

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**



TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y
CROMO ASOCIADOS A POBLACIONES DE *Typha latifolia* EN LA
LAGUNA DE YAHUARCOCHA, PROVINCIA DE IMBABURA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTORES: BENAVIDES VALENZUELA FERNANDA LIZBETH
MÉNDEZ PERUGACHI JOHANA PATRICIA**

DIRECTOR: Biol. Jorge Renato Oquendo Andino MSc.

Marzo, 2020

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

“DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y
CROMO ASOCIADOS A POBLACIONES DE *Typha latifolia* EN LA
LAGUNA DE YAHUARCOCHA, PROVINCIA DE IMBABURA”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención del título de:
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES APROBADA:

Biol. Renato Oquendo MSc.

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Melissa Layana, MSc.

ASESORA



FIRMA

Ing. Tania Oña, MSc.

ASESORA



FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

ASESORA



FIRMA

IBARRA - ECUADOR

MARZO, 2020



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, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	100364183-2	
APELLIDOS Y NOMBRES	Benavides Valenzuela Fernanda Lizbeth	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	Fernandabfer20@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0999249876

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	100397295-5	
APELLIDOS Y NOMBRES	Méndez Perugachi Johana Patricia	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	Patti_to93@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0967913231

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CROMO ASOCIADOS A POBLACIONES DE <i>Typha latifolia</i> EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA, PROVINCIA DE IMBABURA.
AUTORES:	Benavides Valenzuela Fernanda Lizbeth Méndez Perugachi Johana Patricia
FECHA:	6 de marzo del 2020


PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Biol. Renato Oquendo MSc.

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta 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 son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

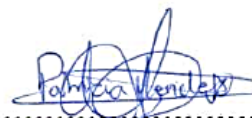
Ibarra, a los 6 días del mes de marzo del 2020

LOS AUTORES:



Benavides Valenzuela Fernanda Lizbeth

CI.: 100364183-2



Méndez Perugachi Johana Patricia

CI.: 100397295-5

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 6 de marzo del 2020

BENAVIDES VALENZUELA FERNANDA LIZBETH

MÉNDEZ PERUGACHI JOHANA PATRICIA

DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CROMO ASOCIADOS A POBLACIONES DE *Typha latifolia* EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA, PROVINCIA DE IMBABURA

TRABAJO DE GRADO

Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. Ec. 6 de marzo de 2020.

DIRECTOR: Biol. Renato Oquendo, MSc.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración de plomo y cromo en; suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de *Typha latifolia* en la Laguna Yahuarcocha, para elaborar lineamientos estratégicos de muestreo. Entre los objetivos específicos se buscó comparar las concentraciones de plomo y cromo en época seca y lluviosa, además la comparación con los Índices Eco toxicológicos y la Normativa Ecuatoriana Ambiental vigente, Estándares de Calidad Ambiental ECA y Agencia de Protección Ambiental Estado Unidense EPA.

Ibarra a los 6 días del mes de marzo de 2020

AUTORES

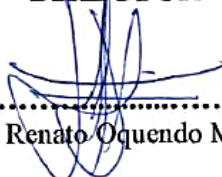


.....
Benavides Valenzuela Fernanda Lizbeth



.....
Méndez Perugachi Johana Patricia

DIRECTOR



.....
Biol. Renato Oquendo MSc.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas BENAVIDES VALENZUELA FERNANDA LIZBETH con cedula de identidad Nro. 100364183-2 y MÉNDEZ PERUGACHI JOHANA PATRICIA, con cédula de identidad Nro. 100397295-5, bajo mi supervisión en calidad de director.



Biol. Renato Oquendo MSc.
DIRECTOR

Ibarra, a los 6 días del mes de marzo de 2020

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios por guiar nuestro camino en este largo proceso de formación profesional y darnos la oportunidad de cumplir uno de nuestros principales objetivos.

Agradecemos a nuestra familia quienes han sido pilares fundamentales en nuestra vida, por su infinito amor y apoyo incondicional.

De igual forma agradecemos a nuestro director de Trabajo de Titulación Biol. Renato Oquendo MSc. por compartir sus conocimientos, brindarnos su total apoyo y paciencia durante el desarrollo de esta investigación.

Agradecemos a nuestros asesores Ing. Melissa Layana, MSc, Ing. Elizabeth Velarde, MSc, Ing. Tania Oña, MSc quienes, con sus observaciones, guía y ejemplo, permitieron el desarrollo de esta investigación.

Fernanda Benavides

Patricia Méndez

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por guiar mi camino, fortalecer mi corazón, darme sabiduría para afrontar mis obstáculos velar siempre por mi bienestar personal y haber despertado en mi ese deseo de superarme y culminar uno de mis sueños y rodearme de personas buenas que han sido un apoyo en este proceso

A mi abuelita Matilde Gutiérrez que siempre me bendice desde el cielo y a mis padres Patricio Méndez, María Perugachi, por el cual tengo absoluto respeto y admiración, por ser un ejemplo de superación y perseverancia, mi pilar principal para seguir esforzándome, gracias por brindarme todo el apoyo necesario para cumplir mis objetivos.

A mi corazón Robinson Morales y a mis bendiciones de Dios; mi pedacito de cielo Neymar y a mi bebé Mateo quienes alegran mi vida con solo una sonrisa, les amo gracias por formar parte de mi vida y ser un soporte en cada una de las adversidades, sin ustedes nada hubiera sido posible.

A mis hermanos, Angélica, Franklin, germánico y Wendy, mis compañeros de vida, a quienes aprecio mucho, les debo todo el apoyo que me brindaron y tengo presente todas nuestras vivencias que cada día compartimos.

A mis sobrinos Karla, Lisandro, Evita, Jesús, David, Chantal, Justin y a mi cuñado Oscar a quienes aprecio demasiado, con esto quiero demostrarles que los sueños se cumplen, sigan adelante y luchen por los anhelos de su corazón.

A toda mi familia y amigos que me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.

¡Lo logramos, misión cumplida!

Patricia Méndez

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios quien cada día me demuestra su gracia e infinito amor, estando bajo su voluntad el poder culminar con mis estudios, llenándome de sabiduría y fortaleza en todo momento.

A mis padres Marina Valenzuela y Carlos Benavides por todo el esfuerzo y trabajo dedicado en mí, por su amor incondicional y consejos no solo en esta etapa universitaria, sino a largo de mi vida. A mis hermanas Adriana y Jessica por estar siempre conmigo, ser ese apoyo constante, y un gran ejemplo en mi vida.

A mi sobrina Lupita quien llena de alegría mi hogar con sus inocentes ocurrencias, mi pequeña niña espero ser el ejemplo que necesitas y mereces en tu vida.

A mis amigos quienes han permanecido a mi lado dándome fuerza y ánimo en los momentos que más los necesité, gracias por brindarme su amistad incondicional, por sus regaños y consejos han sido los mejores amigos que he tenido.

A mis abuelos Ester y Manuel quienes desde el cielo me cuidan y me bendicen, han sido gran inspiración para culminar esta etapa de mi vida y lograr uno de mis principales objetivos. “Abuelita, ya rendí el examen final”.

¡Esto es por y para ustedes!

Fernanda Benavides

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte.....	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3 Pregunta(s) directriz (ces) de la investigación	4
CAPÍTULO II	4
2.1 Marco teórico	5
2.2 Marco legal.....	9
CAPÍTULO III.....	14
3.1 Descripción del área de estudio	14
3.5 Materiales y Equipos.....	16
3.2 Métodos.....	17
3.2.1 Establecimiento y recolección de sitios de muestreo en la zona de estudio.....	17
3.2.2 Lineamiento de recolección y procesamiento de las muestra de suelo.....	18
3.2.3 Lineamientos de recolección y procesamiento de las muestras en sedimentos	19
3.2.4 Lineamientos de recolección y procesamiento de las muestras en agua.....	19
3.3 Análisis de las muestras en suelo, sedimentos y agua en el laboratorio	20
3.3.1 Análisis de datos	22
3.4 Índices de polución basados en la toxicidad del metal.....	22
3.4.1 Riesgo Potencial Ecológico (RI).....	22
CAPÍTULO IV.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1 Establecimiento de lineamientos estratégicos para muestreo de suelo, sedimento y agua asociados a poblaciones de <i>Typha latifolia</i> en la Laguna Yahuarcocha	24
4.1.1.2 Lineamientos estratégicos de muestreo en agua de la Laguna	

Yahuarcocha Cantón Ibarra Provincia de Imbabura.....	25
4.1.1.3 Lineamientos estratégicos de muestreo en sedimentos de la Laguna Yahuarcocha Cantón Ibarra Provincia de Imbabura.....	30
4.1.1.4 Lineamientos estratégicos de muestreo en suelo de la Laguna Yahuarcocha Cantón Ibarra Provincia de Imbabura.....	34
4.2. Comparación de las concentraciones obtenidas de plomo y cromo en suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de <i>T. latifolia</i> , en época seca y lluviosa.....	40
4.2.2 Análisis Ombrotérmico de la Laguna Yahuarcocha	40
4.2.3 Concentración de metales en época seca y lluviosa en suelo.....	41
4.2.4 Concentración de metales en época seca y lluviosa por sitio en suelo.....	42
4.2.5 Concentración de metales en época seca y lluviosa en sedimento.....	44
4.2.6 Concentración de metales en época seca y lluviosa por sitio en sedimento	45
4.2.7 Datos obtenidos en época seca y época lluviosa en agua.....	47
4.2.8 Concentración de metales en época seca y época lluviosa por sitio en agua.....	48
4.3. Comparaciones de los Índices Ecotoxicológicos de Peligrosidad en suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de <i>Typha latifolia</i> con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 061, ECA y EPA.....	51
4.3.1 Categorización del Riesgo Potencial Ecológico (RI) para suelo y sedimentos asociados a poblaciones <i>Typha latifolia</i>	51
4.3.2. Comparación de resultados de cromo y plomo en suelo, sedimentos y agua con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 061, ECA y EPA.....	53
CAPÍTULO V	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS	59
ANEXOS DE TABLAS.....	66
ANEXOS FOTOGRÁFICOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Páginas
Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	14
Figura 2. Mapa base de sitios de muestreo.....	25
Figura 3. Muestreo en áreas de forma irregular.....	17
Figura 4. a) Secado de muestras en horno. b) Triturado de muestras de suelo y sedimento.....	21
Figura 5. a) Pesaje de muestras. b) Preparación de las muestras en tambor para digestión acida.	21
Figura 6. a) Muestras aforadas en balones de 100 ml. b) Ubicación de muestras en autosampler para el análisis.	22
Figura 7. Mapa base de sitios de muestreo.....	25
Figura 8. Mapa base de sitios de muestreo.....	34
Figura 9. Mapa base de sitios de muestreo.....	25
Figura 10. Diagrama ombrotérmico.	40
Figura 11. Concentración de plomo en época seca y lluviosa.	41
Figura 12. Concentración de cromo en época seca y lluviosa.	42
Figura 13. Concentración de cromo en época seca y lluviosa en suelo.....	43
Figura 14. Concentración de plomo en época seca y lluviosa en suelo.....	44
Figura 15. Concentración de plomo en época seca y lluviosa.	45
Figura 16. Concentración de cromo en época seca y lluviosa.	45
Figura 17. Concentración de cromo en época seca y lluviosa en sedimento.....	46
Figura 18. Concentración de plomo en época seca y lluviosa en sedimento.....	47
Figura 19. Concentración de plomo en época seca y lluviosa.	48
Figura 20. Concentración de cromo en época seca y lluviosa.	48
Figura 21. Concentración de cromo en época seca y lluviosa en agua.....	49
Figura 22. Concentración de plomo en época seca y lluviosa en agua.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Páginas
Tabla 1. Descripción taxonómica de <i>Typha latifolia</i>	8
Tabla 2. Características generales de la Laguna Yahuarcocha.	15
Tabla 3. Materiales y equipos.	16
Tabla 4. Índices Eco toxicológicos en sedimento.....	51
Tabla 5. Índices Eco toxicológicos en suelo.....	52
Tabla 6. Comparación de resultados de Cr y Pb en agua.....	53
Tabla 7. Comparación de resultados de Cr y Pb en sedimentos.	55
Tabla 8. Comparación de resultados de Cr y Pb en suelo.....	55

