,2 % similar a lo presentado en los resultados de la investigación de Lugo y Torres (2015), realizado alrededor de las comunidades del lago Yahuarcocha mencionando que la presencia de mujeres sobrepasa el 50%, además de similares resultados con el estudio de Lugo, Caicedo, Torres, Andrade y Cruz (2014), quienes inicialmente proponen que el 70 % de las unidades productivas en los territorios aledaños al lago Yahuarcocha se encuentran a cargo de mujeres, indicando un enfoque claro de género en la estructura familiar de estas unidades, donde los hombres se encontrarían fuera de este territorio siendo una de las principales razones que se trasladan a la ciudad de Ibarra a laborar, evidenciándose una vulnerabilidad respecto al género que presentan las mujeres en la dinámica económica de la unidad familiar, pero siendo necesario enfocarse en ellas para charlas respecto al estado del lago, ya que serían un importante grupo para ayudar en la disminución de la contaminación existente en el lago Yahuarcocha.

Con respecto a la edad de las personas entrevistadas la mayoría se encuentra en edades entre 25 y 50 años (47,09 %) y en menor cantidad entre los 85 y 90 años (1,53 %). Mayoritariamente los entrevistados son mestizos con un 92,4% a diferencia de un único registro de montubios que representa el 0,3% de los entrevistados (Figura 12).

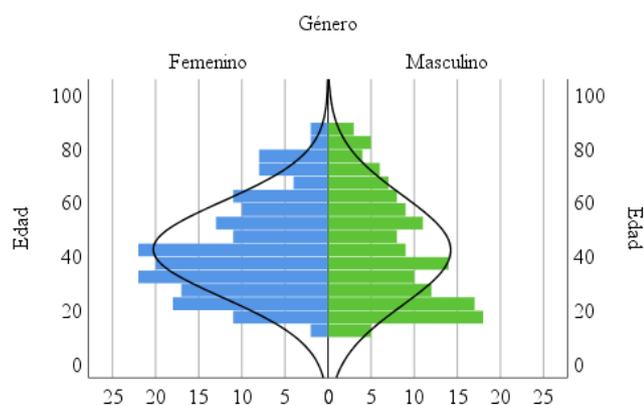


Figura 12. Pirámide de población de encuestados vs edad

En el caso de la edad de los entrevistados es idéntico con los rangos presentados en los resultados de Jácome (2015), que las edades entre 25 y 50 años presentan un 35,4 % calificándola como joven y madura que puede brindar información confiable, es así como los datos proporcionados por los entrevistados dentro de este estudio se encuentran más emparentados con la realidad. Siendo importante considerar para posteriores estudios que pudieran ser técnico-científicos a entrevistados que se encuentren dentro de este rango, sin embargo, si se necesita conocer datos de cómo ha ido cambiando un aspecto en el tiempo sería fundamental entrevistar a personas adulto-mayores que en este caso se encuentran en el rango de 85 a 90 años a pesar de ser el grupo de menor número de personas. Respecto a la etnia los mestizos en el estudio de Lugo et al. (2014), al igual que en este estudio son la más predominantes, existiendo de esta forma una reducción de la etnia indígena siendo desplazados así a otras zonas, debido a que en los últimos años se han generado un conflicto de tierras entre las comunidades.

En cuanto al nivel de educación, la mayoría de entrevistados mencionaron haber culminado la primaria y la secundaria, con 35,5% y 37,9% respectivamente, un 19,3% dijo haber cursado por educación superior y un 7,3% no posee ningún grado de instrucción (Figura 13).

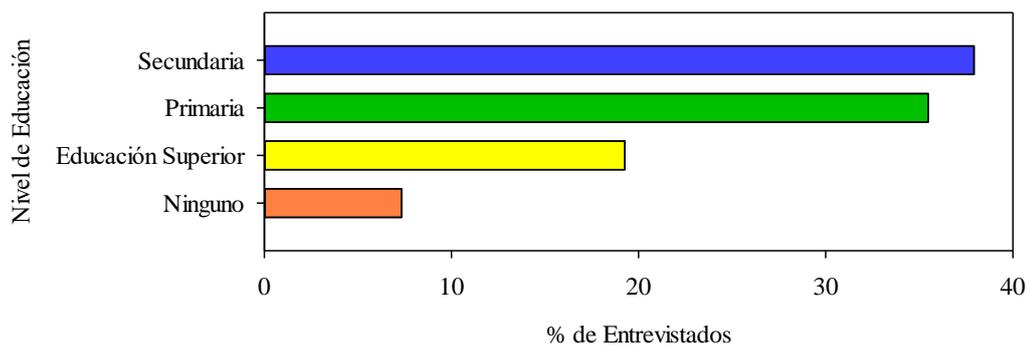


Figura 13. Nivel de educación de los entrevistados

De acuerdo al nivel de educación existe una presencia mayoritaria de personas que han culminado la secundaria y alrededor del 7% de habitantes que no han recibido ningún nivel de educación este último aspecto se relaciona con los resultados

presentados por Lugo y Torres (2015), en donde el 8% nunca ha ido a una escuela, además en el mismo estudio la mayoría de entrevistados con un 55 % tan solo habían culminado la primaria existiendo una notable diferencia al del presente estudio, lo cual podría deberse a los años que han transcurrido que es de un lustro o 5 años, siendo hoy en día la educación en especial la secundaria más accesible para todos los habitantes a nivel local y nacional. La educación es una variable importante por considerar debido a que las personas que tienen un mayor nivel de educación pueden presentar mejor conocimiento del estado en que se encuentra el lago Yahuarcocha y brindar resultados más confiables como fue con el caso de la edad.

Del total de los entrevistados se obtuvo que el 66,7% han habitado en el lugar por más de 20 años es decir prácticamente toda su vida, a diferencia de un pequeño porcentaje, que es el 5.8%, han residido por un corto periodo menor a un año (Figura 14).

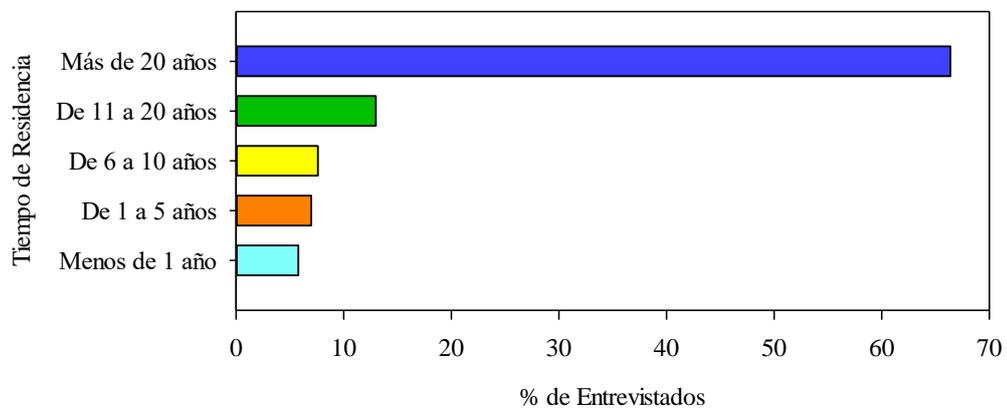


Figura 14. Tiempo de residencia de los entrevistados.

Al existir una mayor cantidad de entrevistados con edades que superan los 20 años como se presenta en el presente estudio y en el de Jácome (2015) los resultados de acuerdo con el tiempo que han habitado en el Barrio San Miguel de Yahuarcocha se relacionan, justificando aún más a la realidad de la población los resultados obtenidos y que los entrevistados son conscientes del cambio existente dentro del lago Yahuarcocha. No obstante, sería importante presentar datos más técnicos de la

situación actual del lago por medio de charlas y educación ambiental para que exista una correcta convivencia entre la población y este sistema lacustre importante en el norte del país por su historia cultura e ingresos económicos debido al turismo.

Las principales actividades de los entrevistados dieron como resultado que el 49,4% mencionó que reside en la zona, seguido a esto el 26,4% se dedica a la venta de alimentos en restaurantes debido a la alta afluencia de turistas, el 9,1% realiza actividades deportivas, quienes se dedican a las actividades turísticas y hospedaje en un 3,9% y 0,3% respectivamente (Figura 15).

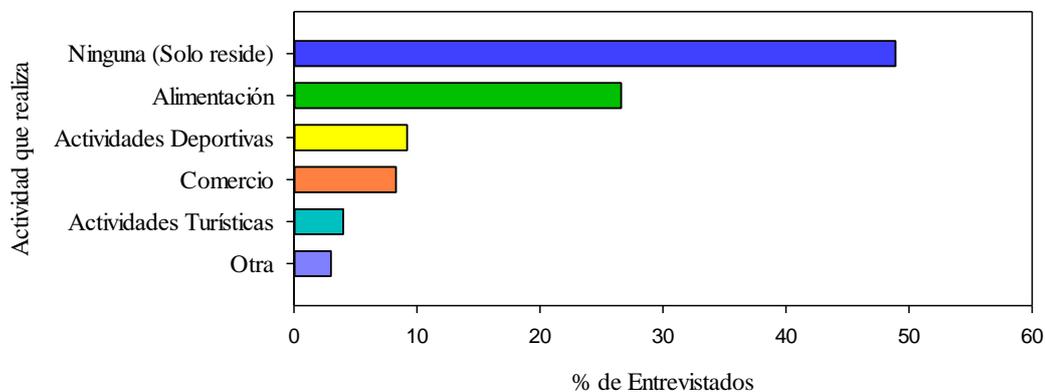


Figura 15. Actividad que realizan los entrevistados.

Las actividades realizadas por la población del barrio San Miguel de Yahuarcocha debido al turismo existente los habitantes han enfocado su desarrollo económico a satisfacer las necesidades de los turistas, como es mencionado por Van Colen et al. (2017), ya que cada semana llegan alrededor de 20 000 visitantes, resultados similares también son presentados por Lugo y Torres (2015), quienes manifiestan que la venta de pescado y el comercio informal son las actividades primordiales que se desarrollan, principalmente por mujeres y en menor proporción realizada en especial por la mano de obra masculina la agricultura y artesanía, las cuales no fueron registradas en el presente estudio lo cual se debería a la disminución de estas actividades debido a que se hoy en día se enfocan en labores con un sueldo fijo. Sin embargo, alrededor del 80 % de los locales de pescado y comercio presentan una infraestructura deficiente y poco higiénica ocasionando disminución en las ventas e impactos ambientales hacia el lago, siendo importante proveer de capacitaciones

del manejo en los desechos y residuos, que muchas veces son lanzados directamente hacia el cuerpo lacustre.

Se obtuvo información sobre el uso de recursos naturales del lago, en donde un 50,6% de los entrevistados utilizan uno o más recursos naturales, a diferencia del 49,4% que no utiliza, de los cuales el 18% de los entrevistados mencionó haber adquirido algún tipo de afección a la piel posterior al contacto con el lago (Figura 16).

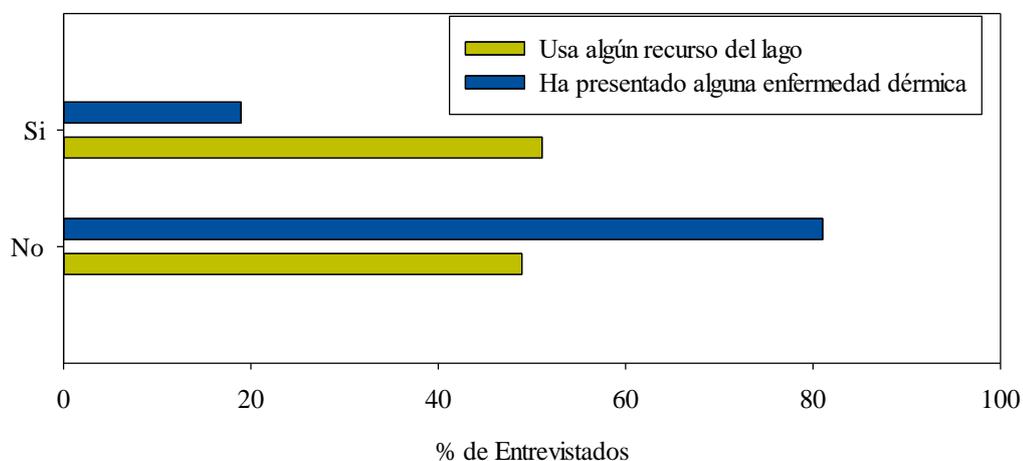


Figura 16. Uso de los recursos naturales del lago y afecciones dérmicas de los entrevistados.

Las actividades turísticas y el uso de recursos naturales dentro de este sistema lacustre han generado un problema como lo menciona Lugo et al. (2014) y Jácome, Valarezo y Yoo (2018), que la actividad humana realizada a las orillas y las áreas circundantes del lago generan contaminación del agua como resultado de los detergentes, fertilizantes, herbicidas, aguas residuales, desechos animales, materiales propios de la descomposición de macrófitas y algas y actividades recreativas, pudiendo ocasionar la exposición a patógenos dañinos y el enriquecimiento de materia orgánica y nutrientes, provocando algún tipo de enfermedad dérmica como se obtuvo en el presente estudio que gran cantidad de los habitantes que han hecho uso de los recursos naturales directos del lago y que han tenido contacto con el agua han presentado una reacción en su organismo, pudiendo ser el causante varias fuentes entre los cuales pueden encontrarse los

metales pesados como el Cr (VI) como lo manifiesta Beneit y Velasco (1993). De esta forma sería importante realizar estudios más consecutivos de las concentraciones de metales en el lago debido a que pueden ocasionar afecciones a los animales y a la especie humana debido a que animales como los peces puede bioacumular estos metales como se encontró en el estudio de Malitaxi (2016), con Tilapia (*Oreochromis mossambicus*), pudiendo provocar graves enfermedades a los organismos de los habitantes cercanos al lago Yahuarcocha.

De las personas entrevistadas, el 48,60% no utiliza ningún recurso del lago, contrario a esto un 21,70% utiliza los animales del lago, en especial para alimentación con peces, los cuales son comercializados en los hogares de San Miguel de Yahuarcocha y la ciudad de Ibarra, así también el consumo de los huevos de patos; las plantas se utilizan por un 12,20%, principalmente para la elaboración de esteras de totora y el agua se utiliza en un 8,30%, entre los principales uso se encuentran las actividades recreativas dentro del lago, para riego de áreas verdes, aunque también se obtuvo registros de quienes la utilizan para dar agua al ganado y regar cultivos. Existen personas que utilizan dos o más recursos del lago, en especial de plantas y animales con un 9,10%, de igual manera destinado para alimentación y artesanías (Figura 17).

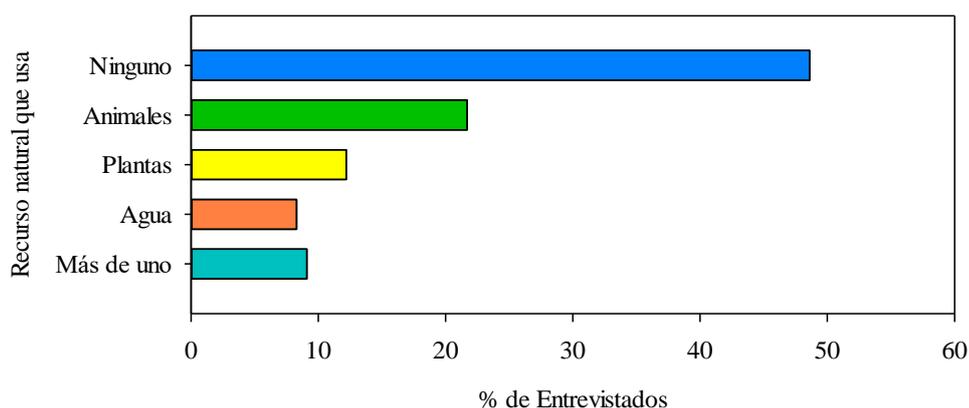


Figura 17. Uso de recursos del lago de los entrevistados.