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

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CROMO
EN NICHOS ASOCIADOS A *Typha latifolia* EN LA LAGUNA DE
YAHUARCOCHA

Proyecto de Trabajo de Grado

Benavides Valenzuela Fernanda Lizbeth

Méndez Perugachi Johana Patricia

RESUMEN

Los metales pesados se encuentran entre los contaminantes ambientales más significativos, debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas acuáticos. En la presente investigación se evaluó la concentración de cromo y plomo en suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de *Typha latifolia* en la Laguna Yahuarcocha en época seca y lluviosa. El muestreo se realizó en cinco puntos con tres repeticiones cada uno, ubicados en: 1) planta de tratamiento, 2) pista pequeña, 3) estación de bomberos, 4) junto a los kayak, 5) salida de la laguna. Se realizaron dos muestreos, se aplicó RI en sedimentos y suelo obteniendo como resultado que la concentración de plomo y cromo se categoriza dentro del rango de baja toxicidad con un valor de (RI < 150). Al comparar las concentraciones en sedimentos con ISQG y PEL se determinó que plomo superó en las dos épocas los estándares permisibles, con un valor de (133,09ppm) en época seca y (93,18ppm) en época lluviosa, mientras que cromo no superó el valor en ninguna de las dos épocas. En base a la comparación de concentraciones de cromo y plomo en suelo, resultó que plomo superó en época seca y lluviosa a la Normativa Ecuatoriana, más no a ECA. Por otro lado la concentración de cromo superó a los límites establecidos por ECA. En el caso de la comparación de cromo y plomo en agua se comprobó que los metales en estudio no superan los valores establecidos en ninguna época. Finalmente, se establecieron lineamientos de muestreo en agua, suelo y sedimentos lo cual constituirá una herramienta útil para muestreos posteriores en otros cuerpos de agua.

Palabras claves: ECA (Estándares de Calidad Ambiental), EPA (Environmental

Protection Agency), ISQG (Interin Sediment Quality Guidelines), Laguna Yahuarcocha, metales pesados, PEL (Probable Effect Level), RI (Riesgo Potencial Ecológico).

ABSTRACT

Heavy metals are among the most significant environmental pollutants, due to their toxicity and tendency to accumulate in aquatic systems. In the present investigation the concentration of chromium and lead in soil, sediments and water associated to populations of *Typha latifolia* in the Yahuarcocha lake in dry and rainy season was evaluated. The sampling was carried out in five points with three repetitions each, located in: 1) treatment plant, 2) small track, 3) fire station, 4) next to the kayaks, 5) exit of lake. Two samples were taken, RI was applied in sediments and soil, obtaining like a result that concentration of lead and chromium is categorized within the range of low toxicity with a value of (IR <150). When comparing the sediment concentrations with ISQG and PEL, it was determined that lead exceeded the permissible standards in both seasons, with a value of (133.09ppm) in the dry season and (93.18ppm) in the rainy season, while chromium didn't exceed the value at any of the two times. Based on the comparison of concentrations of chromium and lead in soil, it turned out that lead exceeded Ecuadorian regulations in the dry and rainy season, but not ECA. On the other hand the concentration of chromium exceeded the limits established by ECA. In the case of comparison of chromium and lead in water, it was found that the metals under study don't exceed the values established at any time. Finally, sampling guidelines were established in water, soil and sediments which will be a useful tool for subsequent sampling in other lakes.

Keywords: ECA (Environmental Quality Standards), EPA (Environmental Protection Agency), ISQG (Interim Sediment Quality Guidelines), Yahuarcocha lake, heavy metals, PEL (Probable Effect Level), RI (Ecological Potential Risk).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte

Los ecosistemas acuáticos comprenden una amplia diversidad desde océanos, mares, estuarios, manglares, pantanos, lagos, lagunas, embalses; hasta ríos y arroyos en los que el movimiento de las aguas se manifiesta de forma unidireccional desde las partes altas hacia las bajas (Álvares, Catalán, y García de Jalón, 2001). La modificación de estos ecosistemas y la alteración del agua que escurre a ellos, ocasionada por las diversas actividades humanas que han afectado a los ecosistemas, lo que genera la reducción o aumento de los nutrientes, sedimentos y contaminantes; teniendo efectos en los patrones de movimiento y circulación de las aguas (Escobar, 2002).

A nivel mundial, el ser humano ha sido el causante de las preocupaciones ambientales contemporáneas asociadas con la contaminación por metales pesados en los diferentes sistemas lacustres, por lo que la humanidad ha despertado un gran interés por estudiar los cuerpos de agua dulce (Smol, 2008). En Sudamérica los sistemas acuáticos enfrentan serios problemas de contaminación. Estos ecosistemas son sumamente frágiles y han sufrido transformaciones muy notables, por el vertido de los desechos domésticos, rurales e industriales los cuales contienen diversos contaminantes, entre los que se destaca los metales pesados (Ayala, 2012).

Ecuador se caracteriza por contar con lagos de gran importancia tanto en páramos alto andinos como en los valles interandinos, los mismos que proveen de diferentes beneficios ecosistémicos y económicos a la sociedad; como es el caso de la Laguna Yahuarcocha que cuentan con su belleza escénica, importante para la actividad turística, alta diversidad y provisión de hábitat acuático para las especies de la zona (Casallas y Gunkel, 2001; Kiersch, 2004). Sin embargo, existen sectores colindantes que presentan contaminación por metales pesados que conllevan a declarar dichas zonas como ambientalmente inseguras, ocasionando malestar e

inseguridad alimentaria en la población afectada (Pérez, 2015).

Imbabura una provincia conocida por la gran cantidad de lagos y lagunas presentes en su territorio los mismos que son los principales atractivos turísticos y que en los últimos años ha presentado graves problemas de emergencias ambientales reportadas por el colapso de los cuerpos de agua dulces existentes en el territorio (Fonseca, 2016). Estos problemas ambientales se dan por el aumento de la contaminación de los cuerpos hídricos, sedimentos y suelo lo que hace que se torne más notorio año tras año debido al incremento de la población y por consiguiente al aumento de las actividades antrópicas cercanas. Según Campaña y Nieto, (2011) el agua y el suelo son recursos necesarios para la vida en el planeta, es por esto que el deterioro de la calidad de los mismos es un fenómeno social, económico y ambiental que se presenta como uno de los obstáculos para el desarrollo de las actividades básicas del ser humano.

Los metales pueden presentarse en diferentes formas simultáneamente, los cuales se manifiestan según las condiciones ambientales. Es por todo esto, que el conocimiento de los metales puede ser útil para valorar la retención de los mismos en suelo, sedimentos y agua además la facilidad con la que pueden ser liberados (Galán, 2003). Los metales pesados como el plomo, cromo y mercurio son considerados como contaminantes peligrosos por su toxicidad y su capacidad de acumulación en los seres bióticos al no ser biodegradables tras su ingestión. La contaminación del agua por plomo por ejemplo se debe principalmente a efluentes industriales no tratados, que en general provienen de fábricas que trabajan con Tetraetilo de plomo, pinturas, baterías, municiones, cerámicas de vidrio o minería (Covarrubias, 2016).

De la misma manera el cromo se encuentra acumulado en el ambiente a partir de distintas fuentes (naturales o antropogénicas), puede verse transferido de unos compartimentos a otros del ecosistema: aire, aguas superficiales, sedimentos, aguas subterráneas, suelo y seres vivos. El vertido incontrolado de cromo al ambiente se genera, principalmente, porque la mayor parte de los sistemas colectores de aguas residuales no posibilitan la separación de efluentes urbanos e industriales, de modo

que las aguas residuales de las zonas urbanas con polígonos industriales son siempre de tipo mixto. Se ha reportado a nivel alimenticio principalmente, intoxicación con este metal a causa del uso de cerámica vidriada fabricada con esmalte a base de óxido de plomo, donde por efecto de la temperatura la concentración de plomo en los alimentos ha incrementado de forma significativa según Arnaud y Rojas, (2009).

Es por eso que la contaminación por metales pesados representa un peligro para el ambiente por su alta toxicidad, difícil degradación y su capacidad de migración que amplía su impacto, siendo estos muy difíciles de eliminar del medio. Dentro de nuestro país en la Provincia de Imbabura, Cantón Otavalo se evaluó el contenido de metales pesados en los sedimentos del Lago San Pablo, donde se registraron concentraciones elevadas de cadmio y plomo en valores que superan los límites permisibles de la Norma Legal, categorizándose como peligroso según el índice ecotoxicológico. La presencia de metales en el Lago San Pablo se debe en su mayoría a las actividades antropogénicas que se realizan en los alrededores de la zona de origen industrial y doméstico (Liang, Yang, Dai y Pang, 2011).

En base a esto se puede indicar que el incremento del contenido de metales pesados se da por las descargas de agua residual provenientes de las actividades antropogénicas cercanas a la zona y que afectan directamente al suelo, sedimentos y agua (Mera, 2016). En el caso de Ibarra, la contaminación de la Laguna Yahuarcocha se ha convertido en un problema visible y cotidiano, las actividades antrópicas y las aguas servidas arrojadas son las principales fuentes de contaminación. Por ende, la presente investigación busca determinar la concentración de plomo y cromo en suelo, sedimentos y agua en poblaciones de *Typha latifolia* en el sistema lacustre Yahuarcocha. Es por esto que la presente investigación está enmarcada en el Objetivo 3 Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021) Toda una Vida que menciona. “*Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.*” Cabe mencionar que el alcance de esta evaluación nos permitirá a largo plazo remediar los cuerpos de agua afectados por las descargas contaminadas por metales pesados (Herrera, 2003).

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la concentración de plomo y cromo en; suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de *Typha latifolia* en la Laguna Yahuarcocha.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer lineamientos estratégicos de muestreo de suelo, sedimento y agua asociados a *Typha latifolia* en la Laguna Yahuarcocha.
- Comparar las concentraciones obtenidas de plomo y cromo en suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de *Typha latifolia*, en época seca y lluviosa.
- Comparar los índices ecotoxicológicos de peligrosidad en suelo, sedimentos y agua asociados a *Typha latifolia* con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 061, ECA y EPA.

1.3 Pregunta(s) directriz (ces) de la investigación

¿Cuál es la concentración de metales pesados plomo y cromo que existe en los suelos, agua y sedimentos asociados a *Typha latifolia* en el sistema lacustre Yahuarcocha de la Provincia de Imbabura?

¿Los índices eco toxicológicos evaluados en plomo y cromo en la Laguna Yahuarcocha rebasan los límites máximos permisibles?

CAPÍTULO II

2.1 Marco teórico

El estudio de la presencia de metales pesados en agua, sedimentos y suelo constituye un aporte a la información ambiental lo que contribuirá a un futuro diagnóstico y por lo tanto a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental. Los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales (Contreras, 2004). Los orígenes de estos compuestos tóxicos son muy diversos, la contaminación en los sistemas acuáticos sucede cuando se introducen sustancias que causan efectos tales como; daño a la salud, recursos naturales, restricción de actividades acuáticas y deterioro de la calidad de lagunas. La contaminación en los cuerpos de agua dulce se produce principalmente por la presencia de elementos o compuestos que habitualmente no estarían sin la acción humana, algunas de las sustancias químicas potencialmente más tóxicas son los metales pesados, entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. Por ende al estar en contacto con el agua son arrastrados hasta llegar a los sedimentos los cuales actúan como depósito o fuente de contaminación para el ecosistema (Brald, 2005).

Según Connell y Miller (2005), la participación de metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes; de origen natural siendo una de las principales fuentes los polvos derivados de las actividades volcánicas, la erosión de rocas y suelos, el humo de incendios forestales y finalmente los aerosoles y las partículas de superficies oceánicas. Sin embargo, el mayor aporte de metales pesados es de origen antropogénico procedentes de la intervención en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados (Callender, 2003). Las principales fuentes antropogénicas incluyen las actividades agrícolas, los desechos químicos, el uso de fertilizantes, pesticidas, pintura esmaltada, desechos de animales y descargas de aguas residuales (Bradl, 2005).

Entre las actividades más relevantes se encuentran las operaciones industriales como son las fundiciones, fábricas, y las actividades antrópicas. También están algunas de las actividades que generan aguas residuales contaminadas por metales pesados. Estas fuentes son clasificadas como focos puntuales de contaminación,

aunque el escurrimiento de estos factores es considerado como una fuente difusa (Laubstein, 2010).

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales en los sedimentos. Según su forma de asociación los metales son susceptibles durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales (estiaje, crecida etc.). La desoxigenación de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase sólida, produciendo así, la disminución de la concentración de Fe y Mn en el sedimento. La reducción de estos elementos puede ocasionar la solubilidad de ciertos metales adsorbidos en el sedimento como el Zn, Cr y Ni (Falaki, 2004).

Estos metales son almacenados en los sedimentos bajo condiciones determinadas, y en caso de alteración de las condiciones físico-químicas en el sistema es posible que los metales sean liberados y produzcan un impacto ambiental. Cabe destacar que, en el caso de los impactos producidos por actividades antrópicas, una de las principales fuentes de contaminación por metales está en forma de sólidos en suspensión, que acabarán depositándose en los sedimentos de los lagos (Vaithyanathan, 1993). En los últimos años, se han publicado diversos estudios sobre metales acumulados en sedimentos y sus posibles efectos ecológicos. En este sentido se señala la necesidad de medir la disponibilidad y la movilidad de los metales en las muestras para entender su comportamiento y prevenir peligros tóxicos (Gismera, Lacala, Da Silvae, García, Sevilla y Procopio, 2004).

Por consiguiente plomo y cromo ya sea de diferente origen pueden contaminar un cuerpo de agua, en su mayoría pueden provenir de residuos de aceites vehiculares reutilizados, partículas de pintura esmaltada, suelo contaminado o lixiviados que provengan de actividades industriales. Los tratamientos para remover plomo y cromo del agua contaminada pueden ser físicos, químicos o biológicos. Los primeros presentan desventajas principalmente por la relación costo-efectividad y la generación de subproductos peligrosos. Por su parte los métodos biológicos superan en cierta forma estos inconvenientes, siendo de más fácil operación, con mayor eficiencia y sin producir contaminación secundaria. Además pueden ser

aplicados “*in situ*” y trabajan con la intervención de organismos, que consiguen minimizar los efectos negativos ocasionados por metales pesados. Así por ejemplo, se tiene los microorganismos (en biorremediación microbiológica y la acción de las plantas en fitorremediación). Los cuales propician la auto recuperación del recurso afectado (López, 2011).

2.1.2 Generalidades de *Typha latifolia*

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

Todas las Eneas son plantas monoicas. En ellas las flores se agrupan densamente en inflorescencias unisexuales, botánicamente son del tipo espiga compuesta–diferenciadas, que se sitúan muy próximas entre sí en el extremo del escapo floral; la inflorescencia masculina en la parte más apical del escapo floral, y la inflorescencia femenina por debajo de la masculina, pudiendo estar ambas inflorescencias prácticamente seguidas una de la otra, o estar separadas por un espacio axial de varios centímetros (Grace y Harrinson, 1986).

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

2.1.3 *Typha latifolia*

Es una planta robusta, que alcanza más de 2 m de altura. La vaina de la hoja esta normalmente abierta en el extremo superior más próximo a la lámina, y se observan aurículas. En la cara interna de la vaina foliar no se observan a simple vista glándulas mucilaginosas oscuras. La lámina de la hoja es de color verde- grisáceo pálido, y tiene unos 8-20 mm de anchura. En el tallo floral las inflorescencias femenina y masculina están muy próximas entre sí (0-2.5cm entre sí). La femenina es de color marrón muy oscuro, larga (8-15 cm de longitud) y bastante gruesa (2-3 cm de diámetro). En esta especie, los pelos que acompañan a la flor femenina salen a partir de una cierta longitud (1mm) del pie del gineceo; no tiene escamas estériles (De Carvalho, et al, 2014).

Tabla 1. Descripción taxonómica de *T. latifolia*

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Typhales
Familia:	Typhaceae
Genero:	<i>Typha</i>
Especie:	<i>T. latifolia</i>

Fuente: De Carvalho, et al (2014).

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas las Eneas son de aplicabilidad muy extensa. Pueden aplicarse en sistemas de flujo superficial, aprovechando su condición de halófito, en flujo sub-superficial, como plantas arraigadas en la grava, y en sistemas acuáticos en flotación inducida, optimizando el papel filtrante de su sistema radicular. Varias especies de micrófitos acuáticas, que habitan en los ecosistemas lacustres poseen gran potencial, como fitorremediadoras (Tello, Salvatierra y Pérez, 2015). Especialmente aquellas consideradas hiperacumuladoras de metales pesados (Rodríguez, Zafra y Balda, 2004), siendo un gran número de ellas usadas frecuentemente en tratamientos secundarios y terciarios de aguas residuales (Valero, 2006). Entre las micrófitos acuáticas con capacidad hiperacumuladora de metales pesados, se puede mencionar especies como *Salvinia natans* (Flores y Cotes, 2006) y *Typha latifolia* (Oquendo, 2016), entre otras, gracias a su capacidad hiperacumuladora, es relevante la

presencia de esta especie entre las macrófitas inventariadas en la Laguna Yahuarcocha (Pabón, 2015). Los resultados de diferentes experiencias indican que, en comparación con otras plantas utilizadas para tratamiento de aguas (*Scirpus validus* y *Juncus effusus*, entre otras) las eneas son las plantas más eficaces para la fitodepuración (Mora, 2009).

Existen investigaciones realizadas en países de América Latina como Colombia que se investigó sobre la Fitorremediación como la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos, elaborada por Agudelo, Macias, Suárez, (2005). A nivel nacional existen varios trabajos de investigación que han sido ejecutados por las universidades como por ejemplo: En la Universidad Técnica de Ambato: Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación “El Peral”, Emapa-Ambato (Fiallos, 2011). Fitorremediación de las aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo. Salcedo–Cotopaxi (Pozo, 2012) y Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la Planta de Tratamiento “El Peral” EP-Emapa Ambato (Viteri, 2013).

2.2 Marco legal

Proporciona las bases sobre las cuales las instituciones construyen y determinan el alcance y naturaleza de la participación política. El marco legal de una elección, y especialmente los temas relacionados con la integridad de la misma, regularmente se encuentran en un buen número de provisiones regulatorias y leyes interrelacionadas entre sí.

2.2.1 Constitución del Ecuador 2008

De acuerdo a las leyes que rigen la República del Ecuador inscritas en su constitución vigente desde al año 2008, se expide un sin número de artículos que consideran a la naturaleza como un ente con derechos, estas leyes promueven la protección y restauración del ambiente en favor de procesos de desarrollo

sustentable y sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables de la nación. De igual manera, declara de interés público la preservación del ambiente y la prevención del daño ambiental, establece el derecho de la naturaleza a la restauración, establece que es responsabilidad de todos respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas, además de la sanción correspondiente. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

Constituye en la actualidad la norma más importante del país en materia ambiental, pues ésta ayuda a regular aquellos temas necesarios para una gestión ambiental adecuada. Además aborda temas como cambio climático, áreas protegidas, vida silvestre, patrimonio forestal, calidad ambiental, gestión de residuos, incentivos ambientales, zona marino costera, manglares, acceso a recursos genéticos, bioseguridad, biocomercio, etc.

Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o *sumak kawsay*. Los deberes comunes del Estado y las personas son, respetar los derechos de la naturaleza y utilizar los recursos naturales, los bienes tangibles e intangibles asociados a ellos, de modo racional y sostenible; sin perjuicio de otras establecidas por la Constitución y la ley, las responsabilidades ambientales del Estado son; promover la cooperación internacional entre países, organizaciones internacionales, organizaciones no gubernamentales y demás sujetos de derecho en el orden internacional, con medidas concretas en materia de protección de derechos de la naturaleza y gestión ambiental. El Estado, las personas naturales, así como los pueblos y nacionalidades, tendrán la obligación jurídica de responder por los daños o impactos ambientales que hayan causado, de conformidad con las normas y los principios ambientales establecidos en este Código. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas corresponde también a los Gobiernos Autónomos Descentralizados

Provinciales controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción. Ante la amenaza inminente de daños ambientales, el operador de proyectos, obras o actividades deberá adoptar de forma inmediata las medidas que prevengan y eviten la ocurrencia de dichos daños. Cuando los daños ambientales hayan ocurrido, el operador responsable deberá adoptar sin demora las siguientes medidas en este orden:

1. Contingencia, mitigación y corrección.
2. Remediación y restauración.
3. Compensación e indemnización.
4. Seguimiento y evaluación.

2.2.3 Tratado Unificado de Legislación Ambiental, TULSMA (Acuerdo Ministerial 061)

Establece límites sobre la presencia de uno o más contaminantes o la combinación de ellos, en el ambiente en concentraciones tales y con un tiempo de permanencia tal, que causen en estas condiciones negativas para la salud humana, el bienestar de los ecosistemas o que produzcan deterioro en el hábitat de los seres vivos, el aire, el agua, los suelos y los recursos naturales en general.

2.2.3.1 Normas sobre Límites Máximos Permisibles Acuerdo 097A

Establece los límites permisibles de contaminantes en aguas, considerando cianuros y metales pesados como: arsénico, cadmio, cobre, plomo, cromo, mercurio, etc. A continuación, se presenta una tabla con los parámetros permitidos para los diferentes metales, Anexo 1.

2.2.4 Normas Técnicas ECA

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Artículo 2º.- Ámbito de Aplicación

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia, Anexo 2.

2.2.5 Normas Técnicas EPA

Son estándares de concentraciones de metales pesados aplicables para suelo y sedimento a nivel mundial que nos dan referencia de un límite en dichos factores, los cuales fueron tomados como referencia para el presente estudio, Anexo 3.

2.2.6 Aspectos legales de contenido en metales para suelos y sedimentos

En el (Anexo 4) se muestran valores máximos de metales en suelos planteados por el Ministerio del Ambiente de Ecuador. En cuanto a sedimentos, no existen límites máximos para concentraciones de metales. En el (Anexo 5) se encuentra detallados los valores permisibles de concentración de metales en suelo dentro de la normativa EPA. Los valores de los índices ISQG y PEL de la concentración de metales en sedimento se encuentran en detalle en el Anexo 6.

2.2.7 Plan Nacional del Buen Vivir 2017 - 2021

El plan fue elaborado por la (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo) SENPLADES, el cual plantea nuevos retos orientados hacia la materialización y radicalización del proyecto de cambio de la revolución ciudadana (SENPLADES, 2017). Los objetivos que se enmarcan dentro de la presente investigación son los siguientes:

Objetivo 3

Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Política 3.1

Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental, insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.

Política 3.4

Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.

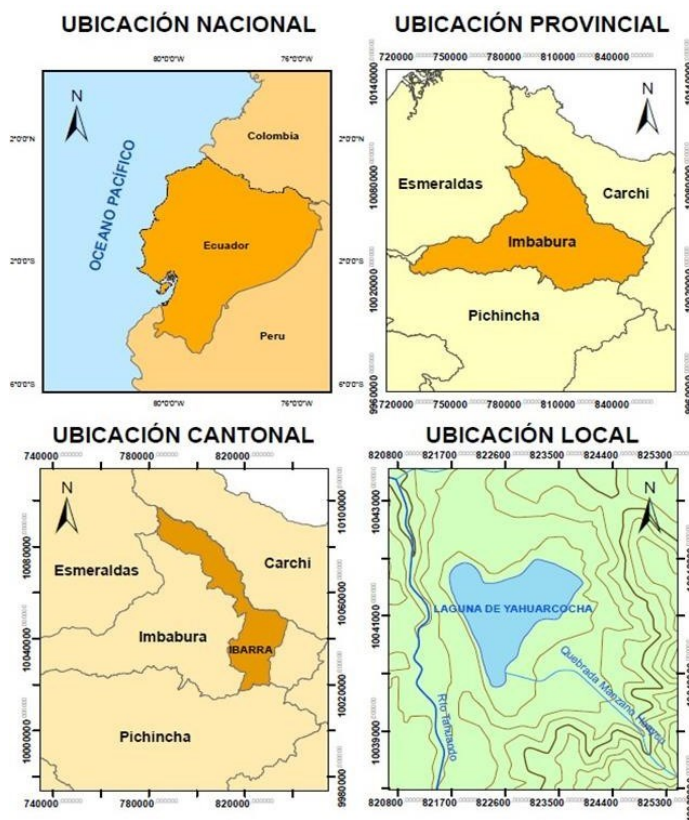
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La Laguna Yahuarcocha se encuentra ubicada al Norte del Ecuador en la Provincia de Imbabura, situado en los extremos orientales de la Cordillera de los Andes a unos 3 kilómetros al noroeste del Cantón Ibarra. Se localiza geográficamente en las siguientes coordenadas 00°22'300 N y 78°06'100 O (Figura 1).