Con respecto al uso de los recursos naturales los animales son los de mayor uso, lo cual es similar a los resultados del estudio de Lugo et al. (2014), quien obtuvo que

la pesca para consumo alcanza el 30% siendo también el más predominante de sus resultados lo cual se debe a que esta actividad ha crecido en relevancia debido al aumento del turismo por turistas nacionales e internacionales alrededor del lago y en menor uso las plantas como la totora para las artesanías con tan solo el 5 %, a pesar de que en el presente estudio fue el segundo de mayor uso, lo cual se debe como se mencionó con anterioridad que la artesanía por medio de la elaboración de fibras naturales principalmente de la totora (*Schoenoplectus californicus*) ya no es considerado como un medio de vida, además de que esta actividad ha pasado a desarrollarse en mayor medida en el lago de San Pablo ubicada cerca de la ciudad de Otavalo. Aunado a lo anterior, a pesar de que el agua es un elemento utilizado en menor cantidad dentro de este estudio, existen investigaciones donde el agua es un elemento importante en especial para el riego de cultivos como en el caso de la investigación de Wijninga, Rangel y Cleef (1989), realizada en el lago de la Herrera en la Cordillera Oriental de Colombia a una altitud aproximada de 2550 m s.n.m., el cual sería un lago alto andino similar al del presente estudio, en donde se evidencio que en esa región la necesidad de agua para riego es demasiado grande. Es así como los agricultores sacan el agua del lago, lo cual provoca una caída del nivel el agua, obligando a los agricultores a buscar otras opciones para satisfacer sus necesidades de agua. El uso de los recursos naturales como en el caso del agua o de las plantas habría disminuido debido al estado en que se encuentra el lago Yahuarcocha, pero sería importante concientizar a las personas que pescan debido a que existen evidencias que los peces no serían aptos para el consumo humano.

Debido a que la presencia de metales pesados es un factor importante en el desarrollo de enfermedades, se obtuvo información sobre afectaciones a la población de gravedad, siendo el Sub centro de Salud de Priorato el de mayor concurrencia, seguido del Centro de Salud N°1-Ibarra (Figura 18).

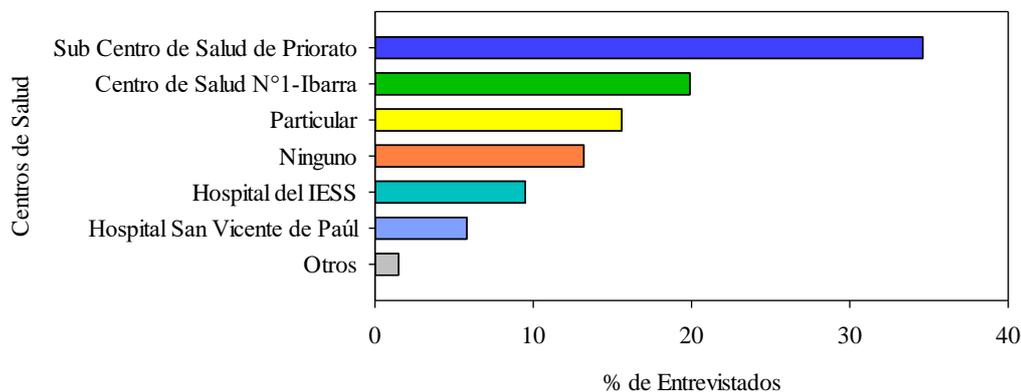


Figura 18. Centro de Salud con más concurrencia por los pobladores entrevistados.

Los habitantes de San Miguel de Yahuarcocha fundamentalmente asisten al Sub Centro de Salud de Priorato y el Centro de Salud N°1 de Ibarra, sin embargo de acuerdo a lo presentado por Jácome (2015), en su mayoría los habitantes de Yahuarcocha asisten con un 44,63 % a los Centros de Salud y con un 1,67 a un Subcentro por lo que no concordaría con los resultados obtenidos, a pesar de que los entrevistados manifestaron que se dirigen al Sub Centro de Priorato debido a la cercanía con el lugar de estudio, por lo que sería el más concurrido, lo cual va a depender también en la gravedad de la enfermedad, es así, que el tercer resultado mencionado reiteradamente fue el de un servicio particular, por lo que sería importante conocer cuáles son las afecciones que padecen en gran medida el Barrio de San Miguel de Yahuarcocha lo cual podría deberse a la contaminación existente en el sistema lacustre.

Finalmente se obtuvo información sobre la percepción de los habitantes del estado actual de la laguna, el cual se expresó en una escala de bueno, regular y malo, donde se obtuvo que el 69,7% dice que el lago se encuentra en mal estado, seguido de quienes afirman que el lago se encuentra en un estado regular y malo con 14,8% y 13,3%, respectivamente, mientras que un 2,1% desconoce del estado actual (Figura 19).

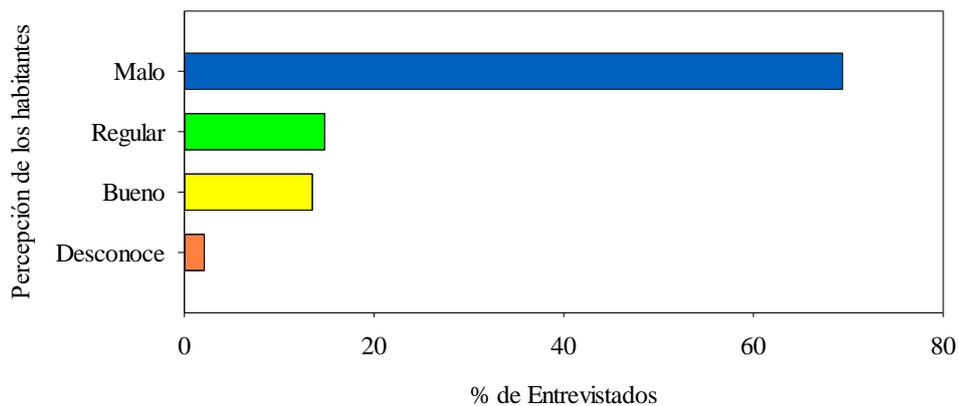


Figura 19. Percepción de los habitantes sobre el estado actual del lago Yahuarcocha.

En lo que, respecto al estado del Lago, los habitantes debido a su nivel de educación como se observó con anterioridad conocen del estado del lago manifestando que es malo, no obstante, en el estudio de Lugo et al. (2014), menciona que la población presenta una respuesta baja al conocimiento de cuál es el estado actual del lago, por lo que sería importante dar a conocer a las comunidades cercanas de cuál es el estado actual de este ecosistema acuático de importancia turística, ecológica y de esta manera que los habitantes tengan un mayor respeto, a pesar que en la actualidad tienen conocimiento de su estado pero falta impartir mayor conocimiento enfocado a cuál es la razón de por qué se encuentra así el lago de Yahuarcocha y que pueden hacer los habitantes por mejorar en algo su estado.

4.1.2. Caracterización ambiental de afluentes del lago Yahuarcocha

4.1.2.1. Caudales

La quebrada Manzano Huayco es el afluente que posee mayor volumen de caudal, en el mes de mayo del 2018 (época lluviosa) muestra un promedio mensual de $589,4 \text{ Ls}^{-1}$, mientras que en los meses de julio, septiembre y octubre (época seca), no existe volumen de caudal, por otro lado, la Quebrada El Girón (Propiedad Miguel Hidrobo), muestra un volumen de caudal promedio que oscila entre $0,7$ y $0,9 \text{ Ls}^{-1}$ (Figura 20).

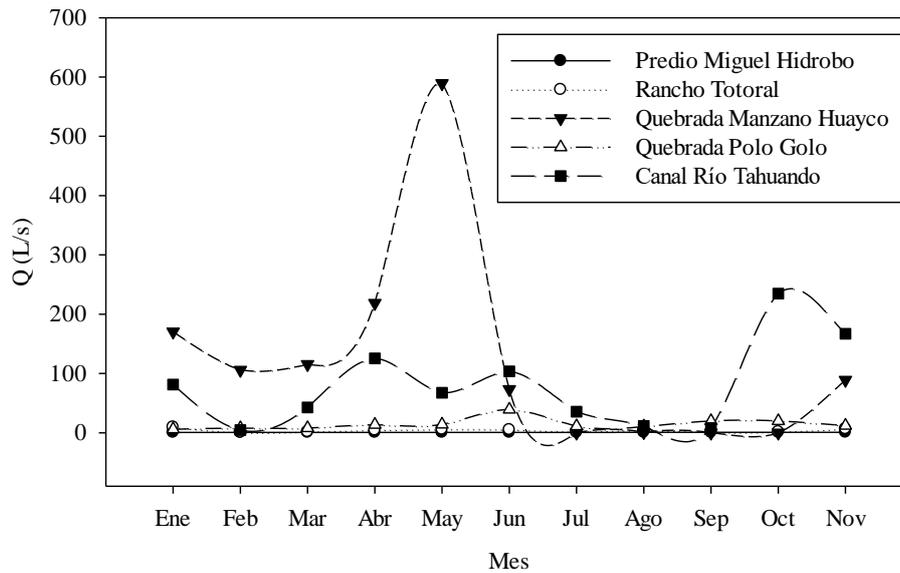


Figura 20. Volumen de caudales de los afluentes del lago Yahuarcocha.

El volumen de caudales de los afluentes del lago es directamente proporcional a la precipitación que la microcuenca de captación es así como los resultados mostrados presentan la misma tendencia que muestra Revelo (2016), los meses de abril y mayo son los de mayor ingreso del caudal al lago, a diferencia de los meses de julio y agosto donde el volumen baja, esto es debido al régimen de lluvias típico de la región. Los niveles mínimos de caudal llegan a ser menores en el mes de julio, provocando precipitación y menor movilidad de metales pesados, a diferencia de cuando el volumen del caudal crece, aumentando la movilidad de los metales pesados dentro de los afluentes que se presentan como los principales ingresos hacia el lago.

4.1.2.2. Temperatura

En los meses faltantes de información, específicamente en la Quebrada Manzano Huayco en los meses de julio, septiembre y octubre se obvió la temperatura por la ausencia de caudal. El afluente de la quebrada San Antonio (Rancho Totoral), muestra la mayor temperatura en el mes de enero con 24,7 °C, mientras que el canal del río Tahuando muestra la temperatura más baja en el mes de abril con 15,5 °C (Figura 21).

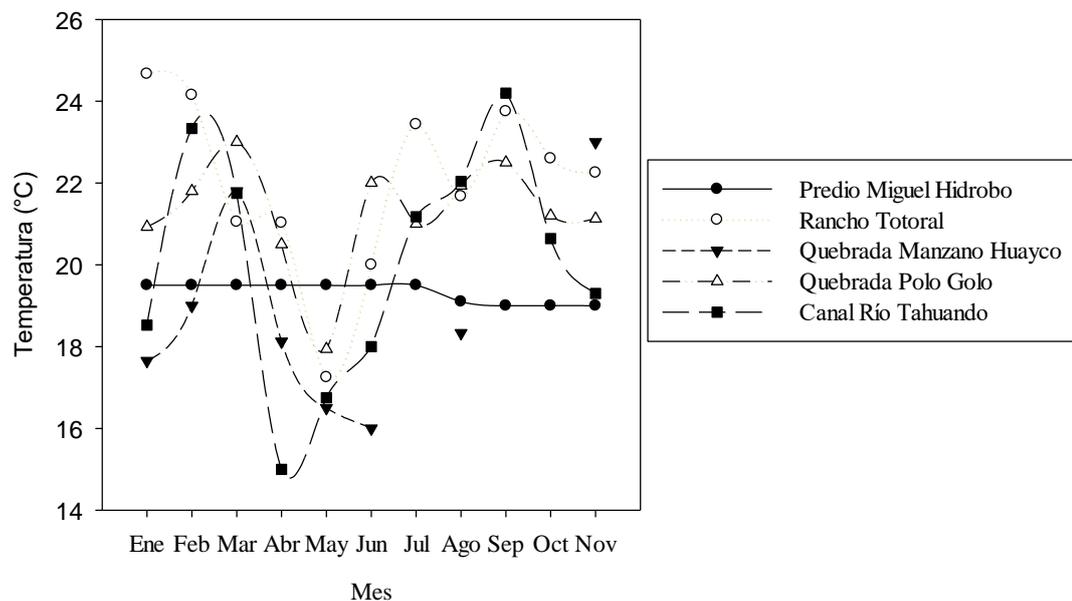


Figura 21. Temperatura de los afluentes del lago Yahuarcocha.

Las mediciones de temperatura muestran un promedio de 19.72 °C de los 5 afluentes que recargan el lago, acercándose a los resultados mostrados por Van Colen et al. (2017), donde la temperatura superficial del lago oscila entre 20 y 25 °C. La temperatura va a influir directamente en el desarrollo de las especies vegetales en el humedal y en la dinámica de los fluidos, variando el tiempo de retención hidráulico. En el diseño del humedal artificial se debe considerar la variación de temperatura de los afluentes.

4.1.2.3. Cobertura vegetal de la red de drenaje

Según la cobertura vegetal obtenida mediante clasificación no supervisada, la mayoría de la cuenca se encuentra cubierta por zonas de cultivos, es así como una gran parte de la red de drenajes de los afluentes atraviesan este tipo de cobertura vegetal, la red de drenaje de la quebrada Manzano Huayco atraviesa por 11 027,24 m a suelos agropecuarios a diferencia de zona de bosques intervenidos que solo es atravesada por 522,94 m por el mismo afluente. (Tabla 10).

Tabla 10. Longitud de los afluentes de la microcuenca del lago Yahuarcocha y uso de suelo (US).

AFLUENTE	USO DE SUELO	LONGITUD (m)
Canal del río Tahuando	Área antrópica	61,47
	Área de uso agropecuario	2,62
	Área erosionada	158,90
	Vegetación arbustiva	474,73
Quebrada del Girón	Área antrópica	59,52
	Área erosionada	14,20
	Vegetación arbustiva	920,44
Quebrada Manzano Huayco	Área antrópica	171,10
	Área de uso agropecuario	11027,24
	Área erosionada	107,17
	Bosque intervenido	522,94
	Páramo	1974,22
	Vegetación arbustiva	7256,97
Quebrada Polo Golo	Área antrópica	446,96
	Área de uso agropecuario	572,12
	Área erosionada	252,13
	Bosque intervenido	176,04
	Vegetación arbustiva	2873,21
Quebrada San Antonio	Área antrópica	120,31
	Área de uso agropecuario	233,81
	Área erosionada	126,00
	Vegetación arbustiva	1872,08

Se obtuvo las diferentes coberturas vegetales de la microcuenca del lago Yahuarcocha, predominando las zonas agropecuarias, concordando con la clasificación realizada por Jácome (2015), mostrando extensiones de suelo agrícola y ganadero, en especial en la zona media-alta de la microcuenca, además mostrando una baja cobertura de bosque intervenido (0.84 ha). La red de drenaje quebrada Manzano Huayco atraviesa la mayoría de la microcuenca, traspasando estas zonas lo que puede ser un causante del aporte de metales pesados al lago por el uso de agroquímicos y otras actividades antrópicas.

4.1.2.4. Concentraciones de Pb y Cr en los afluentes del lago Yahuarcocha

Los resultados del muestreo realizado en sedimentos de los cinco afluentes del lago Yahuarcocha mostraron que la quebrada Manzano Huayco es la que aporta mayor concentración de Cr (VI) con un total de $3,52 \text{ mgkg}^{-1}$ a diferencia del afluente del

río Tahuando que aporta con $0,92 \text{ mgkg}^{-1}$. Por otro lado, el aporte de Pb se presenta con altas concentraciones en las quebradas de la Hacienda Totoral y del Predio Hidrobo con $4,89 \text{ mgkg}^{-1}$ respectivamente, a diferencia del afluente del Río Tahuando que es de $1,72 \text{ mgkg}^{-1}$ (Tabla 11 y Anexo 5).

Tabla 11. Concentraciones de Pb y Cr (VI) de los afluentes del lago Yahuarcocha.

Afluente	Concentraciones de metales en los sedimentos de los afluentes del lago Yahuarcocha		Canadian Sediment Quality Guidelines ¹ .	
	Cr (mgkg^{-1})	Pb (mgkg^{-1})	Cr (mgkg^{-1})	Pb (mgkg^{-1})
Hacienda Totoral	2,19	4,89		
Predio Hidrobo	3,2	4,89		
Manzano Huayco	3,52	3,5	37,3	35
Polo Golo	3,32	3,76		
Canal Tahuando	0,98	1,72		
Salida del Lago	1,77	2,16		

Fuente: ¹Table 1. Interim freshwater sedimen quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Enviroment (1999).

Si bien los resultados obtenidos del análisis de sedimentos de lo afluentes no sobrepasan los límites permisibles de la Canadian Sediment Quality Guidelines (Canadian Council of Ministers of the Enviroment, 1999), las concentraciones de metales pesados en las especies animales como muestra Malitaxi (2016), quien encontró concentraciones de hasta $5,67 \text{ mgkg}^{-1}$ en tejidos de tilapia la cual es consumida por pobladores de la zona como se evidenció con la información obtenida en la aplicación de encuestas dentro de esta investigación, pudiendo afectar a la salud a largo plazo. Esto quiere decir que existe una bioacumulación y biomagnificación de metales dentro de la cadena trófica del lago, siendo un peligro potencial a largo plazo para la salud de la población que utiliza estos recursos.