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



En la parte alta de la micro cuenca de la Laguna Yahuarcocha, cuenta con Bosque Muy húmedo Montano y en las zonas bajas con Bosque Seco Montano Bajo. Además consta de tres tipos de clima: ecuatorial meso térmico semi húmedo, ecuatorial frío semi húmedo y ecuatorial frío húmedo; se ha determinado que existen tres meses ecológicamente secos que van desde junio hasta mediados de agosto y tres meses de lluvia que va desde marzo hasta mayo (Pabón, Reascos, Yépez, Oña, Velarde, Vásquez y Molina, 2012).

La Laguna Yahuarcocha tiene forma alargada y se alimenta de forma natural por medio del escurrimiento proveniente de las precipitaciones. Además, posee entradas principales que son: las Quebradas de Manzana Huayco-Santo Domingo, Polo Golo y San Antonio, el cual posee un régimen hídrico intermitente y se vacía en la época seca de la laguna; y de forma artificial por medio del Río Tahuando (Maridueña et al, 2011). El suelo varía desde limoso a limo-arenoso, con presencia de arenas muy finas y suelos derivados de cenizas volcánicas. Presenta vegetación cultivada como maíz en los terrenos aledaños y la vegetación nativa con plantas acuáticas sumergidas emergentes y flotantes (Erazo y Jaramillo, 2005). También, es uno de los principales atractivos turísticos dentro del Cantón Ibarra, lo cual ha llevado a que se convierta en un espacio vulnerable para el proceso de eutrofización causado por los diferentes residuos sólidos y líquidos vertidos a la laguna; este aumento excesivo de nutrientes causan efectos negativos para el lago y la salud de la población (Moreta, 2008). Según Pabón et al (2012), estudios realizados en la microcuenca de la Laguna Yahuarcocha ofrecen datos morfológicos, los cuales se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Características generales de la Laguna Yahuarcocha.

PARÁMETRO	YAHUARCOCHA
Altitud	2200 m.
Altitud máxima	3750 msnm
Temperatura máxima	25 °C
Temperatura mínima	5 °C
Precipitación anual	750 mm
Área	25,07 km ²
Área de la laguna	2,61 m ²
Perímetro	26,96 km
Área urbana	6,07 %
Plantaciones	1,86%
Área agrícola	23,64%
Páramo	1,64%
Profundidad de la laguna	7.93 m.

Fuente: Pabón, 2012; Blomme, 2013.

Según Blomme (2013), en el área que comprende la Laguna Yahuarcocha existen una gran cantidad de plantas acuáticas que cumplen un rol importante de depuración del ecosistema lacustre. Entre las más importantes tenemos; *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia*, *Arundo donax*, *Egeria densa*,

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

3.5 Materiales y Equipos

Los materiales utilizados en el desarrollo de la presente investigación se clasificaron en tres partes: materiales, equipos y recurso humano.

Tabla 3. Materiales y equipos.

Materiales.	Equipos	Recurso Humano
<ul style="list-style-type: none"> ● Fichas de campo ● Software ArcGIS 10.2 ● Traje de neopreno ● Guates quirúrgicos, botas y ropa impermeable. ● Sellos, etiquetas, cinta adhesiva. ● Frascos de plástico 1L ● Frascos de 100mililitros ● Fundas plásticas ● Contenedor para Muestras ● Vaso de Precipitación ● Agua destilada ● Pipeta 	<ul style="list-style-type: none"> ● Computadora Portátil ● Impresora Epson L210 ● GPS Garmin 62SC ● Cámara Fotográfica ● Cámara ● Vehículo ● Espectrofotómetro 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tesista ● Director ● Asesores ● Pasantes

3.2 Métodos

El presente trabajo de titulación para la determinación de la concentración por metales pesados en suelo, sedimentos y agua cercanas a nichos asociados a *Typha latifolia* comprende de las siguientes fases, las que serán descritas a continuación:

3.2.1 Establecimiento y recolección de sitios de muestreo en la zona de estudio

La identificación de las poblaciones de *Typha latifolia* y la elección de los puntos de muestreo se lo realizaron en la época seca y lluviosa. Las salidas de campo fueron en el mes de septiembre del 2018 y abril del 2019, en las cuales se hizo un recorrido alrededor del espejo de agua, para identificar los puntos de muestreo y georreferenciar para posteriormente realizar el mapa con sus respectivas ubicaciones. En esta investigación se efectuó un muestreo en zig-zag. Según MINAM (2014), el muestreo para áreas de contaminación de forma irregular menores a 1000 metros cuadrados y hasta 5000 metros cuadrados, fue de una muestra por cada 25 a 45 centímetros lineales en las paredes del perímetro del área excavada y entre uno y dos metros desde donde se encontraba ubicada la planta de *Typha latifolia*.

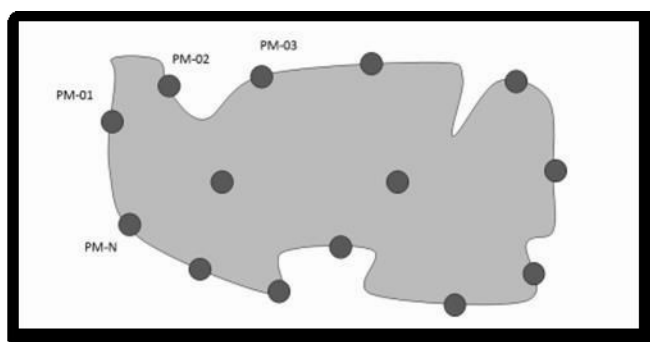


Figura 3. Muestreo en áreas de forma irregular
Fuente: MINAM, 2014.

El número de repeticiones a recolectarse fueron tres por cada sitio de muestreo, un total de 90 muestras, 45 en septiembre del 2018 época seca y 45 en abril del 2019 época lluviosa, de las cuales se dividen 15 en suelo, 15 en sedimento y 15 en agua, pero cabe mencionar que para el análisis del laboratorio se hizo una repetición

adicional en cada una de las muestras anteriormente mencionadas, obteniendo un total de 180 repeticiones. Las muestras recolectadas fueron procesadas para la determinación de la concentración de plomo y cromo. Debido a esto, los sitios de muestreo fueron georreferenciados y ubicados en un mapa base de la Laguna Yahuarcocha, tomando en cuenta las poblaciones más representativas en el cuerpo lacustre. La georreferenciación y los sitios de muestreo se observan a continuación en la figura 2.



Figura 2. Mapa base de sitios de muestreo

Las muestras al momento de la recolección y traslado fueron llevadas con las precauciones pertinentes para la realización de los análisis respectivos.

3.2.2 Lineamiento de recolección y procesamiento de las muestra de suelo

3.2.2.1 Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

Según MINAM (2014). La estrategia del muestreo de nivel de fondo fue debidamente justificada tanto desde el punto de vista estadístico como desde el punto de vista de la localización de las muestras, para lo cual se tomó en cuenta los datos de la fase de identificación de áreas. De acuerdo con lo anterior, para la localización del sitio de muestreo se consideró lo siguiente:

- El sitio de muestreo presentó una orografía y geología similar en todos los sitios de muestreo y fue en la misma área climática y de vegetación.
- Las muestras para el nivel de fondo fueron compuestas, recolectadas en cinco sitios con tres repeticiones en cada uno de los mismos.
- Cada muestra tomada de 25cm a 45cm de profundidad y a una distancia de uno a dos metros de la planta de *Typha latifolia*, se recolectó un 1kg de muestra de suelo la cual posteriormente fue envasada en fundas ziploc para su envío al laboratorio y proceder con su respectivo análisis, Anexo A.

3.2.3 Lineamientos de recolección y procesamiento de las muestras en sedimentos

Para el muestreo de sedimentos de la Laguna Yahuarcocha, se realizó previamente el reconocimiento del lugar, para posteriormente ubicar los sitios en los sitios de muestreo esto con sus debidas coordenadas geográficas.

- **Colecta y tratamiento de muestra de sedimento**

Inicialmente las muestras de sedimentos superficiales fueron colectadas en los sitios establecidos mediante succión con el uso de los tubos PVC a manera de jeringa, Anexo B con una profundidad que oscila entre 30 y 35 cm y a la vez, fue basada en la medida de la raíz de *Typha latifolia*, recolectando así, una muestra total de 100g (IDEAM, 2009).

Según Rosental (1986) las muestras de sedimentos fueron secadas en horno a una temperatura de 45°, maceradas y tamizadas con el propósito de separar las partículas más grandes (arenas) y la materia extraña (hojas, etc.), para luego ser almacenadas en frascos de polietileno hasta su análisis ,Anexo C.

3.2.4 Lineamientos de recolección y procesamiento de las muestras en agua

En la toma de muestras de agua de la Laguna Yahuarcocha, se tomó en cuenta una regla general, los sitios de muestreo en lagos y lagunas se deben ubicar no muy cerca a los bordes de la misma, esto es para evitar efectos de borde, este aspecto fue importante tanto para tomar muestras de agua como de sedimentos (CCME, 1996).

Se colectó las muestras en frascos de plástico de 100ml que fueron previamente esterilizados o enjuagados con el agua a muestrear, este enjuague se realizó dos veces consecutivas. Por lo expuesto anterior, se evitó tomar la muestra en sitios muy cercanos a la orilla y recolectar sedimentos o materiales adheridos a la orilla o superficie del cuerpo de agua. Después de haber tomado en cuenta el anterior aspecto, se procedió a la toma de la muestra superficial de 1 litro de agua cercanas a los nichos de *Typha latifolia* para llevar a cabo esto, se usó trajes de neopreno debido a que nuestro principal interés son los metales pesados, Anexo D.

- **Colecta y tratamiento de las muestras de agua**

El proceso de colecta de muestras de agua se realizó en contenedores de plástico de polipropileno de 100ml, como se mencionó anteriormente de las cuales se llevó a cabo un proceso de control adecuado desde su recolección hasta el reporte de resultados, con el fin de asegurar la integridad de las muestras. Las técnicas de recolección y tratamiento de las muestras fueron de gran importancia debido a la necesidad de verificar la precisión de los datos resultantes.

3.3 Análisis de las muestras en suelo, sedimentos y agua en el laboratorio

Para el análisis de cromo y plomo, los métodos empleados para la digestión y análisis de cadmio, cinc, cobre, cromo, cobalto, níquel, manganeso y plomo en sedimentos fueron los del Standard Methods (1985) y Varian (1979), utilizando Espectrometría de Absorción Atómica modalidad horno de grafito.

Para ello se procedió a realizar el secado de las muestras de suelo y sedimento, depositándolos en pequeños recipientes de aluminio y posteriormente se trasladaron al horno de secado a una temperatura de 45°C, con la finalidad de evaporar el agua que estos contienen, para posteriormente triturar las muestras, con el uso de un mortero.