4.2. Análisis del desarrollo de la raíz de *T. latifolia* en un ambiente controlado con diferentes concentraciones de Pb y Cr

4.2.1. Germinación de semillas de *T. latifolia*

Se recolectaron semillas de las inflorescencias maduras de *T. latifolia* de poblaciones existentes en las orillas del lago Yahuarcocha el día 08 de febrero del 2019 (Figura 22).

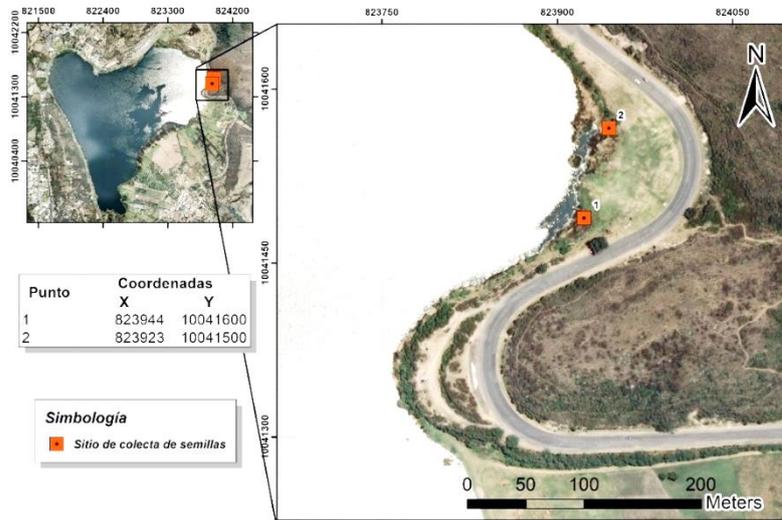


Figura 22. Sitios de colecta de semillas de *T. latifolia*.

Los aquenios que se colectaron luego de la separación del papus o villano se sometieron a una prueba previa para verificar su viabilidad, cultivando un número conocido de semillas en cajas Petri, llegando a germinar la mayoría de estas (Figura 23).

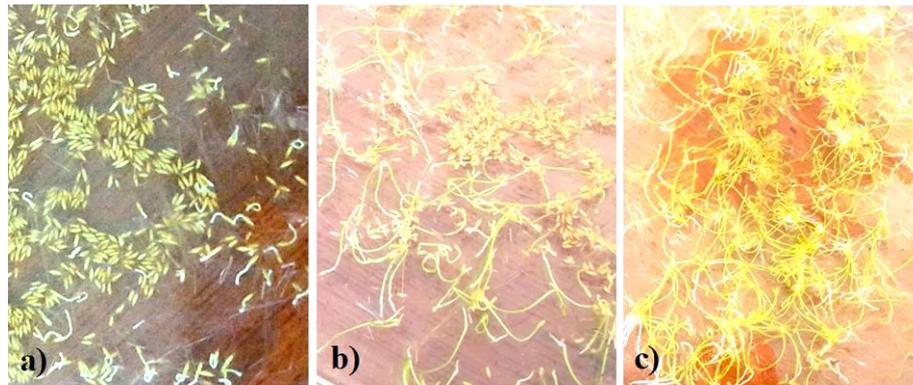


Figura 23. Germinación de semillas de *T. latifolia*: a) día 3, b) día 5 y c) día 10.

Se evidenció un alto índice de germinación en las 3 cajas Petri, un total de 54, 57 y 58 de 60 semillas cultivadas de *T. latifolia* brotaron en cada una de las pruebas respectivamente, es decir un promedio del 93,88% (Figura 24).

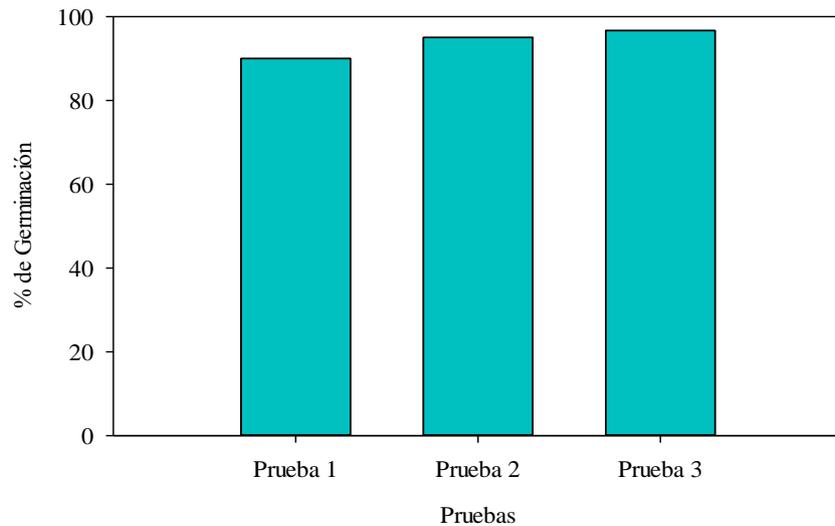


Figura 24. Porcentaje de germinación de semillas de *T. latifolia*.

Las semillas recolectadas del lago Yahuarcocha presentan alto índice de viabilidad, concordando con Ekstam y Forseby (1999), quienes muestran una tasa mayor al 95% de germinación de semillas de *T. latifolia* en condiciones favorables de luz y temperatura en cortos periodos de tiempo. Esto indica la facilidad con la que se puede obtener nuevas plantas para ser colocadas dentro del humedal artificial, evitando la traslocación de plantas y afectaciones al paisaje, aunque el manejo de plántulas debe ser mínimo para evitar el estrés de la planta y que puedan llegar a morir.

4.2.2. Afectación de concentraciones de Pb y Cr a la raíz de *T. latifolia*.

Las plántulas sometidas a experimentación estuvieron en un proceso de germinación durante 50 días, posterior a eso se colocaron en los rizotrones por 21 días en los tratamientos de Pb y Control, en el caso de Cr por causas externas al normal desarrollo del experimento solo se tomó datos de 13 días.

Para determinar si los datos son paramétricos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para conocer si los datos de los tratamientos con plomo y control tienen una distribución normal, donde se obtuvo un P-valor $>0,05$, por lo que corroboramos la normalidad de los tratamientos de plomo (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba Shapiro-Wilk para datos de tratamientos con plomo.

Tratamientos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p-value
T0 Control	0,807	6	0,068 <i>ns</i>
T1 Pb100	0,901	6	0,381 <i>ns</i>
T2 Pb200	0,957	6	0,795 <i>ns</i>
T3 Pb300	0,876	6	0,252 <i>ns</i>

Así también la prueba de Shapiro-Wilk aplicada a los datos de las concentraciones de Cr muestran una normalidad del 75% de los tratamientos (3 de 4 son significativos) (Tabla 13).

Tabla 13. Prueba Shapiro-Wilk para datos de tratamientos con cromo.

Tratamientos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p-value
T0 Control	0,949	6	0,731 <i>ns</i>
T1 Cr30	0,964	6	0,849 <i>ns</i>
T2 Cr60	0,729	6	0,012 *
T3 Cr90	0,935	6	0,327 <i>ns</i>

Se muestra el resumen estadístico descriptivo de los valores del área de la raíz de *T. latifolia* sometidas a diferentes concentraciones de Pb (Tabla 14) y de Cr (Tabla 15).

Tabla 14. Resumen estadístico descriptivo de valores de tratamientos con plomo.

Tratamientos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
T1Pb100	6	0,1072	0,0406	0,0166	0,0646	0,1499	0,05	0,15
T2Pb200	6	0,1800	0,0826	0,0337	0,0933	0,2667	0,08	0,29
T3Pb300	6	0,2000	0,1084	0,0445	0,0862	0,3138	0,10	0,38
T0Control	6	0,1617	0,0499	0,0204	0,1093	0,2141	0,12	0,26
Total	24	0,1622	0,0786	0,0161	0,1290	0,1954	0,05	0,38

Se muestra el resumen estadístico descriptivo de los valores del área de la raíz de *T. latifolia* sometidas a diferentes concentraciones de Cr (Tabla 15).

Tabla 15. Resumen estadístico descriptivo de valores de tratamientos con cromo.

Tratamientos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
T1Cr30	6	0,1927	0,0241	0,0098	0,1674	0,2179	0,16	0,23
T2Cr60	6	0,1125	0,0140	0,0057	0,0978	0,1272	0,09	0,12
T3Cr90	6	0,0932	0,0150	0,0061	0,0774	0,1089	0,08	0,12
T0Control	6	0,1612	0,0393	0,0161	0,1199	0,2024	0,11	0,23
Total	24	0,1399	0,0465	0,0095	0,1202	0,1595	0,08	0,23

Se aplicó la prueba de análisis de la varianza a los datos del área de la raíz de *T. latifolia* a diferentes concentraciones de Pb, y se demostró que estadísticamente existe una similitud entre las medias debido a que el *p-valor* es de 0,204 < 0,05, por lo que se descarta la hipótesis alternativa y aceptamos la nula, es decir que las concentraciones de Pb no afectan al crecimiento de la raíz de la planta (Tabla 16)

Tabla 16. Prueba de análisis de varianza de los tratamientos con plomo.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,029	3	0,010	1,679	0,204 <i>ns</i>
Tratamiento	0,029	3	0,010	1,679	0,204 <i>ns</i>
Error	0,114	20	0,006		
Total	0,142	23			

Para los datos del área de raíz de *T. latifolia* en las diferentes concentraciones de Cr, la prueba de análisis de varianza demostró que existe una diferencia entre las medias, ya que *p-valor* es de 0,000 > 0,05, con ello se aceptó la hipótesis alternativa propuesta: las concentraciones de Cr si afectan al crecimiento de la raíz de la planta (Tabla 17).

Tabla 17. Prueba de análisis de varianza de los tratamientos con cromo.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,037	3	0,012	19,369	0,000**
Tratamiento	0,037	3	0,012	19,369	0,000**
Error	0,013	20	0,001		
Total	0,050	23			

La prueba Tukey aplicada a los tratamientos con plomo nos indica una similitud entre todos los tratamientos con concentraciones de plomo y el tratamiento control (Tabla 18).

Tabla 18. Prueba Tukey de tratamientos con concentraciones de plomo.

Tratamiento	Medias	n	
T1 Pb100	0,107	6	A
T0 Control	0,162	6	A
T2 Pb200	0,180	6	A
T3 Pb300	0,200	6	A

Por otro lado, la prueba Tukey aplicada a los datos con concentraciones de cromo indica que los tratamientos Control (T0) y T1 Cr30, muestran una similitud entre sus medias, a su vez que son diferentes de los tratamientos T2 Cr60 y T3 Cr90 (Tabla 19).

Tabla 19. Prueba Tukey de tratamientos con concentraciones de cromo.

Tratamiento	Medias	n	
T3 Cr90	0,093	6	A
T2 Cr60	0,112	6	A
T0 Control	0,161	6	B
T1 Cr30	0,168	6	B

Las medias de los datos obtenidos muestran que las raíces del T3 Pb 300 tienen mayor área, con un valor medio de $0,2 \text{ cm}^2$, seguido a esto los tratamientos T0 control y T2 Pb 200 muestran un área promedio de $0,162 \text{ cm}^2$ y $0,18 \text{ cm}^2$

respectivamente, finalmente el tratamiento T1 Pb100 demostró el menor crecimiento del área de raíz con $0,11 \text{ cm}^2$ (Figura 25).

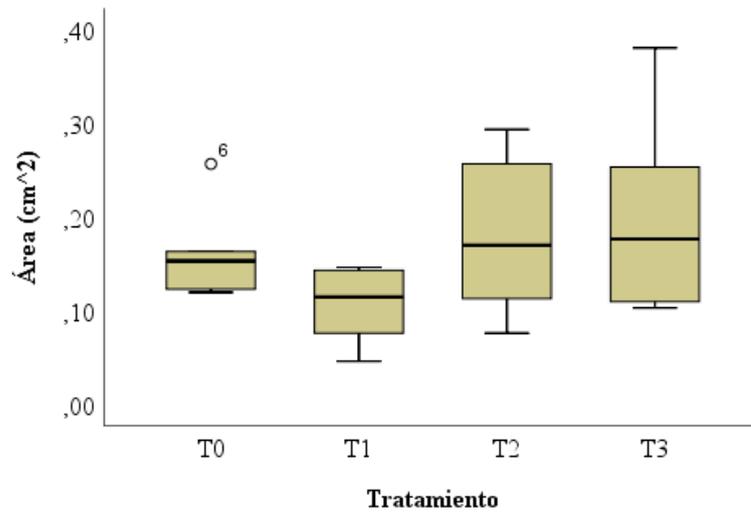


Figura 25. Medias del crecimiento de la raíz de *T. latifolia* en los diferentes tratamientos con plomo.

Con referencia a el área de los tratamientos con Cr el T1 Cr30 obtuvo la mayor área con un valor medio de $0,193 \text{ cm}^2$, seguido del tratamiento T0 Control, con una media de $0,16 \text{ cm}^2$, siendo estadísticamente similares y a su vez diferentes de los tratamientos T2 Cr60 y T3 Cr90, que obtuvieron un promedio de $0,113 \text{ cm}^2$ y $0,093 \text{ cm}^2$ respectivamente (Figura 26).

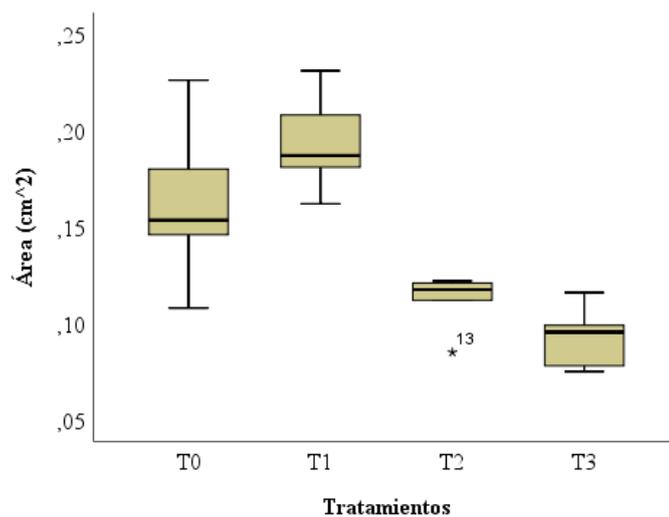


Figura 26. Medias del crecimiento de la raíz de *T. latifolia* en los diferentes tratamientos con cromo.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los de Manios, Stentifor y Millner (2003), quienes demostraron que un sustrato altamente contaminado con metales pesados, entre ellos el plomo (Tratamientos con 5, 10, 20 y 40 mgL^{-1}), no impuso ningún efecto significativo al desarrollo y crecimiento de *T. latifolia* a pesar de que hubo un aumento significativo de concentración de metales en los tejidos de la planta, en especial en las raíces. Así también Ye, Baker, Wong y Willis (1997), estudiaron el crecimiento de plántulas de *T. latifolia* en concentraciones de 10 y 20 $\mu g ml$, donde la elongación de la hoja más larga y el brote de raíces no se vio afectado significativamente en los dos tratamientos y sin mostrar síntomas de toxicidad en las plántulas. Otro estudio realizado en *T. angustifolia* por Bah et al. (2011), mostro un aumento significativo en el peso seco de vástago (25,7%) y raíz (29,6%), en el tratamiento con plomo (Pb-D130) sobre control (Control-D130).

La tolerancia de *T. latifolia* a las concentraciones de plomo puede ser por varios factores, uno de ellos es la formación de placas de Fe y Mn en las raíces de la planta, lo que permite que el Pb se adhiera a estas placas, haciendo que la mayor parte este se quede en las raíces y evitando su transporte a otras estructuras de la planta, aunque este método no es el principal para la adsorción y translocación de Pb en la planta (Ye et al., 1998).

A pesar de que existe información sobre la tolerancia de *T. latifolia* frente a concentraciones de cromo, no se han realizado estudios sobre la reacción de la biomasa de la planta frente a exposición de este metal. Bah et al. (2011), realizó un experimento en *T. angustifolia* donde con la adición de Cr mostró una reducción significativa en la altura de la planta, el brote y el peso seco de la raíz en 3.3%, 5.7% y 54.5% en el tratamiento Cr-D90 y en 17.1%, 30.0% y 43.7% en tratamientos con Cr-D130. Así también, Chen et al. (2014), mostró un crecimiento positivo de *T. angustifolia* en bajas concentraciones de Cr ($12 mgL^{-1}$). Dong et al. (2007), evaluaron el crecimiento de *T. angustifolia* frente a diferentes concentraciones por un periodo de 20 días, mostrando que a concentraciones de 50 ppm las plantas mostraron un crecimiento leve pero no significativo, tanto de raíz como la biomasa de las hojas, a 100 ppm no se observaron diferencias con el tratamiento control y a

200 ppm mostraron disminución significativa de la biomasa siguiendo la tendencia de a mayor concentración de Cr, menor el tamaño de la planta; la diferencia de resultados obtenidos radica en el tamaño de las unidades experimentales, mientras que en el presente estudio se utilizaron plántulas de aproximadamente 2-3 de altura, Dong et al. (2007), utilizó plantas de 25-30 cm de altura, así también menciona que las plantas no mostraron síntomas de estrés por intoxicación de cromo.

4.3. Propuesta de diseño de humedal artificial para fitorremediación de plomo y cromo con *T. Latifolia*

4.3.1. Diseño hidráulico del humedal artificial

Los datos presentados para el ingreso Quebrada Manzano Huayco y Canal Tahuando, han sido considerados en las fórmulas para el diseño del humedal artificial debido a que presentan la mayor cantidad de caudal durante todo el año 2018, siendo necesario establecer la media estadística para los resultados del caudal que es de $123,3 \text{ Ls}^{-1}$ o $10\,653,12 \text{ m}^3/\text{día}$ para la Quebrada Manzano Huayco (Tabla 20).

Tabla 20. Determinación del caudal medio de la Quebrada Manzano Huayco.

t_i (meses)	Q_i (Ls^{-1})	t_k (meses)	Q_k (Ls^{-1})	Tamaño Estadístico ($Q_k * 1$)
Enero	170,3	Ene-Feb	138,1	138,1
Febrero	105,9	Feb-Mar	110,65	110,65
Marzo	115,4	Mar-Abr	166,95	166,95
Abril	218,5	Abr-May	403,95	403,95
Mayo	589,4	May-Jun	331,35	331,35
Junio	73,3	Jun-Jul	36,65	36,65
Julio	0	Jul-Ago	0,45	0,45
Agosto	0,9	Ago-Sep	0,45	0,45
Septiembre	0	Sep-Oct	0	0
Octubre	0	Oct-Nov	44,45	44,45
Noviembre	88,9	Media		123,3

De igual manera se estableció la media estadística para el canal Tahuando siendo de $75,83 \text{ L s}^{-1}$ o $6552,14 \text{ m}^3/\text{día}$ (Tabla 21).

Tabla 21. Determinación del caudal medio del Canal Tahuando.

t_i (meses)	Q_i (L s^{-1})	t_k (meses)	Q_k (L s^{-1})	Tamaño Estadístico ($Q_k * 1$)
Enero	81,4	Ene-Feb	43	43
Febrero	4,6	Feb-Mar	23,7	23,7
Marzo	42,8	Mar-Abr	84,15	84,15
Abril	125,5	Abr-May	96,5	96,5
Mayo	67,5	May-Jun	85,55	85,55
Junio	103,6	Jun-Jul	69,65	69,65
Julio	35,7	Jul-Ago	23,65	23,65
Agosto	11,6	Ago-Sep	9,85	9,85
Septiembre	8,1	Sep-Oct	121,45	121,45
Octubre	234,8	Oct-Nov	200,85	200,85
Noviembre	166,9	Media		75,835

El diseño hidráulico del humedal se calculó con base a fórmulas e información que proporciona la USEPA, (1993) y por Crites et al. (2006), los cuales mencionan que se debe considerar los siguientes aspectos: (Tabla 22).

Tabla 22. Fórmulas e Información para el diseño hidráulico del humedal.

Aspecto	Valor	Fuente
Caudal medio ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)	10 653,12	GAD San Miguel de Ibarra
Temperatura del afluente ($^{\circ}\text{C}$)	18,48	GAD San Miguel de Ibarra
C_o (mgL^{-1})	33	Muestreo realizado en sedimentos del lago.
C_e (mgL^{-1})	0,05	Anexo 1 del libro VI Tulsma
Profundidad (m)	0,15-0,6	Díaz y Valdés (2011)
Porosidad del sustrato (%)	35	Crites et al. (2006)
Conductividad Hidráulica ($\text{m}^2 \text{d}^{-1}$)	$5\ 000^1/4\ 000^2$	USEPA (1993)
Tiempo de retención (d)	7	Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009)

¹ Valor utilizado para el diseño hidráulico de la Quebrada Manzano Huayco, ² Valor utilizado para el diseño hidráulico del Canal Tahuando.

Para obtener el área superficial del humedal se utiliza la siguiente ecuación (Fórmula 5):

$$A_s = \frac{Q \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_t \gamma n}$$

$$A_s(\text{Manzano Huayco}) = \frac{10\,653,12 \text{ m}^3/d \times \ln(3,52/0,05)}{1,01 \times 0,6 \times 35}$$

$$A_s(\text{Manzano Huayco}) = 2\,137,09 \text{ m}^2$$

$$A_s(\text{Canal Tahuando}) = \frac{6\,552,14 \text{ m}^3/d \times \ln(0,98/0,05)}{1,01 \times 0,6 \times 35}$$

$$A_s(\text{Canal Tahuando}) = 850,79 \text{ m}^2$$

Para obtener el valor del ancho de la celda del humedal se debe aplicar la fórmula (Fórmula 8):

$$W(\text{Manzano Huayco}) = \left(\frac{1}{0,6}\right) \left[\frac{(10\,653,12)(2\,137,09)}{(20)(5\,000)}\right]^{0,5}$$

$$W(\text{Manzano Huayco}) = 25,14 \text{ m}$$

$$W(\text{Canal Tahuando}) = \left(\frac{1}{0,6}\right) \left[\frac{(6\,552,14)(850,79)}{(20)(5\,000)}\right]^{0,5}$$

$$W(\text{Canal Tahuando}) = 13,91 \text{ m}$$

Despejamos el largo del humedal de la fórmula del área de un rectángulo (Fórmula 7):

$$A_s = W \times L$$

$$L = \frac{A_s}{W}$$

$$L(\text{Manzano Huayco}) = \frac{2\,137,09}{25,14}$$

$$L(\text{Manzano Huayco}) = 84,98 \text{ m}$$

$$L(\text{Canal Tahuando}) = \frac{850,79}{13,91}$$

$$L(\text{Canal Tahuando}) = 61,15 \text{ m}$$

Con las medidas resultantes se obtiene que el humedal artificial diseñado para la Quebrada Manzano Huayco posee una relación de aspecto 3,38:1, mientras que el humedal diseñado para el Canal Tahuando 4,4:1; cumpliendo con lo establecido por la USEPA (1993) (Figura 27).

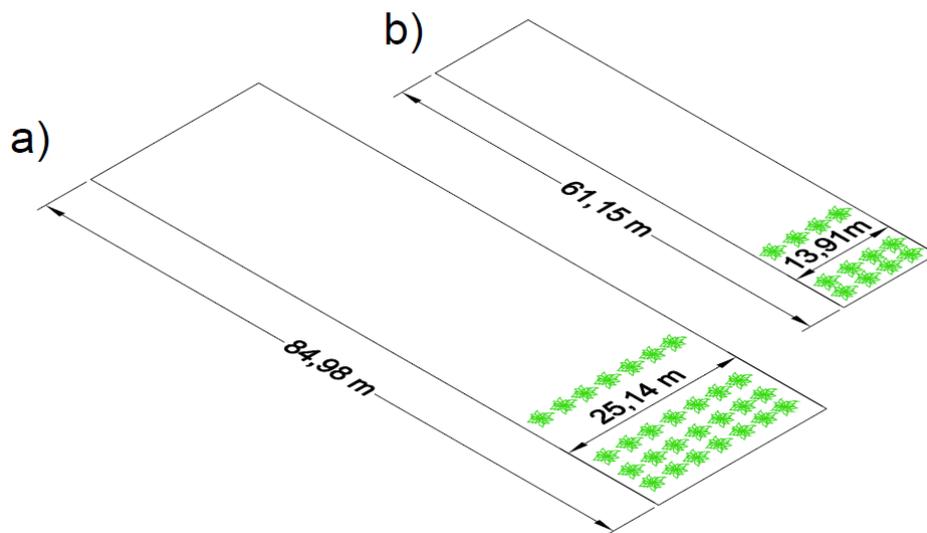


Figura 27. Dimensiones del humedal artificial: a) Humedal quebrada Manzano Huayco, b) humedal Canal Tahuando. Escala: sin escala.

4.3.2. Diseño de elementos del humedal artificial subsuperficial.

Los elementos del humedal artificial incluyen el pretratamiento, medio de cultivo, vegetación y estructuras de entrada y salida del caudal (Crites et al., 2006).

4.3.2.1. Pretratamiento

Es común el uso de tratamientos preliminares de los afluentes antes de entrar al humedal, debido a las altas cargas orgánicas que pueden acumularse en la zona de entrada y en los medios, haciendo que se modifique el volumen y el tiempo de retención hidráulico, por lo que se utilizan tanques sépticos, tanques Imhoff, estanques, tratamiento primario convencional o sistemas similares, que ayudan a degradar la materia orgánica Crites et al. (2006).

4.3.2.2. Medio de cultivo

El medio de cultivo seleccionado es grava (6-8 mm) la cual va a servir de sostén para el desarrollo de las plantas y sirviendo como zona operativa de tratamiento (alrededor de 0,60 m de profundidad) como menciona Crites et al. (2006). Además, es opcional cubrir este medio con una capa de entre 7 a 15 cm de grava más fina, ayudando como medio inicial de enraizamiento.

4.3.2.3. Vegetación

Se debe utilizar plantas emergentes, en este caso el uso de *T. latifolia*, la cual puede ser colectada de la misma zona, ya que existen varias poblaciones de esta al redor del lago (Oquendo, 2016), también se puede someter a germinación, ya que se conoce que las semillas de esta especie que se pueden colectar en las orillas del lago tienen un alto grado de viabilidad. Según Crites et al. (2006), es aceptable planificar este tipo de humedales con una sola especie de planta, aunque la USEPA (1993), menciona que puede ser con especies de los géneros *Scirpus*, *Phragmites* y *Typha*.

Según Crites et al. (2006), la distribución de *T. latifolia* es mundial. El pH óptimo es de 4 a 10. La tolerancia a la salinidad para hojas delgadas es de 15 a 30 ppt; hoja ancha, <1 ppt. El crecimiento es rápido, a través de los rizomas, la planta se propaga lateralmente para proporcionar una cobertura densa en menos de un año con un espacio de 2 pies (0,6 m) de la planta. El rendimiento anual es de 30 tm/ha.

T. latifolia puede ser cultivada dentro del humedal artificial con una distribución de 10-16 individuos por m^2 de estado juvenil y por su reproducción asexual puede colonizar gran parte del área superficial en un sustrato granular medio (30%), aunque no se descarta la opción de utilizar dos o más especies dentro del humedal.

4.3.2.4. Estructuras de entrada

La distribución de entrada del caudal del humedal puede ser muy variados, desde zanjas abiertas, cajas de vertederos de un solo punto y colectores de tubos con perforaciones (USEPA, 1993), para el ingreso del caudal se va a utilizar una caja

de vertedero conectada a un tubo con varias perforaciones, que ayude a distribuir el caudal de forma regular en todo el ancho del humedal (Figura 28).

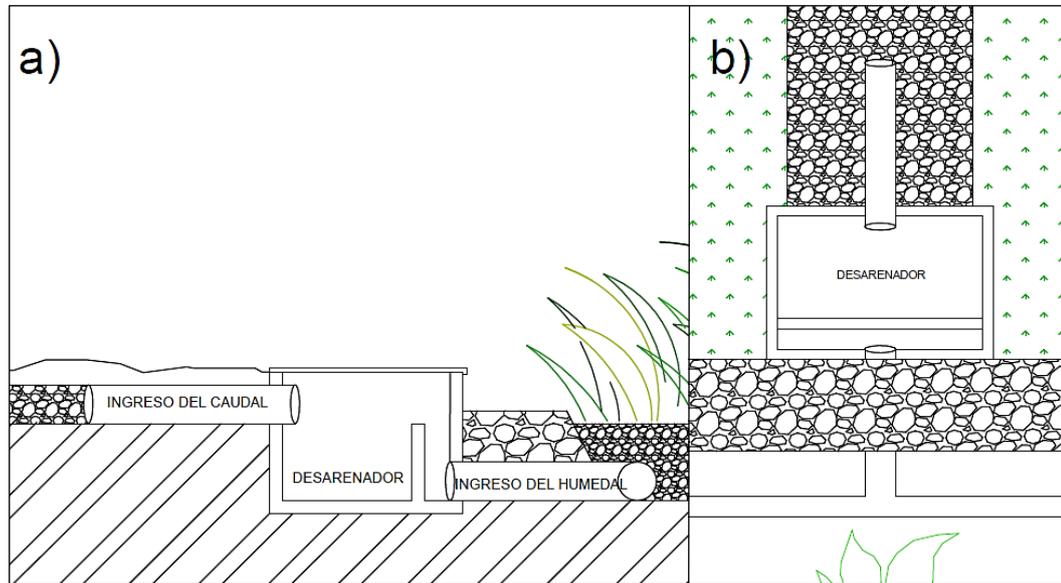


Figura 28. Estructuras de entrada del humedal artificial. a) corte vertical y b) vista superior.
Escala: sin escala.

4.3.2.5. Estructuras de salida

Al igual que en el caso anterior, las estructuras de salida van desde zanjas abiertas hasta cajas de vertederos de un solo punto o conductores de tubería perforados, permitiendo controlar el nivel de agua del humedal (Figura 29).

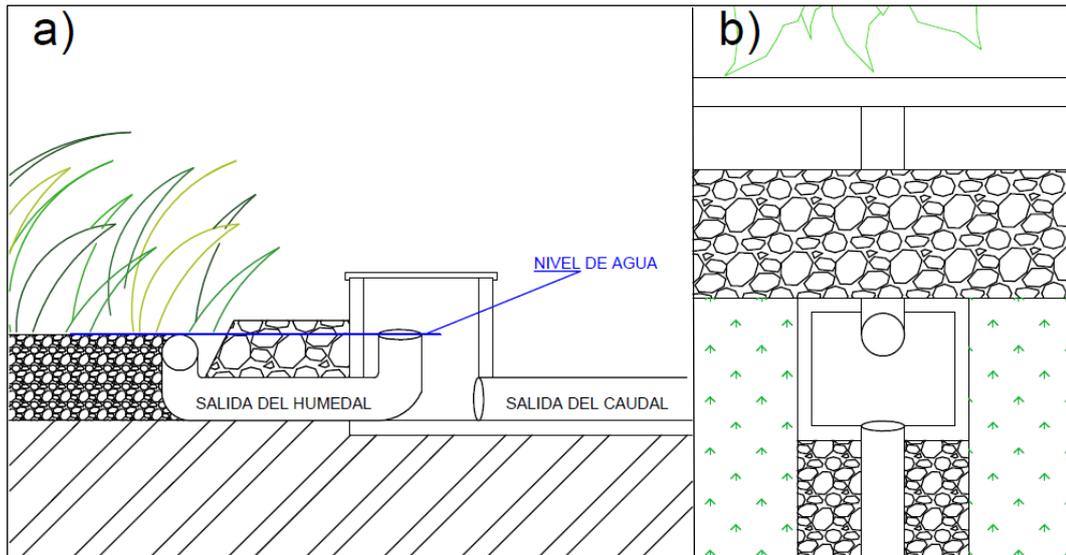


Figura 29. Estructuras de salida del humedal artificial. a) corte vertical y b) vista superior. Escala: sin escala.

4.3.2.6. Ubicación del humedal artificial

Se determinó en base a las características del terreno y la ubicación de las redes de drenaje el lugar donde se propone la implementación de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, siendo en predio aledaños a las orillas del lago, en las desembocaduras de los afluentes de la Quebrada Manzano Huayco y Canal Tahuando (Figura 30).

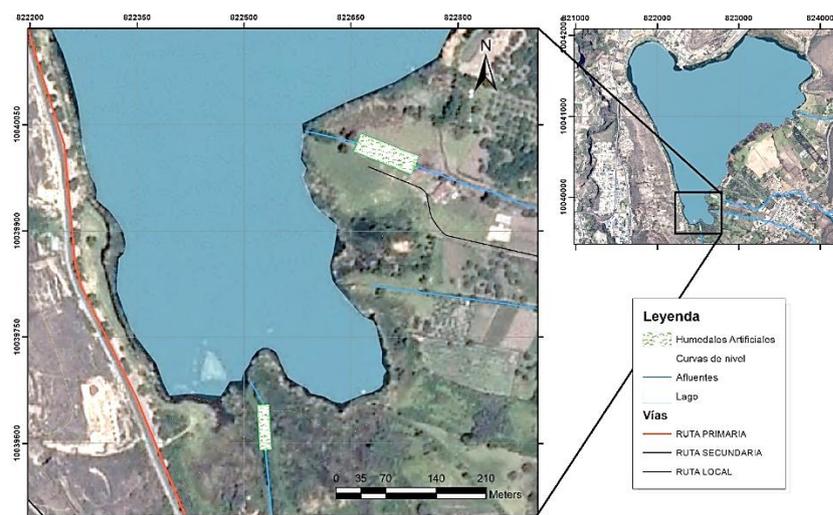


Figura 30. Propuesta de ubicación de humedales artificiales en el lago Yahuarcocha

4.3.2.7. Preparación del lugar

Consiste en la preparación del suelo en las áreas seleccionadas para la implementación de los humedales artificiales, las cuales van a comprender en la remoción de la cobertura vegetal, la compactación del suelo, excavación de las camas con las medidas obtenidas en el diseño hidráulico del humedal y excavación de fosas para las estructuras de ingreso y salida del caudal.

4.3.2.8. Costo de implementación

A continuación, se detallan los costos de los materiales a utilizar para la implementación de los dos humedales artificiales de flujo subsuperficial en los afluentes Quebrada Manzano Huayco (Tabla 23), aunque los precios están sujetos a variaciones y no se contempla la mano de obra.

Tabla 23. Costo de materiales para implementación de humedal artificial en la Quebrada Manzano Huayco

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
2 499 m ²	Geomembrana BMS10 de la marca HDPE, 1mm de espesor de alta densidad	\$1.88	\$ 4 698,12
1 281,83 m ³	Metro cúbico de grava	\$ 6	\$ 7 690,98
1	Estructura de entrada de caudal (Pozo de revisión H.S. incluye tapa).	\$ 189.28	\$ 189.28
1	Estructura de salida de caudal (Pozo de revisión H.S. incluye tapa).	\$ 189.28	\$ 189.28
12 m	Tubo PVC CORRIVAL 315mm x 6m	104,80	\$ 209,60
TOTAL (Implementación de Humedal en la Quebrada Manzano Huayco)			\$ 12 977,26

Se detallan también los costos de los materiales a utilizar para la implementación del humedal artificial de flujo subsuperficial del Canal Tahuando (Tabla 24), de igual manera los precios están sujetos a variación y no se contempla la mano de obra.

Tabla 24. Costo de materiales para implementación de humedal artificial en el Canal Tahuando.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1 021 m^2	Geomembrana BMS10 de la marca HDPE, 1mm de espesor de alta densidad	\$1.88	\$ 1 919,48
851 m^3	Metro cúbico de grava	\$ 6	\$ 5 103
1	Estructura de entrada de caudal (Pozo de revisión H.S. incluye tapa).	\$ 189.28	\$ 189.28
1	Estructura de salida de caudal (Pozo de revisión H.S. incluye tapa).	\$ 189.28	\$ 189.28
12 m	Tubo PVC CORRIVAL 315mm x 6m	104,80	\$ 209,60
TOTAL (Implementación de Humedal en el Canal Tahuando)			\$ 7 610,64

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se evidencia que la población de San Miguel de Yahuarcocha utiliza recursos naturales del lago siendo los recursos faunísticos los más empleados con un 21,70 % en especial la tilapia (*Oreochromis mossambicus*), para consumo propio o venta a domicilio. En el caso del recurso hídrico, aunque presenta condiciones no aptas para el consumo alcanzó un uso del 8,30 % para satisfacer esta necesidad de ganado y fuente de hidratación para personas que no cuentan con agua potable. Es así como la interacción entre la población y el lago han originado consecuencias negativas para la salud humana.

El diagnóstico realizado a los caudales indica que de los cinco afluentes que ingresan al lago Yahuarcocha, la Quebrada Manzano Huayco aporta el mayor volumen de ingreso al lago seguido del Canal Tahuando con una media estadística anual de $123,3 \text{ Ls}^{-1}$ y $75,83 \text{ Ls}^{-1}$ respectivamente, factor importante a considerar dentro del diseño del humedal con respecto al área superficial. Así también en estos ingresos se encontró que existen concentraciones sobre los límites permisibles de descarga para la preservación de flora y fauna en aguas dulces y límites permisibles a descarga de un cuerpo de agua dulce según la normativa ambiental vigente.

El crecimiento de la raíz de *T. latifolia* no se vio afectado por las concentraciones de plomo debido a que la media de los tratamientos fue estadísticamente similar con la media del tratamiento control, aunque plantas sometidas al tratamiento con 300 ppm de plomo mostraron mayor área de raíz en relación con los demás tratamientos ($0,2 \text{ cm}^2$). A diferencia de lo anterior, las concentraciones de cromo sí afectaron al crecimiento de la raíz de la planta, donde los tratamientos con concentraciones de 60 ppm y 90 ppm mostraron menor área de raíz ($0,113 \text{ cm}^2$ y $0,093 \text{ cm}^2$), con relación a los tratamientos con 30 ppm y control ($0,193 \text{ cm}^2$ y $0,16 \text{ cm}^2$).

Se diseñó un humedal de flujo subsuperficial para los afluentes Quebrada Manzano Huayco y Canal Tahuando con el uso de *T. latifolia* como rizofiltrador, permitiendo que el sistema radicular de la planta este en contacto directo con el afluente, además de ser estético con el paisaje, sirve de ecosistema para especies que habitan en la zona. El diseño hidráulico del humedal de la Quebrada Manzano Huayco fue de un área superficial de $2\,137,09\text{ m}^2$, de $84,98\text{ m}$ de largo por $25,14\text{ m}$ de ancho obteniendo una relación de aspecto de 3,38:1; mientras que para el Canal Tahuando se obtuvo un área superficial de $850,79\text{ m}^2$, de $61,15\text{ m}$ de largo por $13,91\text{ m}$ de ancho obteniendo una relación de aspecto de 4,4:1, y $0,60\text{ m}$ de profundidad para los dos casos.

5.2 Recomendaciones

Sería fundamental efectuar un estudio con respecto a la salud de la población de San Miguel de Yahuarcocha enfocado en la presencia de metales pesados dentro de su organismo para descartar o afirmar que debido a estos elementos tóxicos la población estaría presentando problemas en su salud. Además, aún no se ha establecido las actividades que serían las fuentes de contaminación de estos elementos, siendo importante así establecer estos aspectos y de esta manera limitar su presencia dentro de este sistema lacustre.

Debido a que la Quebrada Manzano Huayco presenta el mayor caudal y longitud dentro de la cuenca sería importante establecer qué tipo de actividades se realizan a lo largo de su trayecto, pudiendo identificar de esta forma las posibles actividades que estarían afectando al lago Yahuarcocha.

Las semillas de *T. latifolia* se recomiendan que sean germinadas en un sustrato granular mediano, simulando condiciones naturales para evitar la manipulación en la traslocación de plántulas, además de incluir nutrientes que favorezcan a su rápido crecimiento.

De ser implementado el humedal, se debería realizar además análisis de concentraciones de sólidos suspendidos, DBO, DQO y nutrientes, para verificar que

este humedal sirve para depurar carga orgánica de los afluentes en conjunto con metales pesados.

Se debe considerar variables como la temperatura y la exposición a la luz en experimentos realizados con rizotrófon para evitar la proliferación de fitoplancton y evitar el estrés de las plantas.

REFERENCIAS

- Abarca, S. y Mora, B. (2007). Contaminación del agua. *Biocenosis*, 20 (1-2), 137–139.
- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C. y Barberis, R. (2002). Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental Pollution*, 119(2), 177–193.
- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2008). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1), 35–64.
- Adu, M., Chatot, A., Wiesel, L., Bennett, M., Broadley, M., White, P. y Dupuy, L. (2014). A scanner system for high-resolution quantification of variation in root growth dynamics of Brassica. *Journal of Experimental Botany*, 65 (8), 2039–2048.
- APHA., AWWA. y WEF (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington D.C., United States of America: American Public Health Association.
- Arango, M., Branch, J. y Botero, V. (2005). Clasificación No Supervisada de Coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de Sensores remotos: “Landsat-ETM. *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58 (1), 2611–2634.
- Bah, A., Dai, H., Zhao, J., Sun, H., Cao, F., Zhang, G. y Wu, F. (2011). Effects of cadmium, chromium and lead on growth, metal uptake and antioxidative capacity in *Typha angustifolia*. *Biological trace element research*, 142 (1), 77–92.
- Beneit, J. y Velasco, J. (1993). *Farmacología y Terapéutica Clínica*. Madrid, España: Luzán 5 S.A.
- Barnes, R. y Mann, K. (1991). *Fundamentals of Aquatic Ecology*. Oxford, Inglaterra: Blackwell Science.
- Beneit, J. y Velasco, J. (1993). *Farmacología y Terapéutica Clínica*. Madrid: Luzán 5 S.A.

- Bonanno, G. y Cirelli, G. (2017). Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143 (1), 92-101.
- Campbell, D. y Stanley, J. (1966). Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social. Buenos Aires, Argentina: Rand McNally y Company.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999. *Canadian Sediment Quality Guidelines*. Canada.
- Chaplin, M. F. (2001). Water: its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29 (2), 54-59.
- Chen, L., Hong, Q., He, H., Luo, W., Qian, T., Li, Z., ... y Yu, H. (2014). Biosorption of Cr (VI) by *Typha angustifolia*: mechanism and responses to heavy metal stress. *Bioresource technology*, 160 (1), 89-92.
- Chopra, R. (2016). Environmental Degradation in India: Causes and Consequences. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 11 (6), 1593–1601.
- Código Orgánico del Ambiente (COA). (2016). Promulgado por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 983* del 12 de abril del 2017. Quito: Asamblea Constituyente.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización del Ecuador (COOTAD). (2010). Promulgado por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 303* del 19 de octubre del 2010. Quito: Asamblea Constituyente.
- Coello, D., Pesantes, F., Macías, P. y Revelo, W. (2005). *Boletín especial de mortalidad de peces en la laguna de Yaguarcocha, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. Febrero 2003*. Quito, Ecuador. Instituto Nacional de Pesca.
- Van Colen, W., Portilla, K., Oña, T., Wyseure, G., Goethals, P., Velarde, E. y Muylaert, K. (2017). Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yaguarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnologica*, 67 (1), 37-44.
- Comas, J. y Morera, S. (2012). *Life Cycle Assessment and Water Management related Issues*. Girona, España: CEDRO.

- Constitución de la República del Ecuador (2008). Promulgada por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 449* del 20 de octubre del 2008. Ciudad Alfaro, Ecuador: Asamblea Constituyente.
- Crites, R., Middlebrooks, J., Reed, S. y Group, F. (2006). *Natural Wastewater Treatment Systems*. Florida, EE UU: CRC Press.
- Cunningham, S., Shann, J., Crowley, D. y Anderson, T. (1997). Phytoremediation of Contaminated Water and Soil. En E. Kruger, T. Anderson y J. Coats (Ed.), *Phytoremediation of Contaminated Water and Soil*.(pp. 02-17) Washington DC, EE UU: ACS Symposium Series.
- Davidson, N. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65 (10), 934–941.
- DAFF. (2011). *Importance of wetlands*. Pretoria, Republic of South Africa. Recuperado de: [http://www.nda.agric.za/doiDev/topMenu/DoAProgrammes/landcare/Importance of wetlands.pdf](http://www.nda.agric.za/doiDev/topMenu/DoAProgrammes/landcare/Importance%20of%20wetlands.pdf)
- Dámarys, G., Olivares, S., Santana, J., Lima, L., Ruiz, L., Calderón, P. y Ávila, I. (2012). Evaluación De Riesgos a La Salud Por Exposición a Metales Pesados En Cercanías De Sitios Potencialmente Peligrosos Con Actividad Agrícola. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 13 (1), 10–18.
- De Souza, D., Locastro, J., De Lima, S. y Iwakura, L. (2015). Bioaccumulation of Trivalent Chromium in the Aquatic Macrophytes *Typha domingensis* L. and *Pontederia parviflora* Alexander. *Journal of Agriculture Food and Development*, 1 (1), 10–14.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (1), 597–612.
- Department of the Environment and Energy. (2018). *Wetlands Australia*. Canberra, Australian Government: Commonwealth of Australia.
- Dhote, S. y Dixit, S. (2009). Water quality improvement through macrophytes-a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152 (1), 149-153.
- Dong, J., Wu, F., Huang, R. y Zang, G. (2007). A Chromium-Tolerant Plant Growing in Cr-Contaminated Land. *International Journal of*

- Phytoremediation*, 9 (3), 167–179.
- Ekstam, B. y Forseby, Å. (1999). Germination response of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* to diurnal fluctuations in temperature. *Seed Science Research*, 9 (2), 157-163.
- Erazo, M. y Cárdenas, R. (2014). *Ecología, impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el medio ambiente*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Fatima, M., Usmani, N. y Hossain M. (2014). Heavy metal in aquatic ecosystem emphasizing its effect on tissue bioaccumulation and Histopathology: a review. *Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (1), 1-15.
- Félix, G. y Sevilla, L. (2003). *Ecología y Salud*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- Fernández, J. (2002). Humedales artificiales para depuración. En J. Fernández, E. Beascochea, J. Muñoz, y M. Fernández de la Mora (Eds), *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación* (pp. 79-90). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Förstner, U. y Wittmann, G.T.W. (1981). *Metal pollution in the aquatic environment*. New York, EEUU: Springer Media Science Business
- GAD San Miguel de Ibarra. (2012). *Plan de manejo de la microcuenca del Lago Yahuarcocha*. Ibarra, Ecuador: GAD San Miguel de Ibarra.
- GAD San Miguel de Ibarra. (2017). *Ordenanza que reglamenta el uso y ocupación del suelo en el cantón Ibarra*. Ibarra, Ecuador. Recuperado de [http://documentos.ibarra.gob.ec/uploads/documentos/ORDENANZA/ORDENANZA_QUE_REGLAMENTA_EL_USO_Y_OCUPACIÓN_DEL_SUELO_EN_EL_CANTÓN_IBARRA\(09-01-2017_16_47_35\).pdf](http://documentos.ibarra.gob.ec/uploads/documentos/ORDENANZA/ORDENANZA_QUE_REGLAMENTA_EL_USO_Y_OCUPACIÓN_DEL_SUELO_EN_EL_CANTÓN_IBARRA(09-01-2017_16_47_35).pdf)
- Gaibor, A., Nieto, C. y Velastegui, R. (2006). *TLC y plaguicidas. Impacto en los mercados y la agricultura ecuatoriana*. Quito, Ecuador: SIPAE.
- García, M. y Cáceres, P. (2014). *Diseños experimentales de series temporales*. Madrid, España: UNED Ediciones.
- García, J. y Corza, A. (2008). *Depuración con humedales construidos: Guía práctica de diseño, explotación y construcción de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Githuku, C., Ndambuki, J., Salim, R. y Badejo, A. (Julio, 2018). Treatment

- potential of *Typha latifolia* in removal of heavy metals from wastewater using constructed wetlands. En R. Shaw (Ed.), *Transformation towards sustainable and resilient WASH services*. Simposio llevado a cabo en el 41st WEDC International Conference, Nakuru, Kenya.
- GLOBAL STD. (2018). *Legislación Ambiental en México*. GlobalSTD Rev. 10. Recuperado de: <https://www.globalstd.com/networks/blog/legislacion-ambiental-en-mexico>.
- Greipsson, S. (2011). Phytoremediation. *Nature*, 3 (10), 1–5.
- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A. y Cardoso, A. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science y Policy*, 61 (1), 194-203.
- Guittonny, A., Monnier, Y., Malleret, L., Coulomb, B., Combroux, I., Baumberger, T., ... Laffont, I. (2015). Selection of wild macrophytes for use in constructed wetlands for phytoremediation of contaminant mixtures. *Journal of Environmental Management.*, 147 (1), 108–123.
- Han, J., Chen, F., Zhou, Y. y Wang, C. (2015). High Pb concentration stress on *Typha latifolia* growth and Pb removal in microcosm wetland. *Water Science and Technoogy*. 71 (11), 1734-1741.
- Hernández, S. (2014). *Metodología de la Investigación*. México DF, México: Mc Graw Hill Education.
- Herreras, E. (2005). Spss: Un Instrumento De Análisis De Datos Cuantitativos. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 2 (4), 62–69.
- Hoagland, D. y Arnon, D. (1950). *The Water.Culture Method for Growing Plants whitout soil*. Berkeley: College of Agriculture, University of California.
- Iglesias, M. y Rodríguez, R. (2007). *Toma, conservación y toma de muestras (Métidos y Técnicas Analíticas)*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Instituto Nacional de Pesca. (2014). *Rendición de Cuentas del Instituto Nacional de Pesca 2014*. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://institutopesc-.gob.-ec/wp-con-tent/uploads/2017/07/RENDICIÓN-DE-CUENTAS-2014.pdf>
- Isch, E. (2011). *Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla*. Quito, Ecuador: GRAPHUS.

- Islam, S., Ahmed, K., Raknuzzaman, M., Al-Mamum, H. y Kamrul, M. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48 (1), 282–291.
- Jácome, G. (2015). *Propuesta de gestión de los conflictos socioambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la Laguna de Yahuarcocha*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Jácome, G., Valarezo, C y Yoo, C. (2018). Assessment of water quality monitoring for the optimal sensor placement in lake Yahuarcocha using pattern recognition techniques and geographical information systems. *Environmental Monitoring and Assessments*, 190 (4), 1-15.
- Jan, A., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I., Mohd, Q. y Haq, R. (2015). Heavy metals and human health: Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*, 16 (12), 29592–29630.
- Juárez, A., Arribére, M. A., Arcagni, M. y Williams, N. (2016). Heavy metal and trace elements in riparian vegetation and macrophytes associated with lacustrine systems in Northern Patagonia Andean Range. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (18), 17995-18009
- Kabata, A. y Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants*. Florida: CRC Press.
- Kumar, P. (2012). *Heavy Metals In Environment*. Bijnor, India: Lambert Academic Publishing.
- Lansdown, R. (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species 2017: Typha latifolia (Broadleaf Cattail)*. Gland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Recuperado de <https://www.iucnredlist.org/species/164165/84300723>
- Lara, J. (1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. (Tesis de maestría). Univeridad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.
- Lara, M., Blázquez, G., Trujillo, M., Pérez, A. y Calero, M. (2014). New treatment

- of real electroplating wastewater containing heavy metal ions by absorption onto olive stone. *Journal of Cleaner Production*, 81 (1), 120-119.
- Leguizamon, A. (2013). *Determinación de los impactos ambientales del turismo en el lago sochagota de la ciudad de paipa (Boyacá)*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales, Duitama, Colombia.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014). Promulgada por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 305* del 6 de agosto de 2014. Quito: Asamblea Constituyente.
- Ley Orgánica de Salud (2012). Promulgada por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 423* del 24 de enero de 2012. Quito: Asamblea Constituyente.
- Lobet, G. y Draye, X. (2013). Novel scanning procedure enabling the vectorization of entire rhizotron-grown root systems. *Plant Methods*. 9 (1), 1-10.
- Loredo, R., Alfaro, C. y García, R. (Junio, 2011). Contribución de *Typha latifolia* a la remoción de Cd y Pb en un humedal artificial de flujo subsuperficial. En S. Sánchez (Presidencia), *Biotecnología Ambiental*. Conferencia llevada a cabo en el XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería por la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Queretaro, México.
- Lugo, D., Caicedo, F., Torres, B., Andrade, J. y Cruz, F. (2014). Cambio climático, género y percepción: Caso de la Laguna de Yahuarcocha. *Spanish Journal of Rural Development*, 4 (1), 15-22.
- Lugo, D. y Torres, B. (2015). Desarrollo, trabajo y género: El Caso de la Laguna de Yahuarcocha. *Cuestiones de género: de la igualdad y la diferencia*, 10 (1), 249-257.
- MAE. (2015). Acuerdo Ministerial N° 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (Registro Oficial N° 316). Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>.
- MAE. (2015). Acuerdo Ministerial N° 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Anexo 1 del Libro XI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua (Registro Oficial N° 387). Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

- Manios, T., Stentiford, E. y Millner, P. A. (2003). The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. *Ecological Engineering*, 20 (1), 65–74.
- Malitaxi, D. (2016). *Evaluación de metales pesados plomo (pb) y cadmio (cd) en la especie tilapia (tilapia mossambica), como bioindicador de calidad de agua, mediante técnicas de absorción atómica, en la laguna de yahuarcocha.* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra “PUCE-SI.”, Ibarra, Ecuador.
- McCutcheon, S. y Schnoor, J. (2003). *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. Washington D.C., United States of America: John Wiley y Sons, Inc.
- McDonald, J. (2009). *Handbook of Biological Statistics*. Baltimore, United States of America: Sparky House Publishing.
- Meena, R., Sathishkumar, P., Ameen, F., Yusoff, A. y Gu, F. (2017). Heavy metal pollution in immobile and mobile components of lentic ecosystems—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (5), 4134–4148.
- Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., y García, P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (1), 29-44.
- Mentaberry, A. (2011). *Agrobiotecnología: Fitorremediación*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de Suelos*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente de Perú.
- Mustafa, A. (2013). Constructed wetland for wastewater treatment and reuse: a case study of developing country. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4 (1), 20-24.
- Pais, I. y Jones, J. (2000). *The Handbook of Trace Elements*. Tampa, United States of America: St. Luise Press.
- Pérez, A. y Santamaría, J. (2000). *Diccionario terminológico de Contaminación Ambiental*. Pamplona, España: EUNSA.
- Pivetz, B. (2001). *Ground Water Issue. Phytoremediation of Contaminated Soil and*

- Ground Water at Hazardous Waste Sites* (EPA/540/S-01/500). Recuperado del sitio de internet de United States Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/sites/production/files/201506/documents/epa_540_s01_500.pdf
- Stanković, D. (2017). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Grđevinar*, 69 (8), 639,652.
- Olguín, E. y Sánchez, G. (2012). Heavy metal removal in phytoremediation and phycoremediation: the need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. *New Biotechnology*, 30 (1), 3-8.
- ONU. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo aprobada en la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU-HABITAT (2008). Manual de humedales artificiales: Programa agua para las ciudades asiáticas. Katmandú, Nepal: ONU.
- Oquendo, R. (2016). *Evaluación de Typha latifolia con Plomo y Propuesta de Fitorremediación de Metales Pesados en la Laguna de Yahuarcocha*. (Tesis de maestría). Universidad Internacional SEK Ecuador, Quito, Ecuador.
- Oyuela, M., Fernández, W. y Gutiérrez, M. (2016). Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands- A review. *Chemosphere*, 168 (1), 1230–1247.
- Özdağ, U. y François, G. (2015). *Environmental Crisis and Human Cost*. Madrid, España: Instituto Franklin-UAH.
- Pabón, J. (2015). *Distribución y Evaluación de la Vegetación Macrofítica en el lago de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Pazmiño, N. (2016). *Caracterización físico química, biológica e hidromorfológica del río itambí como afluente del lago San Pablo (Imbabura-Ecuador)*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del Lago Yahuarcocha, provincia Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- Quispe, L., Arias, J., Franco, C. y Cruz, M. (2017). Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3 (1), 79–93.
- Ramsar. (2014). Ramsar. Gland: Ramsar Sites Information Services. Recuperado de <https://www.ramsar.org/about/the-importance-of-wetlands>
- Revelo, J. (2017). Evaluación del Balance Hidrológico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del Lago Yahuarcocha. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Rodríguez, M. (2015). *Efecto de los mecanismos de transporte de calcio, hierro y zinc en la captación de cadmio y plomo en plantas fitorremediadoras*. (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Ross, S. (1994). Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. En S. Ross (Ed.), *Toxic Metals in Soil-Plant System* (pp. 3-25). Bristol, Inglaterra: John Wiley y Sons Ltd.
- Rubio, D., Delgado, D. y Amaya, A. (2017). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción+ Limpia*, 11 (2).
- Sabir, M., Waraich, E., Rehman, K. y Öztürk, M. (2015). Phytoremediation: Mechanisms and adaptations. En K. Hakeem, M. Sabir, M. Öztürk y A. Mermut (Ed.), *Soil Remediation and Plants: Prospects and Challenges* (85–105). Sargodha, Pakistan: Elsevier y Book Aid International.
- Saeed, S. y Shaker, I. (Octubre de 2008). Assessment of heavy metals pollution in water and sediments and their effect on *Oreochromis nilotilus* in the northern delta lakes, Egypt. In Hussein Elghobashy (Precidencia), *8 th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Symposium held at the Central Lab for Aquaculture Research, Agricultural Research Center. Limnology departament, Cairo, Egypt.
- Saelens, P. (2015). *Ecological functioning of a eutrophic, high-altitude shallow lake in Ecuador, Laguna Yahuarcocha*. (Tesis de maestría). Universidad KU

Leuven, Lovaina, Bélgica.

- Salcedo, E. (2019). *Evaluación de concentración de plomo y cromo en poblaciones de typha latifolia en la laguna de Yahuarcocha*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Salinas, P. y Cárdenas, M. (2009). *Métodos de investigación social*. Quito, Ecuador: Intiyan ediciones Ciespal.
- Santos, I., Silva, E., Schaefer, C., Albuquerque, M. y Campos, L. (2005). Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollution Bulletin*, 50 (2), 185-194
- Sasmaz, A., Obek, E. y Hasar, H. (2008). The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological Engineering*, 33 (1), 278-284.
- Senplades. (2017). Plan Nacional de desarrollo 2017-2021: Todo una vida (Resolución N° CNP-003-2017). Recuperado de: <http://www.planificacion.gob.ec>.
- Sekabira, K., Origa, H., Basamba, T., Mutumba, G. y Kakudidi, E. (2010). Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7 (3), 435–446.
- Sharma, S., Singh, B. y Manchanda, V. (2014). Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (2), 946-962.
- Singh, D., Richa, G. y Archana, T. (2011). Typha: an Aquatic Macrophyte with Potential Use in Phytoremediation of Wastewater. *Asian Journal of Pharmacy and Life Science*, 1 (4), 443–448.
- Szczygłowska, M., Piekarska, A., Konieczka, P. y Namieśnik, J. (2011). Use of Brassica plants in the phytoremediation and biofumigation processes. *International Journal of Molecular Sciences*, 12 (11), 7760–7771.
- Terneus, E. (2014). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35 (1-2), 121-131.

- The University of Arizona. (2018). *Phytoremediation: Types of Phytoremediation*. Tucson, United States of America: Arizona Board of Regents. Recuperado de <https://superfund.arizona.edu/info-material/information-sheets/english/phytoremediation>.
- Tiller, K. (1989). Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in Soil Science*, 9 (1), 113–142.
- University of South Florida (2000) *Project Oceanography: Aquatic Ecosystems*. Tampa, United States of America: Neighborhood Water Quality. Recuperado de <https://www.marine.usf.edu/pjocean/packets/f00/nwq1.pdf>
- USEPA. (1993). *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: a technology assessment*. Washington D.C., United States of America: United States Environmental Protection Agency.
- USEPA. (1996). *Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods (SW-846)*. Washington D.C., United States of America: United States Environmental Protection Agency.
- USEPA. (2001). *Parameters of water quality: Interpretation and Standards. Environmental Protection*. Washington D.C., United States of America: United States Environmental Protection Agency.
- USEPA. (2017). *Hazardous Waste Test Methods / SW-846*. Washington D.C., United States of America: United States Environmental Protection Agency.
- Vemic, M., Rousseau, D., Du Laing, G. y Lens, P. (2014). Distribution and fate of metals in the Montenegrin part of Lake Skadar. *International Journal of Sediment Research*, 29 (3), 357-367.
- Verma, R. y Dwivedi, P. (2013). Heavy metal water pollution-A case study. *Recent Research in Science and Technology*, 5 (5), 98–99.
- Waseem, A., Arshad, J., Iqbal, F., Sajjad, A., Mehmood, Z. y Murtaza, G. (2014). Pollution Status of Pakistan: A Retrospective Review on Heavy Metal Contamination of Water, Soil, and Vegetables. *BioMed Research International*, 2014 (1), 1-29.
- Wijninga, V., Rangel, O. y Cleef, A. (1989). Botanical ecology and conservation of the laguna de La Herrera (Sabana de Bogotá, Colombia). *Caldasia*, 16 (76), 23–40.

- WLI. (2018). *Humedales para un futuro urbano sostenible*. Slimbridge: Wetland Link International. Recuperado de <https://wli.wwt.org.uk/es/2017/12/novedades/world-wetlands-day-february-2nd-2018/>
- Ye, Z., Baker, A., Wong, M. y Willis, A. J. (1997). Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia*. *The New Phytologist*, 136(3), 469-480.
- Ye, Z., Baker, A., Wong, M. H. y Willis, A. J. (1998). Zinc, lead and cadmium accumulation and tolerance in *Typha latifolia* as affected by iron plaque on the root surface. *Aquatic botany*, 61(1), 55-67.

ANEXO: 1

Anexo 1 a) Instrumento aplicado en las entrevistas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES



ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

El presente cuestionario realizado por estudiantes de la carrera de Recursos Naturales de la Universidad Técnica del Norte para su trabajo de titulación tiene como fin evaluar la salud de los habitantes del barrio San Miguel de Yahuarcocha y su relación con los elementos naturales de la Laguna de Yahuarcocha, por lo que se requiere de su ayuda para responder las siguientes preguntas:

Nº.....

Fecha: ____/01/2019 Edad:..... Género:.....

Comunidad o Barrio: San Miguel de Yahuarcocha

• **PRIMERA SECCIÓN: ASPECTO SOCIAL.**

1. ¿A qué grupo étnico pertenece?

- | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| a) Mestizo | <input type="radio"/> | d) Montubio | <input type="radio"/> |
| b) Afroecuatoriano | <input type="radio"/> | e) Otro (.....) | <input type="radio"/> |
| c) Indígena | <input type="radio"/> | | |

2. ¿Cuál es su nivel de educación?

- | | | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| a) Primaria | <input type="radio"/> | c) Educación Superior | <input type="radio"/> |
| b) Secundaria | <input type="radio"/> | d) Ninguno | <input type="radio"/> |

3. ¿Cuánto tiempo vive en este lugar?

- | | | | |
|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| a) >1 | <input type="radio"/> | d) 11-20 años. | <input type="radio"/> |
| b) 1-5 años | <input type="radio"/> | e) más de 20 años | <input type="radio"/> |
| c) 6-10 años | <input type="radio"/> | | |

4. ¿Qué tipo de actividad realiza?

- | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| a) Hospedaje | <input type="radio"/> | e) Deportes en suelo | <input type="radio"/> |
| b) Alimentación | <input type="radio"/> | f) Deportes acuáticos | <input type="radio"/> |
| c) Turismo con botes | <input type="radio"/> | g) Otro (.....) | <input type="radio"/> |
| d) Reside | <input type="radio"/> | | |

5. ¿Ha utilizado alguno de los siguientes elementos naturales de la Laguna de Yahuarcocha en alguna actividad que haya realizado?

- | | | | |
|-------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| a) Agua | <input type="radio"/> | d) Otro (.....) | <input type="radio"/> |
| b) Plantas | <input type="radio"/> | e) Ninguno | <input type="radio"/> |
| c) Animales | <input type="radio"/> | | |

6. Si ha utilizado una de los elementos naturales mencionadas en la anterior pregunta, ¿en qué la ha utilizado?

.....
.....
.....
.....

• SEGUNDA SECCIÓN: ASPECTO DE SALUD.

7. ¿Después de haber tenido contacto con el agua de la laguna, ha presentado alguna enfermedad en su piel?

- a) Si (¿Cuál?
.....)
b) No

8. ¿Ha tenido alguna enfermedad de la piel o interna de gravedad que haya sido atendida en un centro de salud?

- a) Si
b) No

9. ¿En qué centro de salud o unidad médica se hace atender?

.....
.....
.....
.....

10. ¿Cuál piensa que es el estado actual de la Laguna de Yahuarcocha?

.....
.....
.....
.....

Anexo 1b) Validación del Instrumento

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Quién suscribe, JOSÉ ALI MONCADA RANGEL con
cédula de identidad N°: 175712826-7, de profesión
DOCENTE UNIVERSITARIO con Grado de:
DOCTOR EN DESARROLLO SOSTENIBLE, ejerciendo actualmente como:
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN, en la Institución:
INSTITUTO DE POSTGRADO - UTN.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación el Instrumento (entrevista), a los efectos de su aplicación en el estudio denominado: “DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO Y CROMO CON *Thypha latifolia* EN EL LAGO YAHUARCOCHA-IMBABURA”.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

	Deficiente	Aceptable	Bueno	Excelente
Congruencia de Ítems				✓
Amplitud de contenido			✓	
Redacción de los Ítems				✓
Claridad y precisión				✓
Pertinencia				✓

Fecha: 20-11-2018

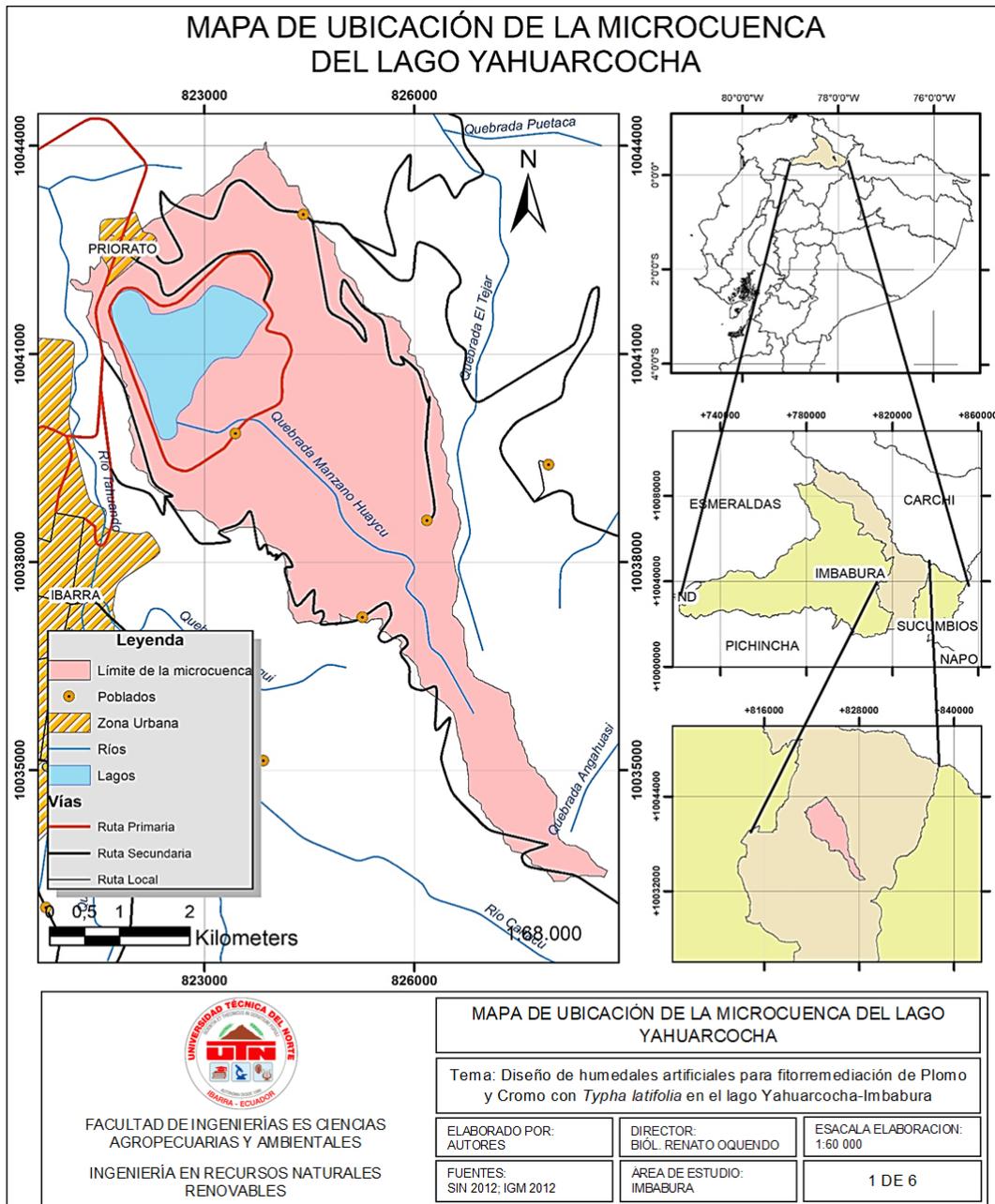


Firma

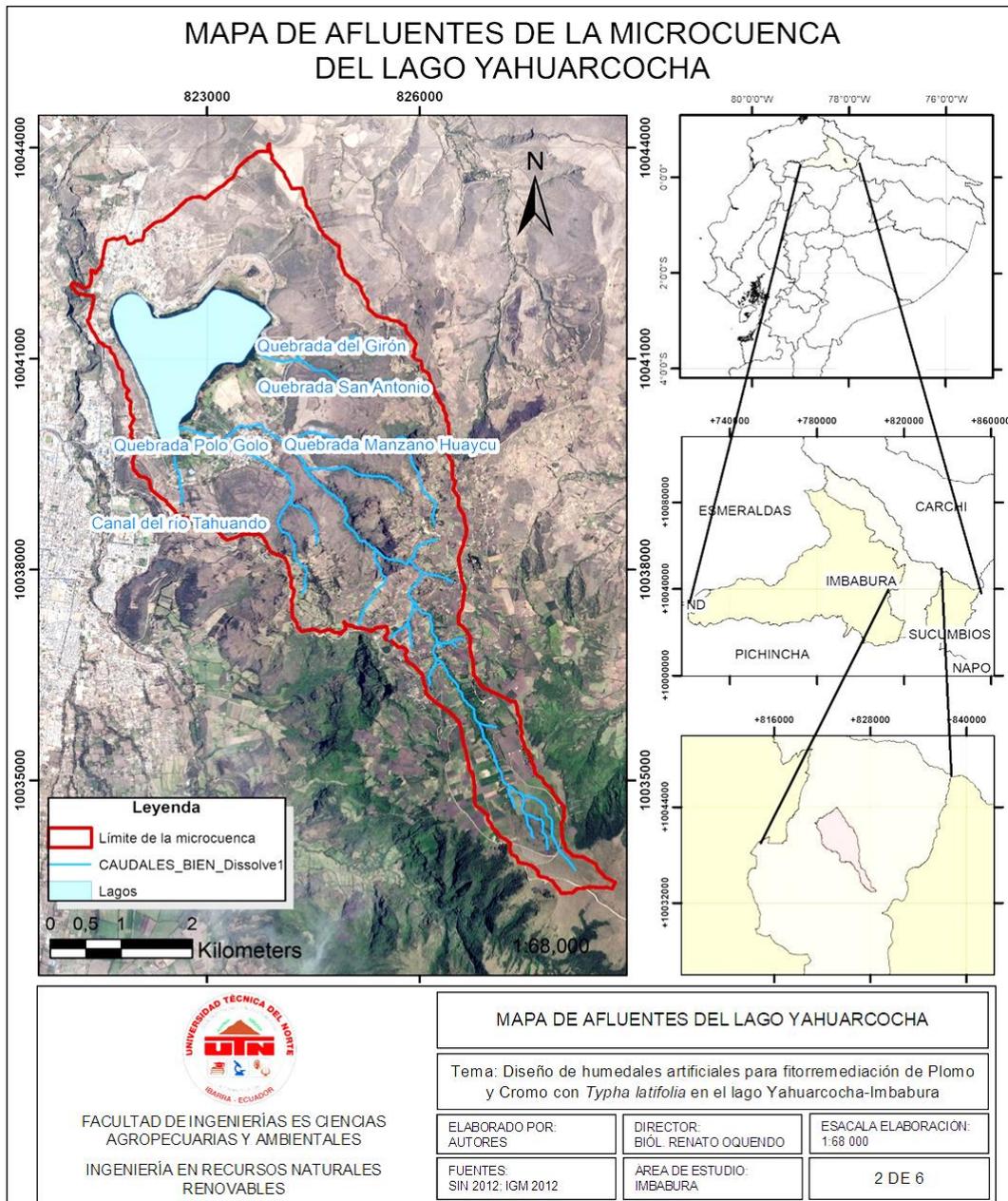
C.I: 1757128267

ANEXO: 2

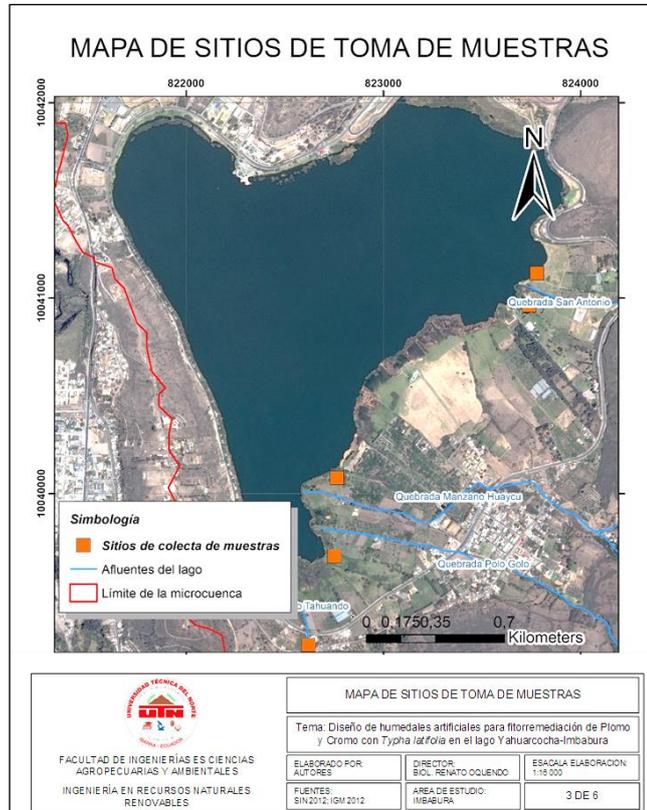
Anexo 2a: Mapa de ubicación de la microcuenca del lago Yahuarcocha.



Anexo 2b: mapa de los afluentes de la microcuenca del lago Yahuarcocha.



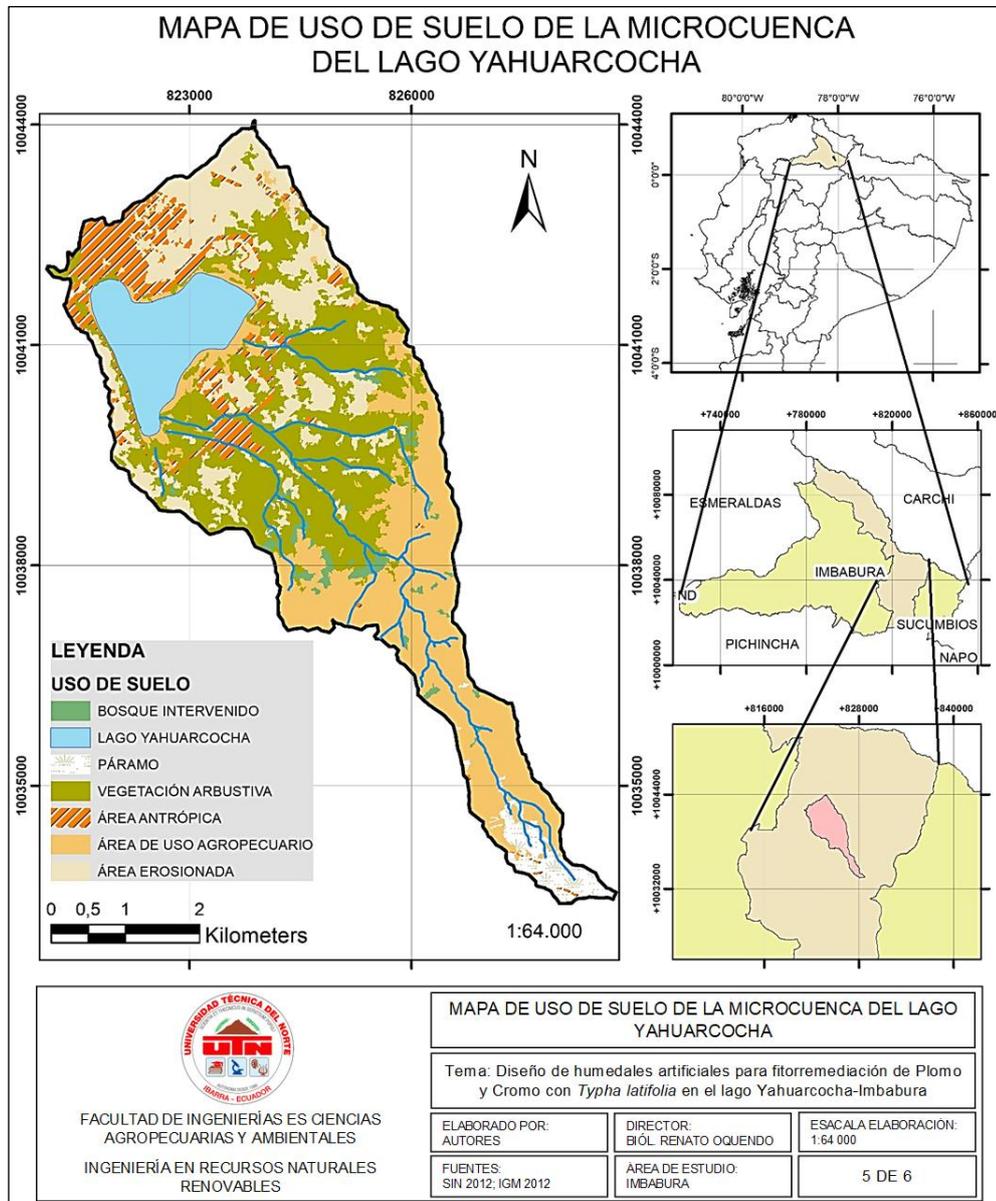
Anexo 2c: Mapa de sitios de toma de muestras para análisis de metales pesados.



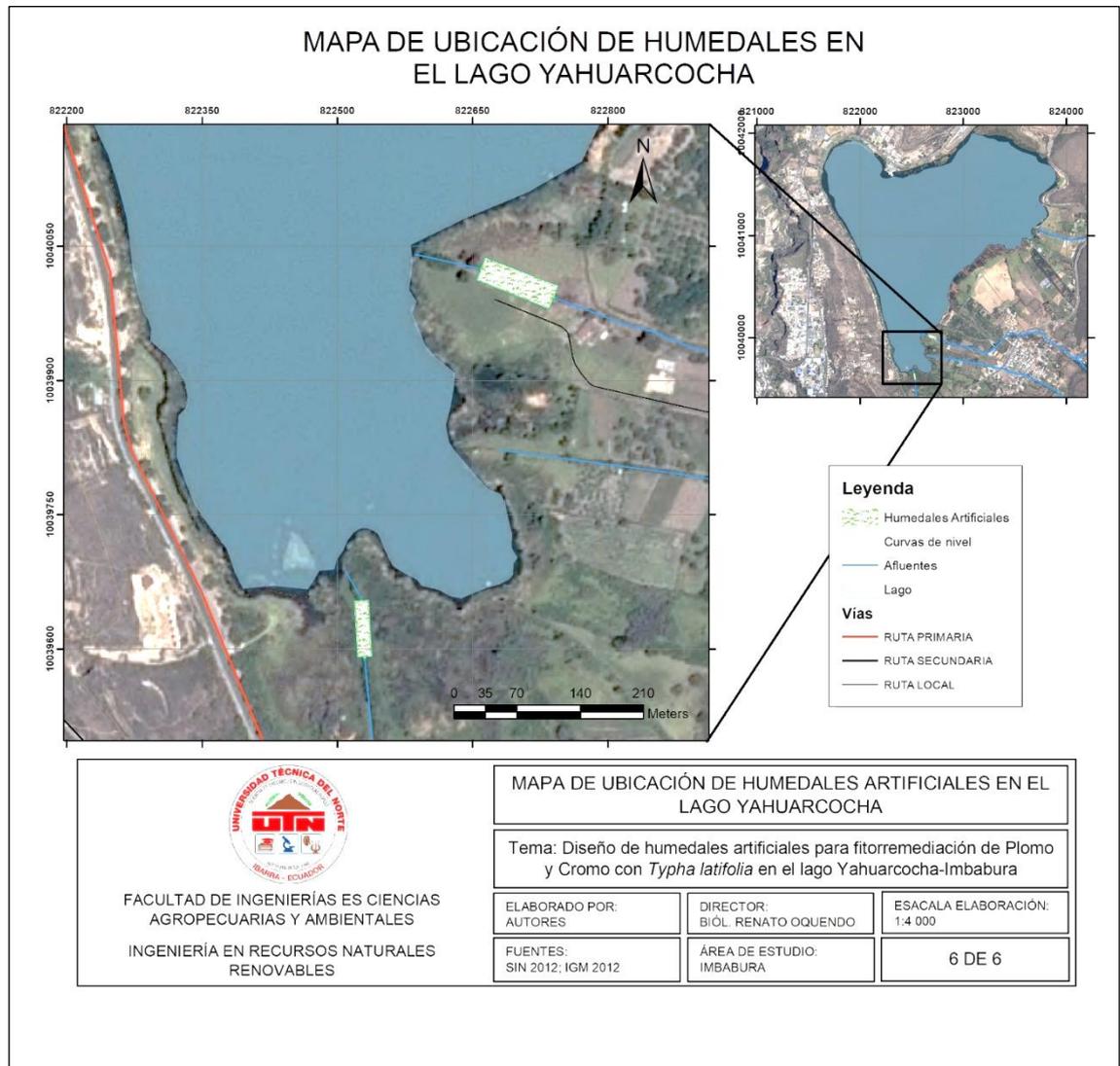
Anexo 2d: Sitios de colecta de semillas de *T. latifolia*.



Anexo 2e: Mapa de uso de suelo de la microcuenca del lago Yahuarcocha.



Anexo 2f: Mapa de uso de ubicación de humedales en el lago Yahuarcocha.



ANEXO: 3

Anexo 3a: Solicitud de información de centros de salud del distrito 10D01



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Oficio 245-RNR
Ibarra, 14 de febrero de 2019

Magister
Diego Buitrón
DIRECTOR DISTRITAL DE SALUD 10D01
IBARRA – PIMAMPIRO - URCUQUÍ

De mis consideraciones:

Como parte del desarrollo de trabajo de titulación de los estudiantes **Alexis José Galarza Guzmán** y **Gandhy Patricio Pérez García**, solicito de la manera más comedida se les de apertura con la información que ayudara en el desarrollo del objetivo número 1 del tema de titulación: **Diseño de Humedales Artificiales para Fitorremediación de Plomo y Cromo con *Typhalatifolia*** en el lago Yahuarcocha-Imbabura, al respecto se requiere la siguiente información:

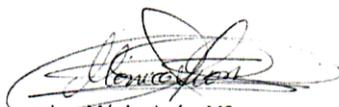
- Información de la Población de San Miguel de Yahuarcocha que hayan tenido afectación a la salud relacionada con presencia de metales pesados, en especial de **plomo** y **chromo** hexavalente de los últimos 10 años.
- Estadísticas de los pobladores de San Miguel de Yahuarcocha que hayan presentado las siguientes afectaciones: hipertensión arterial, lesiones renales, malestares estomacales graves y úlceras, erupciones cutáneas (dermatitis esquistosomíasis), alteraciones cerebrales, sistema nervioso central y sistema óseo.
- Información de casos de intoxicación por **plomo** y/o **chromo** hexavalente, y si se ha realizado análisis de la concentración de estos metales en la sangre de la población de San Miguel de Yahuarcocha.

El docente acompañante de la Institución será el MSc. Renato Oquendo quien es el director de trabajo de titulación antes mencionado.

Las fechas en las que se estima la visita se deja a su consideración.

Por su gentil atención le agradezco.

Atentamente,
"CIENCIA Y TÉCNICA AL SERVICIO DEL PUEBLO"


Ing. Mónica León MSc.
COORDINADOR DE CARRERA (E)



Copia: MSc. Renato Oquendo

Copia: Archivo

Mónica G.



MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

Anexo 3b: Respuesta de la solicitud de información por parte del distrito de salud 10 D01.

MINISTERIO DE **SALUD PÚBLICA**



Dirección Distrital 10D01 Ibarra Pimampiro San Miguel De Urcuqui - Salud

Oficio Nro. MSP-CZ1-10D01-2019-0196-O

Ibarra, 25 de febrero de 2019

Asunto: SE AUTORIZA ACCESO A LA INFORMACIÓN :SOLICITA APERTURA PARA DESARROLLO DE TRABAJO A ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA ALEXIS GALARZA Y GANDHY PÉREZ

Señora Ingeniera
Mónica León
En su Despacho

De mi consideración:

En respuesta al Oficio Nro. 245 –RNR de fecha 14 de febrero de 2019 mediante el cual en su parte pertinente se solicita información de la población de San Miguel de Yahuarcocha, al respecto informo lo siguiente:

Esta dirección Distrital puede proporcionar información únicamente de carácter porcentual (población atendida) por lo que su solicitud será atendida; se requiere que el solicitante comparezca a esta Dirección Distrital a Estadística con el Lcdo. Edward Espinoza a fin de que le proporcione información únicamente de carácter porcentual.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Mgs. Diego Renan Buitron Rojas
DIRECTOR DISTRITAL 10D01 IBARRA, PIMAMPIRO, SAN MIGUEL DE URCUQUI -SALUD_10D01

Referencias:
- MSP-CZ1-10D01-VUAU-2019-0298-E

Anexos:
- ra_desarrollo_de_trabajo_a_estudiantes_de_la_universidad_técnica_alexis_galarza_y_gandhy_pérez.pdf

Copia:
Señor Licenciado
Edwar Guiovani Espinosa Borja
Responsable de Estadística y Análisis de la Información de Salud_10d01

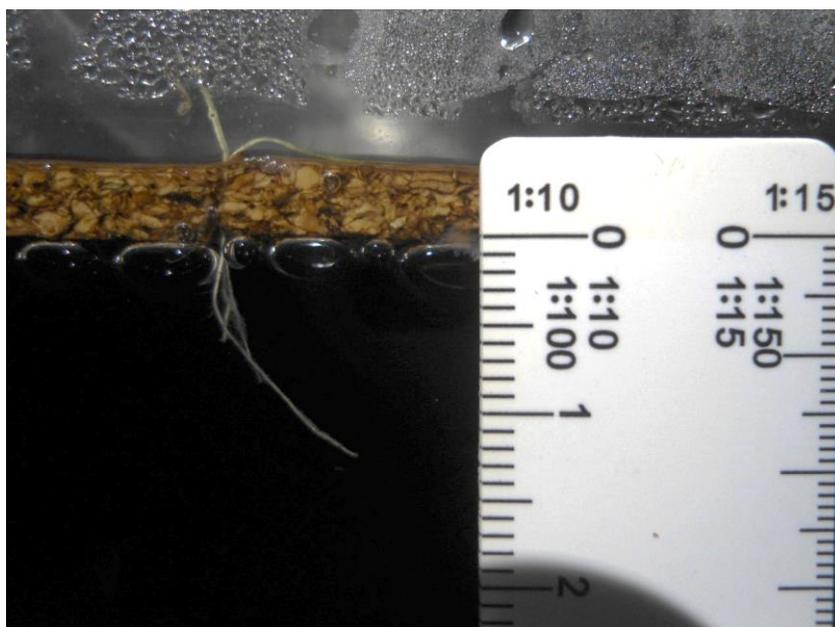
García Moreno 334 y Rocafuerte
Código Postal: 100105 Teléfono: 593 (6) 2957336 ext 111 • www.saludzona1.gob.ec

ANEXO: 4

Anexo 4a: Montaje de experimento.



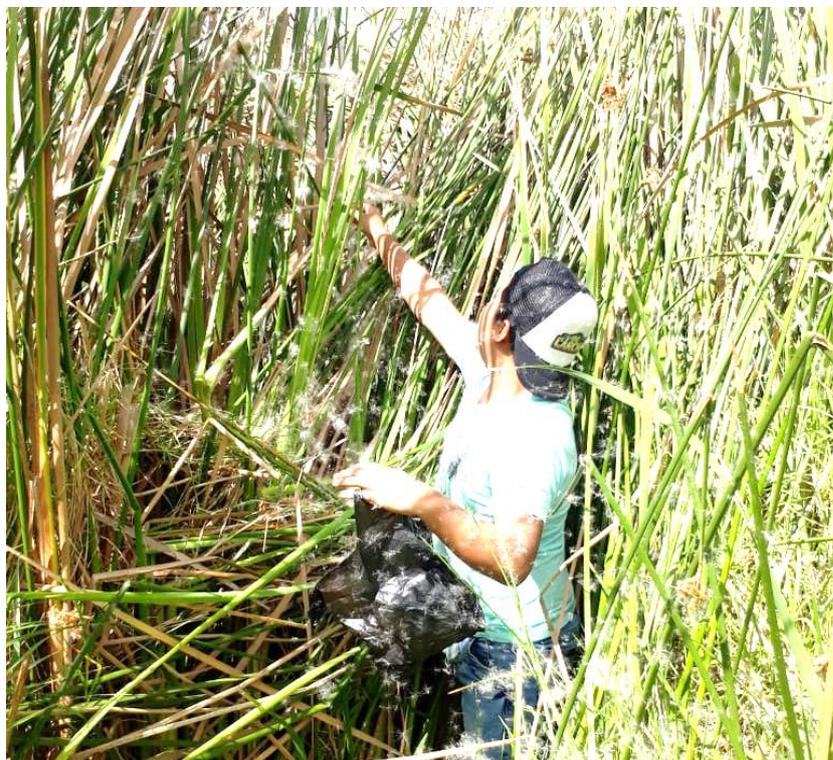
Anexo 4b: Crecimiento de *T. latifolia* en solución nutritiva estable Hoagland con concentraciones de metales pesados.



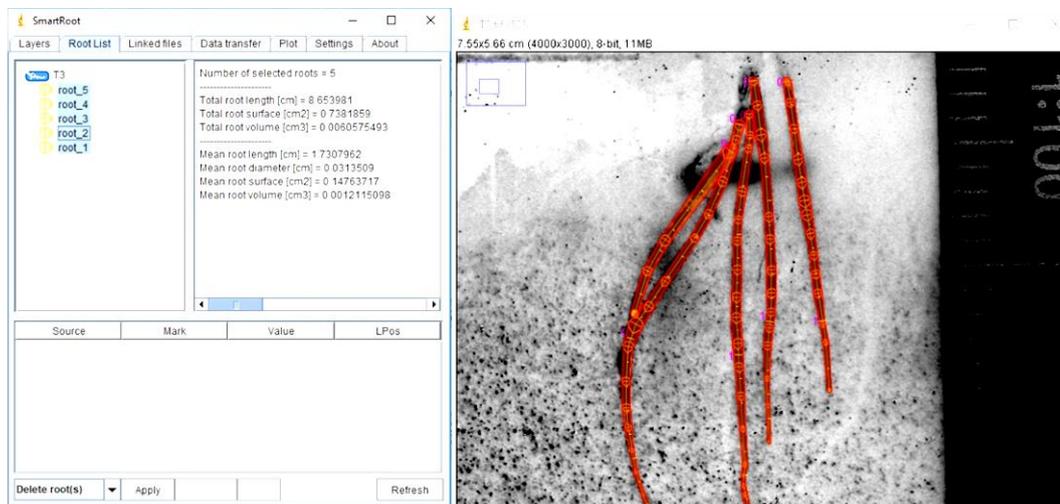
Anexo 4c: Soluciones buffer de concentraciones de Pb y Cr para experimento.



Anexo 4d: Colecta de semillas de *T. latifolia* para germinación.



Anexo 4e: Análisis de raíces con el plugin SmarthRoot en el software ImageJ.



ANEXO: 5

Anexo 5a: Informe de resultados de la Quebrada Hacienda Totoral.



INFORME DE RESULTADOS

INFLASA 26-07-19-03029
ORDEN DE TRABAJO No. 03407-19

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: OQUEUNDO ANDINO JORGE RENATO	DIRECCIÓN: PASAJE L. SN Y AUTOPISTA GENERAL RUMINAHUI	
TELÉFONO/FAX: 0969630919	TIPO DE MUESTRA: SEDIMENTO	PROCEDENCIA: QUEBRADA HACIENDA TOTORAL
IDENTIFICACIÓN: SEDIMENTO - NI	CODIGO INICIAL: MI	

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 16/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 16/07-26/07/19	FECHA DE ENTREGA: 26/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11470-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	CROMO TOTAL	mg/kg	2,19	N.A.	FEELASA FQ.68 EPA 7000 B
2	PLOMO	mg/kg	4,89	N.A.	FEELASA FQ.51 EPA 7000 B

N.A.: No Aplica

DR. MARCO GUIZARRO
GERENTE DEL LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador



Anexo 5b: Informe de resultados de la Quebrada del Predio Hidrobo.



INFORME DE RESULTADOS

INF LASA 26-07-19-03030
ORDEN DE TRABAJO No. 03407-19

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: OQUENDO ANDINO JORGE RENATO	DIRECCIÓN: PASAJE L SN Y AUTOPISTA GENERAL RUMINAHUI	
TELÉFONO/FAX: 0969630919	TIPO DE MUESTRA: SEDIMENTO	PROCEDENCIA: QUEBRADA DEL PREDIO HIDROBO
IDENTIFICACIÓN: SEDIMENTO - N2	CODIGO INICIAL: M2	

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 16/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 16/07-26/07/19	FECHA DE ENTREGA: 26/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Uno (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11471-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	CROMO TOTAL	mg/kg	3,20	N.A.	PEELASA.FQ.68 EPA 7000 B
2	PLOMO	mg/kg	4,89	N.A.	PEELASA.FQ.51 EPA 7000 B

N.A.: No Aplica

DR. MARCO GUARRO
GERENTE DEL LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Pág. 1 de 1

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador



Anexo 5c: Informe de resultados de la Quebrada Manzano Huayco.



INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA 26-07-19-03031
ORDEN DE TRABAJO No. 03407-19

DATOS DEL CLIENTE			
SOLICITADO POR: OQUEENDO ANDINO JORGE RENATO	DIRECCIÓN: PASAJE L SN Y AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI		
TELÉFONO/FAX: 0969630919	TIPO DE MUESTRA: SEDIMENTO	PROCEDENCIA: QUEBRADA MANZANO HUAYCO	
IDENTIFICACIÓN: SEDIMENTO - N3		CODIGO INICIAL: M3	

DATOS DEL LABORATORIO			
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 16/07/2019	
FECHA DE ANÁLISIS: 16/07-26/07/19	FECHA DE ENTREGA: 26/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)	
CÓDIGO DE MUESTRA: 11472-19		REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	CROMO TOTAL	mg/kg	3,52	N.A.	PEE LASA.FQ.68 EPA 7000 B
2	PLOMO	mg/kg	3,50	N.A.	PEE LASA.FQ.51 EPA 7000 B

N.A.: No Aplica


DR. MARCO QUIÑARRO
GERENTE DEL LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
Cuando se emitan certificaciones de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidabilidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador



Anexo 5d: Informe de resultados de la Quebrada Polo Golo.



INFORME DE RESULTADOS

INF-LASA 26-07-19-03032
ORDEN DE TRABAJO No. 03407-19

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: OQUEUNDO ANDINO JORGE RENATO	DIRECCIÓN: PASAJE I. SN Y AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI	
TELÉFONO/FAX: 0969630919	TIPO DE MUESTRA: SEDIMENTO	PROCEDENCIA: QUEBRADA POLO GOLO
IDENTIFICACIÓN: SEDIMENTO - N4		CODIGO INICIAL: M4

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 16/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 16/07-26/07/19	FECHA DE ENTREGA: 26/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11473-19		REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	CROMO TOTAL	mg/kg	3,32	N.A.	PEELASA FQ 68 EPA 7090 B
2	PLOMO	mg/kg	3,76	N.A.	PEELASA FQ 51 EPA 7090 B

N.A.: No Aplica

DR. MARCO CUDAJIRO
GERENTE DE LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
Cuando se emiten criterios de confiabilidad y aplican, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.
El laboratorio se compromete con la Integridad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469-814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador



Anexo 5e: Informe de resultados de la Entrada del río Tahuando.



INFORME DE RESULTADOS

INF LASA 26-07-19-0303
ORDEN DE TRABAJO No. 03407-19

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: OQUENDO ANDINO JORGE RENATO	DIRECCIÓN: PASAJE I. SN Y AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI	
TELÉFONO/FAX: 0969630919	TIPO DE MUESTRA: SEDIMENTO	PROCEDENCIA: ENTRADA DEL RÍO TAHUANDO
IDENTIFICACIÓN: SEDIMENTO - NS	CÓDIGO INICIAL: M5	

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 16/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 16/07-26/07/19	FECHA DE ENTREGA: 26/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11474-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	CROMO TOTAL	mg/kg	0,98	N.A.	PEE LASA FQ-68 EPA 7000 B
2	PLOMO	mg/kg	1,72	N.A.	PEE LASA FQ-51 EPA 7000 B

N.A.: No Aplica


DR. MARCO GUJARDO
GERENTE DEL LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociado al resultado y declarada por el método específico.
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (su aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador



Anexo 5f: Informe de resultados de la Salida del Lago Yahuarcocha.



INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA 26-07-19-03034
ORDEN DE TRABAJO No. 03-07-19

DATOS DEL CLIENTE			
SOLICITADO POR: OQUEANDO ANDINO JORGIE RENATO	DIRECCIÓN: PASAJE I. SN Y AUTOPISTA GENERAL RUMINAHUI		
TELÉFONO/FAX: 0999630919	TIPO DE MUESTRA: SEDIMENTO	PROCEDENCIA: SALIDA DEL LAGO	
IDENTIFICACIÓN: SEDIMENTO - N6	CÓDIGO INICIAL: M5		

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 16/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 16/07-26/07/19	FECHA DE ENTREGA: 26/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11475-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	CROMO TOTAL	mg/kg	1,77	N.A.	PPE.LASA.FQ.64 EPA 7000 B
2	PLOMO	mg/kg	2,16	N.A.	PPE.LASA.FQ.51 EPA 7000 B

N.A.: No Aplica

DR. MARCO QUIJARRO
GERENTE DE LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Pág. 1 de 1

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador