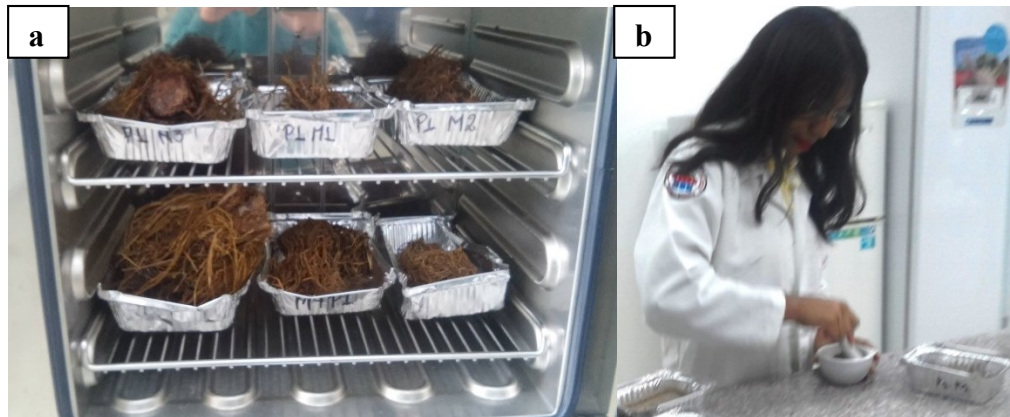


Figura 4. a) Secado de muestras en horno. **b)** Triturado de muestras de suelo y sedimento.

Una vez que las muestras fueron trituradas se procedió con el pesaje y se apartó 0.5 gramos de cada muestra ,Anexo E. Para realizar la digestión ácida que consiste en transformar las muestras en soluciones acuosas para su posterior análisis, por lo tanto, se agregó a la muestra 10ml de ácido nítrico y 50ml de agua pura, una vez que se realizó esta mezcla las muestras entraron al microondas donde se inició el proceso de digestión ácida, este proceso tardó alrededor de 60min.

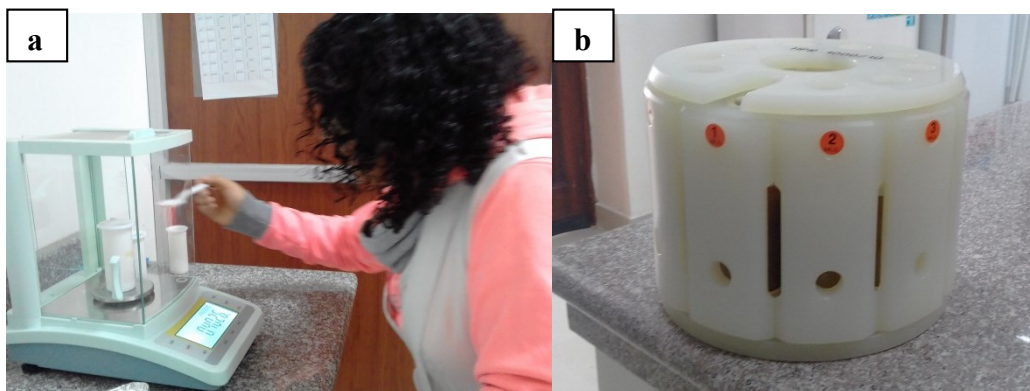


Figura 5. a) Pesaje de muestras. **b)** Preparación de las muestras en tambor para digestión ácida.

Luego de este tiempo las muestras fueron aforadas en balones de 100ml. Con ayuda de papel filtro cada muestra fue tamizada, después se depositó una pequeña cantidad de solución acuosa en cada recipiente del autosampler para iniciar con el análisis, consiguientemente se procedió a hacer la curva de calibración para plomo y cromo.

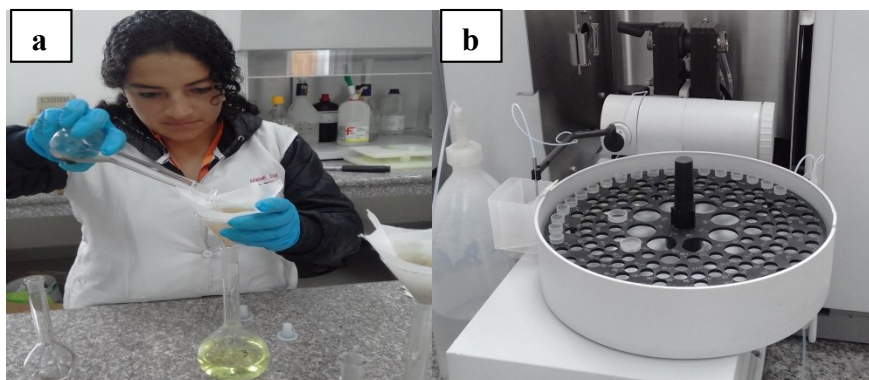


Figura 6. a) Filtración y aforación de muestras en balones de 100 ml.
b) Ubicación de muestras en autosampler para el análisis.

La curva de calibración, mencionada anteriormente es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un analito. La calibración incluye la selección de un modelo para estimar los parámetros que permitan determinar la linealidad de esa curva. En consecuencia, la capacidad de un método analítico para obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de un compuesto en una muestra (Miller, 2002).

3.3.1 Análisis de datos

Previo a el análisis de resultados entre los sitios de acuerdo a cada sustrato se realizó pruebas para constatar la normalidad y homocedasticidad de las variables las pruebas usadas fueron; Shapiro, Kolmogonov y Levene.

Se utilizó el programa Statistica 10 y se corrió una prueba de U de Mannwitney para la comparación de medias entre época seca y lluviosa, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) tomando en cuenta factores como; época, sitio e interacciones. Para esto se aplicó la prueba de significación de TUKEY al 0,05% para la comparación de medias entre épocas.

3.4 Índices de polución basados en la toxicidad del metal

3.4.1 Riesgo Potencial Ecológico (RI)

El índice de riesgo potencial ecológico determina la toxicidad en base al factor de contaminación individual de cada metal y el factor de respuesta tóxica para cada

elemento analizado. Proporciona un indicador general de toxicidad de la muestra, a partir de cada elemento analizado (Saeedi y Zanjani, 2015).

$$Cif = \frac{Cx}{Cb}$$

$$Eri = Tri * Cif$$

$$RI = \sum_{i=1}^n Eri$$

Donde *Cif* es el factor de contaminación, *Cx* la concentración de metales en la muestra, *Cb*: la concentración de metales de fondo, *Eri* el factor individual de contaminación y *Tri* el factor de respuesta tóxica (Cd: 30; Cu: 5; Pb: 5; Zn: 1; Cr: 2). De acuerdo a Saeedi & Zanjani (2015), dependiendo de los valores medidos de *RI*, al sedimento se lo puede clasificar como: Baja toxicidad: ($RI < 150$); Moderada toxicidad: ($150 \leq RI < 300$); Considerable toxicidad: ($300 \leq RI < 600$) y muy alta toxicidad: ($RI \geq 600$).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Establecimiento de lineamientos estratégicos para muestreo de suelo, sedimento y agua asociados a poblaciones de *Typha latifolia* en la Laguna Yahuarcocha

Estos protocolos que se detallan a continuación se dividen en suelo, sedimento y agua, los mismos que pertenece a una serie de protocolos de muestreo, laboratorio y cálculo de índices, sintetizados y adaptados a nuestro estudio, el mismo que será una guía de muestreo para los posteriores estudios.

4.1.1 Introducción de lineamientos estratégicos de muestreo en suelo, sedimentos y agua

El suelo, sedimento y agua pueden resultar contaminados por cualquier vía como descargas líquidas directas, deposiciones húmedas o arrastre debido a suelos contaminados. Como resultado de diferentes interacciones físico- químicas (co-precipitación, adsorción, intercambio iónico, etc.). La estrategia clave a la hora de planificar una jornada de muestreo, es definir claramente el objetivo que se pretende alcanzar con el mismo. Es decir, se debe definir qué tipo de análisis se pretende realizar o qué variables se quieren medir, en este caso, es un análisis físico-químico.

La elección del sitio de muestreo precisa un punto que reúna condiciones de representatividad, sin embargo, en el caso de los sedimentos dado el carácter inestable y estacional del depósito, esta elección no siempre es sencilla y, en ocasiones, un punto considerado representativo durante un determinado periodo de tiempo, puede dejar de serlo. Otro factor que se debe tomar en cuenta, en el caso específico del muestreo de aguas en lagos, es el uso del agua que se pretende analizar, o si se quiere evaluar la concentración del mismo. El conocimiento de estos factores, define los elementos que se requieren, además de las condiciones en las cuales se realiza el muestreo (tipo de envases, procedimiento y cuidados para la toma de muestra, transporte, conservación, etc.).

Para amenorar la posible falta de representatividad de una muestra concreta se considera la obtención de una muestra compuesta, siendo tema de discusión el número de muestras que deben conformarla. La toma de decisiones está directamente relacionada con los objetivos del muestreo, con los parámetros que se quiere analizar, el tipo de muestra que se desea obtener, la posible vegetación asociada, las condiciones ambientales y de accesibilidad de la zona.

4.1.1.2 Lineamientos estratégicos de muestreo en agua de la Laguna Yahuarcocha Cantón Ibarra Provincia de Imbabura.

- **Metodología**
- **Muestreo:** Se recolectó las muestras de agua en 5 sitios con tres repeticiones en cada uno de los mismo. En base a esto, los sitios de muestreo fueron georreferenciados y ubicados en el mapa base de la Laguna Yahuarcocha, tomando en cuenta las poblaciones más representativas en el cuerpo lacustre. La georeferenciación y los sitios de muestreo se observan a continuación en la figura 7.



Figura 7. Mapa base de sitios de muestreo.

Puntos de muestreo

Punto 1: Planta de tratamiento

X: 822398 Y: 10041631 Z: 2213

X: 822489 Y: 10041650 Z: 2216

X: 822489 Y: 10041648 Z: 2084

Punto 2: Pista pequeña Yahuarcocha.

X: 822944 Y: 10040495 Z: 2201

X: 822936 Y: 10040523 Z: 2205

X: 823546 Y: 10042014 Z: 2197

Punto 3: Cerca a la estación de bomberos.

X: 823539 Y: 10042011 Z: 2201

X: 823328 Y: 10042101 Z: 2200

X: 823156 Y: 10042095 Z: 2199

Punto 4: Junto al kayak.

X: 823146 Y: 10042083 Z: 2199

X: 822992 Y: 10041924 Z: 2198

X: 822884 Y: 10041811 Z: 2202

Punto 5: Salida a Yahuarcocha.

X: 822794 Y: 10041751 Z: 2202

X: 821667 Y: 10041723 Z: 2201

X: 821638 Y: 10041609 Z: 2198

Objetivos del muestreo en agua

- Obtener una parte representativa de la muestra en estudio, para la cual se analizarán las variables físico-químicas.
- Establecer la información mínima que se deba registrar durante las operaciones en el campo, así como también en el momento del transporte, almacenaje y recepción de la(s) muestra(s).

El lugar donde se realizará el muestreo es el primer sitio a tomar en cuenta, ya que, dependiendo de las características del lugar, se preparará el plan de muestreo; por tanto, si se dispone de un sistema de posicionamiento global (GPS), se debe

posicionar satelitalmente la ubicación o tratar de especificar la posición del sitio, lo más concretamente posible.

Recomendaciones para realizar muestreo en campo.

- Identificación del sitio de muestreo, cartografía o información previa del lugar.
- Identificación de la muestra o conjunto de muestras (nombre, código)
- Características del sitio de muestreo (accesibilidad, distancia, peligros, etc.)
- Si no cuenta con información previa del punto de muestreo, se recomienda portar un equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global), de tal forma que pueda registrar las coordenadas exactas del punto de muestreo, como futura referencia.
- Es importante tomar fotografías del lugar, las cuales, además de anexarse a la cadena custodia, también servirán de futuras referencias de ese punto de muestreo en específico.

Tipo de muestreo

Muestreo simple, por lo que dependió de los parámetros a evaluar, que era concentración de plomo y cromo en agua de cuerpos de agua dulce.

Recipientes y preservantes

Como se mencionó con anterioridad, la etapa de muestreo es la que mayor cuidado requiere, pues la eficacia y veracidad de un análisis, dependerá casi en su totalidad de este proceso; por lo tanto, los recipientes que contendrán las muestras, así como el uso o no de preservantes para las mismas, contribuirán a un buen muestreo y a mantener la representatividad de las muestras. A continuación, se presentan algunas recomendaciones con respecto a los recipientes para las muestras.

- Los recipientes en los cuales se recoja la muestra deberán ser de vidrio, también pueden ser de plástico, preferiblemente de material resistente como polietileno de 100 ml, Anexo F.

- Debe cuidarse de que los recipientes no desprendan materia orgánica, elementos alcalinos, boro, sílice u otros materiales que pueda contaminar la muestra recogida.
- El material constituyente del recipiente no reaccione con los componentes de la muestra.
- Los envases deben poder cerrar y sellar herméticamente.
- Es importante contar con envases suficientes, incluyendo aquellos para muestras duplicadas. Siempre se deben llevar botellas adicionales en caso de que se quiebren o se contaminen.
- Las muestras requieren almacenamiento a baja temperatura, durante el transporte y antes del análisis en el laboratorio.
- Los envases para las muestras deben estar etiquetados. Se debe asegurar que estos envases se puedan identificar fácilmente.

Equipo de monitoreo en campo

Algunas recomendaciones básicas que debemos tomar en cuenta al preparar el equipo de campo son las siguientes:

- Se recomienda llevar la georeferenciación de los sitios a muestrear.
- Siempre se debe descontaminar el equipo antes de usar y después de que este haya estado en contacto con alguna muestra.
- Se recomienda revisar todo el equipo electrónico y que las baterías (pilas), operen apropiadamente.
- Coordine la forma de trasladarse al sitio de muestreo y el transporte de las muestras con usted.
- Es importante que cuente con un botiquín de primeros auxilios en todo momento.

Recuerde que por lo general, las muestras deben transportarse a una temperatura fría (recomendable 4 °C), por tanto no olvide incluir las hieleras, (Anexo G) esto es dependiendo del tipo de análisis y de la cantidad de muestras que se tomarán.

Almacenaje de las muestras

Para reducir al máximo la posible volatilización o biodegradación de las muestras, entre la toma de muestra y el análisis, se deberá asegurar que los recipientes estén herméticamente cerrados y protegidos de la luz y el exceso de calor, ya que las aguas superficiales son susceptibles a cambios, debido al crecimiento de microorganismos, por el proceso de eutrofización. (0 °C) a lo largo de toda la etapa de almacenamiento, manejo y transporte. Las muestras de control de calidad deben ser empacadas de la misma manera que el resto, para que el laboratorio pueda identificarlas. Se anotarán todos los números de identificación en la libreta de campo.

Transporte y envío de muestras

Se notificará al laboratorio, donde se realizará el análisis, la hora de entrega de las muestras (si es un laboratorio local), o la forma de envío (avión, barco, tren, otros), además de la fecha de envío, si se trata de un laboratorio fuera del área local. En ambos casos debe adjuntar con las muestras toda la información recabada en el lugar de muestreo (cadena custodia), ya sea la propia o la que el laboratorio designe para tal fin.

Cadena custodia

Debido a que una muestra es evidencia física, se utiliza el procedimiento de cadena de custodia para mantener y documentar la posesión de las muestras, desde la hora en que se colecta, hasta su ingreso al laboratorio. Los formatos de cadena de custodia varían entre laboratorio, pero en general, presentan una estructura base que es común para todos.

Si una muestra está en custodia, esto quiere decir que se tiene posesión física de una muestra, que se tiene en vista, o se ha sellado para prevenir la falsificación; por lo tanto, el registro de un formato de custodia empieza cuando se reciban los envases de muestra del laboratorio con sus respectivo formato de ingreso al laboratorio.

4.1.1.3 Lineamientos estratégicos de muestreo en sedimentos de la Laguna Yahuarcocha Cantón Ibarra Provincia de Imbabura

Metodología.

- **Muestreo:** Se recolectó las muestras de sedimentos en 5 sitios con tres repeticiones, los sitios de muestreo fueron georreferenciados y ubicados en el mapa base de la Laguna Yahuarcocha, tomando en cuenta las poblaciones más representativas en el cuerpo lacustre. A continuación se detallan en la figura 8.



Figura 8. Mapa base de sitios de muestreo.

Puntos de muestreo

Punto 1: Planta de tratamiento

X: 822398 Y: 10041631 Z: 2213

X: 822489 Y: 10041650 Z: 2216

X: 822489 Y: 10041648 Z: 2084

Punto 2: Pista pequeña Yahuarcocha.

X: 822944	Y: 10040495	Z: 2201
X: 822936	Y: 10040523	Z: 2205
X: 823546	Y: 10042014	Z: 2197
Punto 3: Cerca a la estación de bomberos.		
X: 823539	Y: 10042011	Z: 2201
X: 823328	Y: 10042101	Z: 2200
X: 823156	Y: 10042095	Z: 2199
Punto 4: Junto al kayak.		
X: 823146	Y: 10042083	Z: 2199
X: 822992	Y: 10041924	Z: 2198
X: 822884	Y: 10041811	Z: 2202
Punto 5: Salida a Yahuarcocha.		
X: 822794	Y: 10041751	Z: 2202
X: 821667	Y: 10041723	Z: 2201
X: 821638	Y: 10041609	Z: 2198

Objetivos del muestreo en sedimentos

- Obtener una parte representativa de la muestra en estudio, para la cual se analizarán las variables físico-químicas.
- Establecer la información mínima que se deba registrar durante las operaciones en el campo, así como también en el momento del transporte, almacenaje y recepción de la(s) muestra(s).

Definición de sitios de muestreo

Después de la división del área en zonas de muestreo, es necesario determinar en cuántos sitios se van a realizar el proceso de extracción de muestra. Esta cuestión dependerá fuertemente del tipo de sistema acuático de que se trate y también de los objetivos del programa. De forma general se puede establecer que:

Si se trata de analizar el impacto medioambiental de las descargas líquidas procedentes de una determinada instalación, se pueden dar os situaciones en

función de cuál sea el tipo de sistema acuático:

Si el sistema acuático es un lago (natural o artificial), pantano o el mar, habrá que muestrear al menos en un punto que deberá estar situado cerca del lugar donde se produzca la descarga, pero alejado de las turbulencias producidas por aquella; si las orillas son utilizadas para actividades recreativas, se deberá también muestrear los sedimentos de los sitios donde éstas se desarrollen.

Tipo de muestreo

Se realizó un muestreo simple, por lo que dependió de los parámetros a evaluar, que era concentración de plomo y cromo.

Equipamiento

El equipamiento necesario para realizar un muestreo de sedimentos, incluye el instrumental propio de esta tarea, como son los recipientes para almacenar las muestras, los registros y etiquetas, material de limpieza, métodos de localización del sitio, etc. Sin embargo el componente más específico es el instrumento de extracción del sedimento, en este caso se realizó con un tubo PVC a manera de jeringa, Anexo H.

Parámetros a evaluar o analizar

En este punto, hay que aclarar que lo que buscamos es evaluar la concentración de cromo y plomo para lo que se pretende realizar un análisis ecotoxicológico; ya que ello dependerá la planificación en cuanto a equipo, envases, reactivos, preservantes y otras consideraciones durante la jornada de muestreo. Una vez definidas las características de las muestras a obtener y el instrumento de muestreo a utilizar, la extracción de las muestras deberá realizarse con los siguientes criterios:

- Los recipientes a utilizar deberán estar convenientemente limpios y etiquetados, asimismo, el instrumento de muestreo también deberá limpiarse para evitar la contaminación cruzada.
- El recipiente donde se almacenarán los sedimentos para su traslado al

laboratorio será, una bolsa de plástico resistente o un recipiente de boca ancha; en cualquier caso, éste debe quedar bien cerrado y precintado.

- Se debe acceder al punto de muestreo en contra corriente para evitar la perturbación de los sedimentos que se van a muestrear.

Traslado de muestras al laboratorio

La cuestión fundamental que aplica al transporte de las muestras al laboratorio, es el hecho de que el transporte no altere las características de las muestras. Para ello es necesario que se reúnan dos condiciones, la primera es que el traslado de la muestra al laboratorio deberá realizarse con el sedimento introducido en un recipiente bien cerrado para evitar la pérdida de humedad y las posibles manipulaciones y el traslado de las muestras al laboratorio se realizará en el menor tiempo posible.

Análisis en laboratorio

- Tratamiento de muestras para determinación de metales pesados. Análisis de laboratorio (Poner muestra en solución).
- Filtrar, eliminar líquido y material retenido (secar a 60° C).
- Colocar 5gr de sedimento en crisoles de porcelana previamente tratados.
- Pulverizar las muestras de sedimento con un mortero.
- Agregar a las muestras 10ml de ácido nítrico, previamente remover las cenizas con el agitador.
- Trasvasar a los tubos de ensayo
- Digestar la muestra por 24 horas a 105°C y dejar enfriar.
- Trasvasar a balones de 100ml y aforar con agua Mili-Q.
- Homogenizar los envases previamente limpios con agua Mili-Q.
- Trasvasar las muestras aforadas a los envases homogenizados.
- Guardar muestras en refrigerador hasta analizar en equipo de absorción atómica.

Análisis de Muestras

Espectrometría de absorción atómica método horno de grafito.

Evaluación del contenido de cromo Cr y Plomo Pb.

Espectrometría de absorción atómica utilizando el módulo de horno de grafito.

Adoptando parámetros instrumentales.

4.1.1.4 Lineamientos estratégicos de muestreo en suelo de la Laguna Yahuarcocha Cantón Ibarra Provincia de Imbabura.

Metodología.

- **Muestreo:** Se recolectó las muestras de suelo en 5 sitios con tres repeticiones. En base a esto, los sitios de muestreo fueron georreferenciados y ubicados en el mapa base de la Laguna Yahuarcocha, los cuales se observan a continuación en la figura 9.



Figura 9. Mapa base de sitios de muestreo.

Puntos de muestreo

Punto 1: Planta de tratamiento

X: 822398 Y: 10041631 Z: 2213

X: 822489 Y: 10041650 Z: 2216

X: 822489 Y: 10041648 Z: 2084

Punto 2: Pista pequeña Yahuarcocha.

X: 822944 Y: 10040495 Z: 2201

X: 822936 Y: 10040523 Z: 2205

X: 823546 Y: 10042014 Z: 2197

Punto 3: Cerca a la estación de bomberos.

X: 823539 Y: 10042011 Z: 2201

X: 823328 Y: 10042101 Z: 2200

X: 823156 Y: 10042095 Z: 2199

Punto 4: Junto al kayak.

X: 823146 Y: 10042083 Z: 2199

X: 822992 Y: 10041924 Z: 2198

X: 822884 Y: 10041811 Z: 2202

Punto 5: Salida a Yahuarcocha.

X: 822794 Y: 10041751 Z: 2202

X: 821667 Y: 10041723 Z: 2201

X: 821638 Y: 10041609 Z: 2198

Objetivos del muestreo en suelo

- Obtener una parte representativa de la muestra en estudio, para la cual se analizarán las variables físico-químicas.
- Establecer la información mínima que se deba registrar durante las operaciones en el campo, así como también en el momento del transporte, almacenaje y recepción de la(s) muestra(s).

Consideraciones para muestreo en suelo

El plan de muestreo, debe contener por lo menos los siguientes aspectos:

- Información básica del suelo contaminado, comprendiendo los mapas de ubicación, planos de distribución de la infraestructura y construcciones realizadas en el sitio de acuerdo a la evaluación preliminar descrita en la Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS).
- Resultados de los estudios previos del suelo contaminado.
- Determinación de las Áreas de Potencial Interés. La sustentación de la ubicación y el número de sitios de muestreo, la profundidad y el volumen de muestra a coleccionar.
- La estrategia y procedimiento de toma de muestras a realizar. Tipo y método de muestreo.
- Determinación de los parámetros a analizar en las muestras.
- Las técnicas, el equipo y los instrumentos a emplearse en el muestreo,

que aseguren la homogeneidad y representatividad de las muestras.

- Tipo y características de la preservación y conservación de las muestras a emplearse durante el transporte de las mismas al laboratorio.
- Medidas de seguridad para el manejo de muestras, que determinen las condiciones óptimas de la calidad del muestreo.

Tipo de muestreo

Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

El objetivo de este muestreo es determinar la concentración de los químicos regulados por el ECA suelo en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides. Cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en estudio, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes. La estrategia del muestreo de nivel de fondo ha de ser debidamente justificada tanto desde el punto de vista estadístico como desde el punto de vista de la localización de las muestras, usando como ayuda los datos y conclusiones de la Fase de Identificación. Así, la localización del área de muestreo ha de considerar lo siguiente:

- El sitio de muestreo debe presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe estar en la misma área climática y de vegetación.
- Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes pero con características similares al área de estudio.
- Cada muestra será tomada de 1kg a 45cm de profundidad y entre uno y dos metros cercanas a las poblaciones de *T.latifolia*, luego de la recolección se procederán hacer envasada en fundas ziploc para su

posterior envío al laboratorio y su respectivo análisis en el mismo.

Materiales para guardar y transportar muestras

Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear, deben ser resistentes a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación. Debe evitarse en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de suelo, salvo que las metodologías lo estipulen. Para su conservación es conveniente mantenerlas en lugares frescos (4 a 6 °C), aplicables en contaminantes orgánicos. El volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo de la muestra, a fin de minimizar el espacio vacío.

Etiquetado

- La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente y adherida adecuadamente para evitar su pérdida.
- La etiqueta que acompañe a la muestra, debe contar con la siguiente información como mínimo: número o clave única de identificación, lugar del muestreo, nombre del proyecto, y la fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- La impresión de los datos en la etiqueta, debe realizarse con tinta indeleble.
- Inmediatamente de la toma de muestra se debe proceder al etiquetado y registro de la muestra.

Cadena de custodia

La documentación de la cadena de custodia debe contener al menos:

- El número de la hoja de custodia proporcionada por el laboratorio acreditado.

- El nombre de la empresa y del responsable del muestreo.
- Los datos de identificación del sitio (coordenadas UTM).
- La fecha y hora del muestreo.
- Las claves de las muestras.
- Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- Los análisis o la determinación requerida.
- El número de envases.
- Observaciones.
- Identificación de las personas que entregan y reciben en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha y hora.

La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis, la copia debe estar firmada por todos los participantes en el proceso de muestreo y por la persona del laboratorio que recibe las muestras para su análisis.

Análisis de laboratorio (Poner muestra en solución)

- Filtrar, eliminar líquido y material retenido (secar a 60° C).
- Colocar 5gr de suelo en crisoles de porcelana previamente tratados.
- Pulverizar las muestras de suelo con un mortero.
- Agregar a las muestras 10 ml de ácido nítrico, previamente remover las cenizas con el agitador.
- Trasvasar a los tubos de ensayo
- Digestar la muestra por 1 hora a 105°C y dejar enfriar.
- Trasvasar a balones de 100 ml y aforar con agua Mili-Q.
- Homogenizar los envases previamente limpios con agua Mili-Q.
- Trasvasar las muestras aforadas a los envases homogenizados.
- Guardar muestras en refrigerador hasta analizar en equipo de

absorción atómica.

Análisis de Muestras

Espectrometría de absorción atómica método horno de grafito.

Evaluación del contenido de cromo Cr y Plomo Pb

Espectrometría de absorción atómica utilizando el módulo de horno de grafito. Adoptando parámetros instrumentales.

4.2. Comparación de las concentraciones obtenidas de plomo y cromo en suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de *T. latifolia*, en época seca y lluviosa

4.2.2 Análisis Ombrotérmico de la Laguna Yahuarcocha

Para realizar el diagrama mencionado anteriormente, como primer paso se identificaron los meses de época seca y época lluviosa, escogiendo el mes de septiembre del 2018 y abril del 2019 respectivamente ya que estos dos meses representan los niveles de precipitación alto y bajo durante el año, a continuación lo podemos observar en la figura 10.

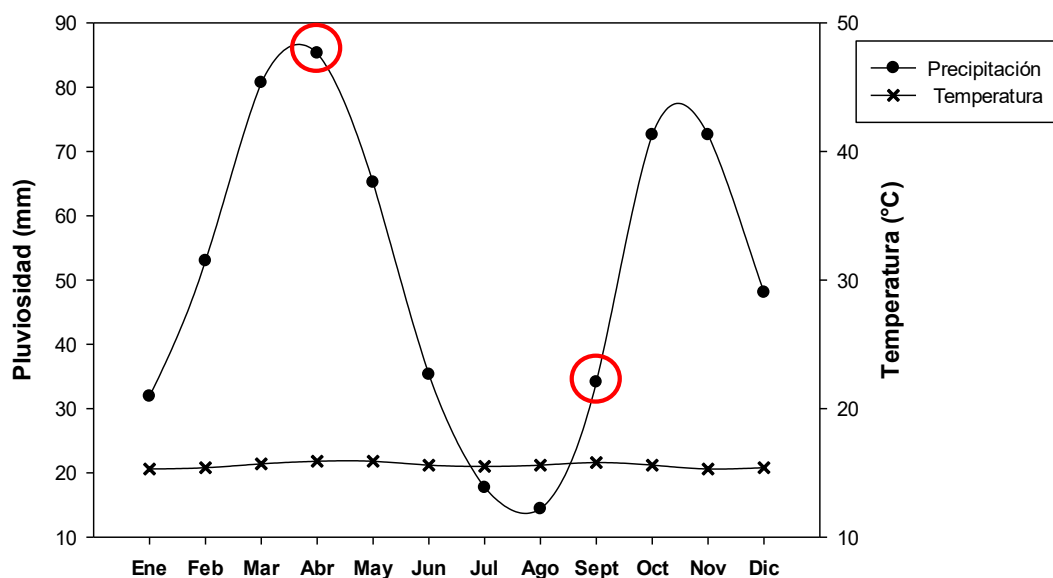


Figura 10. Diagrama ombrotérmico.

Fuente. Pabòn et al., (2012)

4.2.3 Concentración de metales en época seca y lluviosa en suelo

En base al análisis sobre la concentración de plomo y cromo en época seca y lluviosa se aplicó la prueba no paramétrica de U de Mann Whithney, la cual se basa en la comparación de dos muestras independientes, es libre de curva, no necesita una distribución específica. Esta prueba por lo general se utiliza para comparar dos grupos de rangos (medianas) Anexo 7, y determinar que la diferencia no se deba al azar (Juárez et al., 2002). Por lo tanto en esta investigación se evidenció que en la época seca existió una mayor significancia en comparación con la época lluviosa la cual se puede observar en la figura 11.

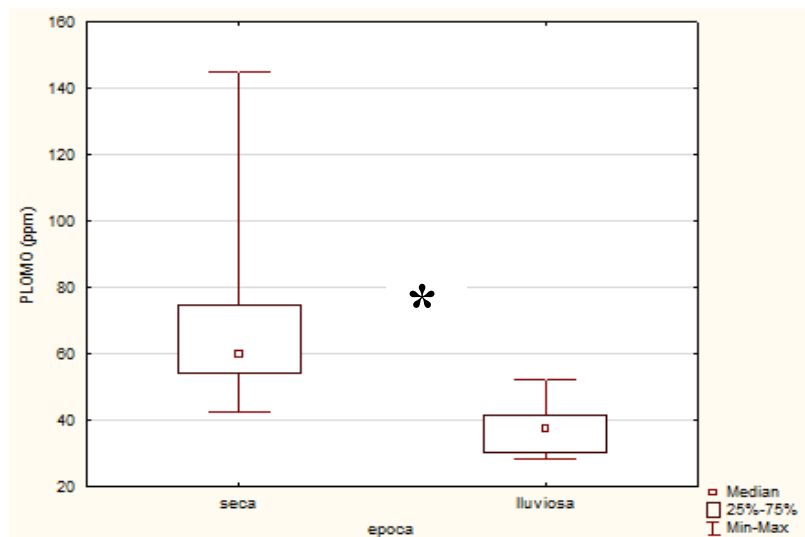


Figura 11. Concentración de plomo en época seca y lluviosa.

La cantidad de cromo absorbida en época seca en suelo es altamente significativa en comparación con la época lluviosa esto se puede evidenciar a continuación en la figura 12.

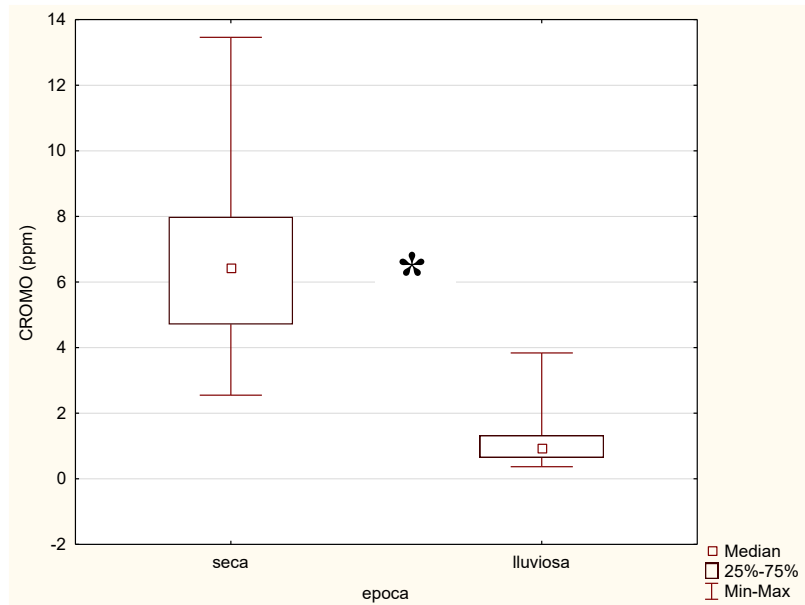


Figura 12. Concentración de cromo en época seca y lluviosa.

4.2.4 Concentración de metales en época seca y lluviosa por sitio en suelo

Los valores de concentración encontrados de plomo y cromo en los diferentes sitios de muestreo en suelo alrededor de la Laguna Yahuarcocha, se observa que en época seca se registra mayor concentración de cromo en el punto 1 (planta de tratamiento) en el cual se existe alta concentración de este metal donde se registró un valor de (12,09 ppm), esto se puede atribuir principalmente a las actividades antrópicas dentro de las cuales se encuentra la fase de construcción y mantenimiento de la planta de tratamiento, las que generan la mayor contaminación en el punto anteriormente mencionado, mientras que el menor valor se encuentra en el punto 4 (junto al cayac) con (3,02 ppm). Dentro de la época lluviosa se logra observar que el punto donde hay mayor concentración de cromo es en el punto 5 con (2,08 ppm), el cual hace referencia a la salida de Yahuarcocha donde no se evidencio *Typha latifolia* por ende al no encontrarse esta especie considerada como fitoremediadora es evidente este resultado ya que no existe ninguna fuente natural de absorción de metales. En base a los resultados obtenidos el sitio más bajo es el punto 4 (junto al kayac) con un valor de (0,49 ppm). Tal como se detalla en la figura 13.

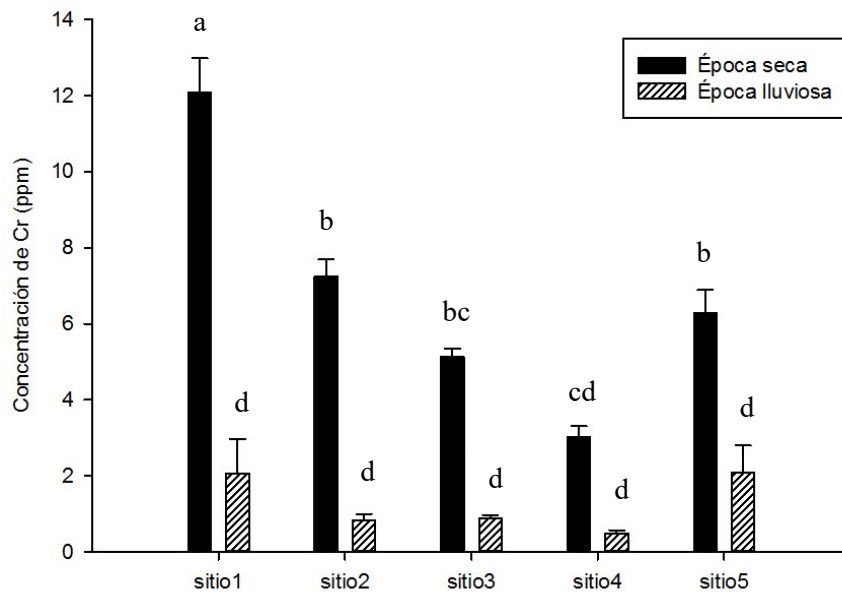


Figura 13. Concentración de cromo en época seca y lluviosa en suelo.

Los datos mencionados en la figura 14 que se presenta a continuación, presencia la variación que existe entre época seca y lluviosa en cada uno de los puntos de muestreo. Dado el caso del plomo que se encontró la mayor concentración en el punto 5 (salida de Yahuarcocha) en donde se indica que es altamente significativo en época seca, el cual arrojó un valor de (112,21 ppm). El punto más bajo se encontró en el punto 2 (cercano a la pista pequeña de Yahuarcocha) con una concentración de (56,16 ppm), en cuanto a la época lluviosa no se verificó variedad en la significancia sin embargo se puede ver que hubo mayor concentración de plomo en el punto 5 mismo que fue en época seca registrando un valor de (41,87 ppm). Por otro lado, las concentraciones de plomo en suelo también están sujetas a la dinámica de los metales, ya que una vez presentes en el suelo son poco móviles y tienden a acumularse en la parte superficial. Por ende, el metal puede seguir diferentes vías, como quedar retenido en el suelo, ya sea disuelto en la solución del suelo o bien fijado por procesos de adsorción, complejación y precipitación; ser adsorbido por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, pasar a la atmósfera por volatilización o finalmente moverse a los diferentes cuerpos de agua (Baran, 1995). Para el caso de sedimento y suelo pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación de metales, por modificaciones químicas que se dan en los cuerpos de agua como cambios de pH, variación del

potencial redox, contenido de oxígeno disuelto o presencia de quelatos orgánicos, los metales pesados contenidos en sedimentos pueden ser liberados a la columna de agua. Así mismo se pueden dar movilizaciones de metales por mecanismos físicos como la agitación y removilización tanto humana como natural (Pejman et al., 2015). Por lo tanto, el contenido de metales en sedimento y suelo refleja la calidad de los sistemas medioambientales en su conjunto.

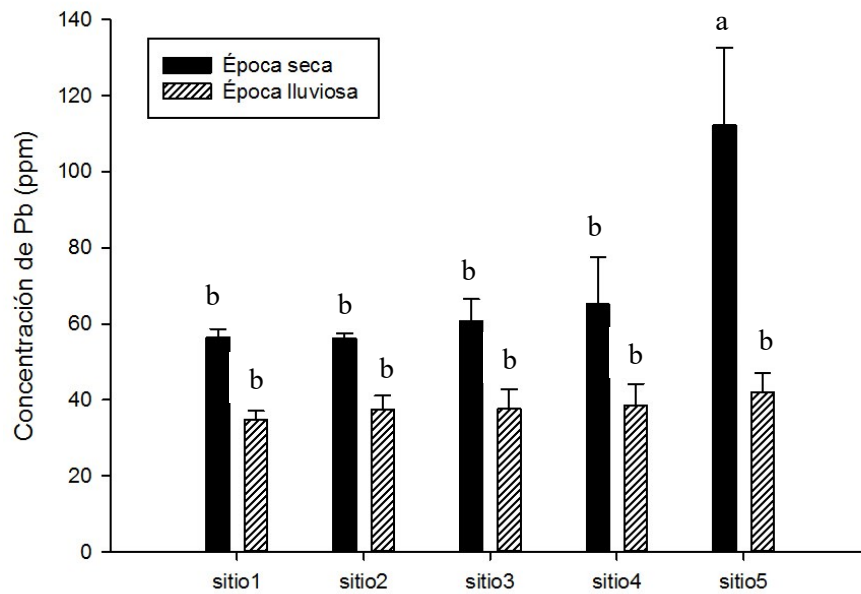


Figura 14. Concentración de plomo en época seca y lluviosa en suelo.

4.2.5 Concentración de metales en época seca y lluviosa en sedimento

La cantidad de cromo absorbida en época seca en sedimento es altamente significativa en comparación con la época lluviosa esto se puede evidenciar a continuación en la figura 15.

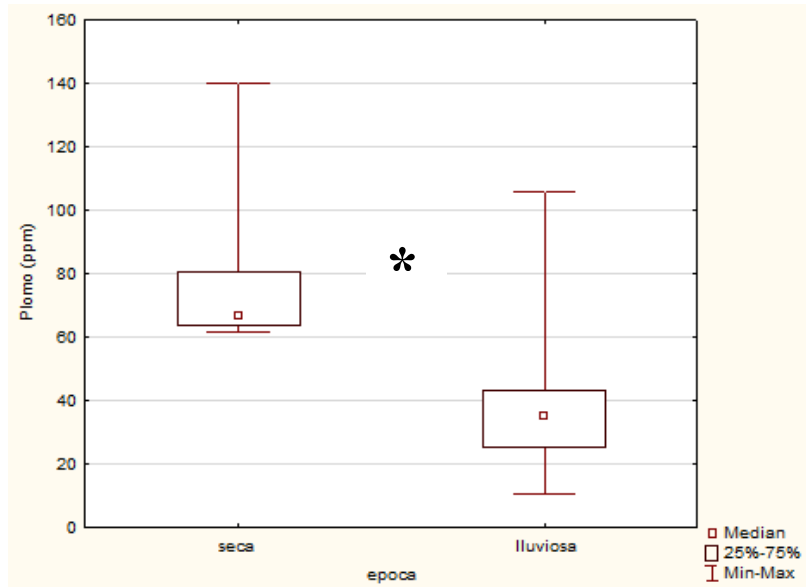


Figura 15. Concentración de plomo en época seca y lluviosa.

Según la prueba de U de Mann Whithney utilizada en esta investigación la cual se basa en la comparación de medias entre épocas, se evidenció que en la época seca existió una mayor significancia en comparación con la época lluviosa la cual se puede verificar a continuación en la figura 16.

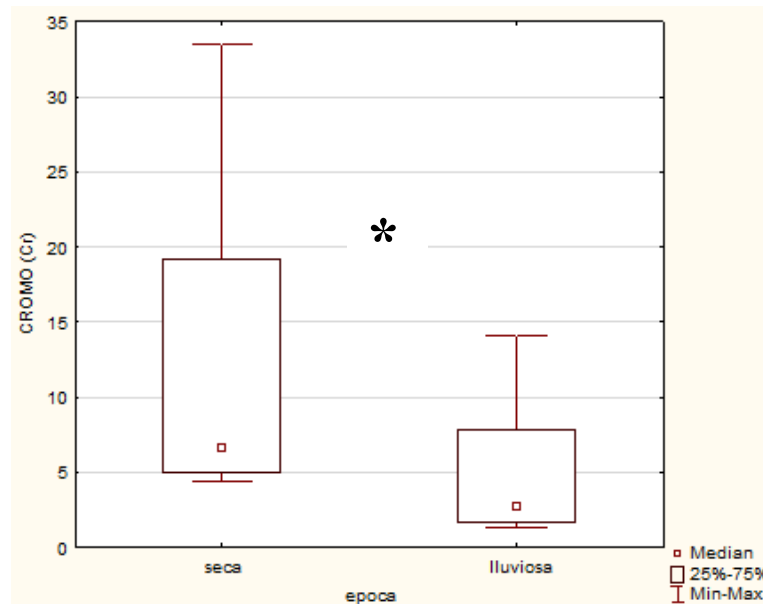


Figura 16. Concentración de cromo en época seca y lluviosa.

4.2.6 Concentración de metales en época seca y lluviosa por sitio en sedimento

Los datos obtenidos en la figura 17 detallan que el punto de mayor absorción de Cr se registró en el punto 4 (junto al kayak) con un valor de (29,30 ppm) dentro de la

época seca donde se observa que existe mayor significancia, mientras que en el punto 5 (orillas de la salida de Yahuarcocha) es el punto donde hubo menor concentración de cromo (4,59 ppm). Se observa claramente que la época lluviosa es donde hubo menor concentración de metales pese a esto en época lluviosa también se registra el mismo punto 4 como punto de más alta concentración de cromo con un valor de (13,03 ppm), así como el punto 5 de menor absorción de este metal con (1,53 ppm), esto se puede evidenciar a continuación.

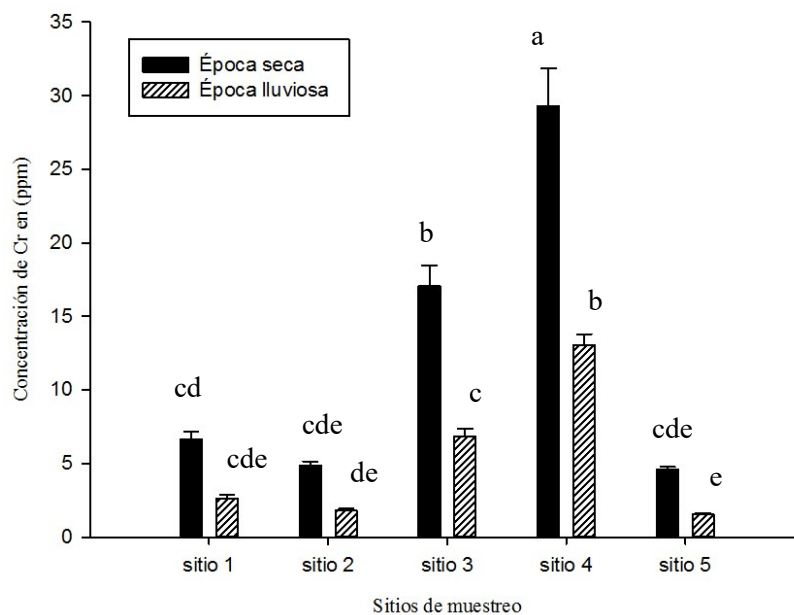


Figura 17. Concentración de cromo en época seca y lluviosa en sedimento.

Los valores encontrados en los diferentes puntos de muestreo en sedimento indicados a continuación en la figura 18, pueden demostrar que existen concentraciones altamente significativas de plomo en la época seca, el cual está ubicado en el punto 5 (orillas de la salida de Yahuarcocha) con un valor de (133,09 ppm). En cuanto a la época lluviosa se observó que únicamente en el punto 5 se estimó mayor concentración de plomo (93,18 ppm). El comportamiento que se observó en los datos mencionados en esta investigación, es observado también en varias zonas protegidas y en lagos de latino América que son mencionados en Zhang et al., (2018). Se citan casos similares en Sudamérica, el lago Guaíba, Brasil donde recientemente se registraron concentraciones de (3,37 ppm) de cromo en sedimento y (5,72 ppm), de plomo (Capaleta et al, 2018). Datos muy similares a la investigación presente se demuestran en el lago Titicaca, Perú-Bolivia donde se

distinguió datos de (0,300-3,20) ppm de cromo y (29,7-161 ppm), en sedimento y suelo respectivamente. (Cáceres et al. 2013). La contaminación por metales pesados en lagunas se ha venido dando desde los años 90's Mudroch, (1993) realizó un estudio sobre la bioacumulación de contaminantes en humedales en Ontario Lake, Canadá donde, llegando a la conclusión después de realizar los análisis debidos, advirtió una concentración de plomo de (125-133 ppm) en sedimento y suelo.

En Cuerpos de agua Pozan, Polonia se evaluó la concentración de metales pesados en el cual se evidencio valores altos de plomo y cromo en comparación con otros metales. Además, en algunos metales en estudio no se encontró concentración como es el caso de Fe, Al, Mn entre otros. Esta concentración se evaluó en sedimentos y suelo (Goldyn et al, 2015). No solo se reportan estudios de contaminación en suelos y sedimentos, Brankovic, et al. (2011). Lo anterior se puede identificar acontinuación.

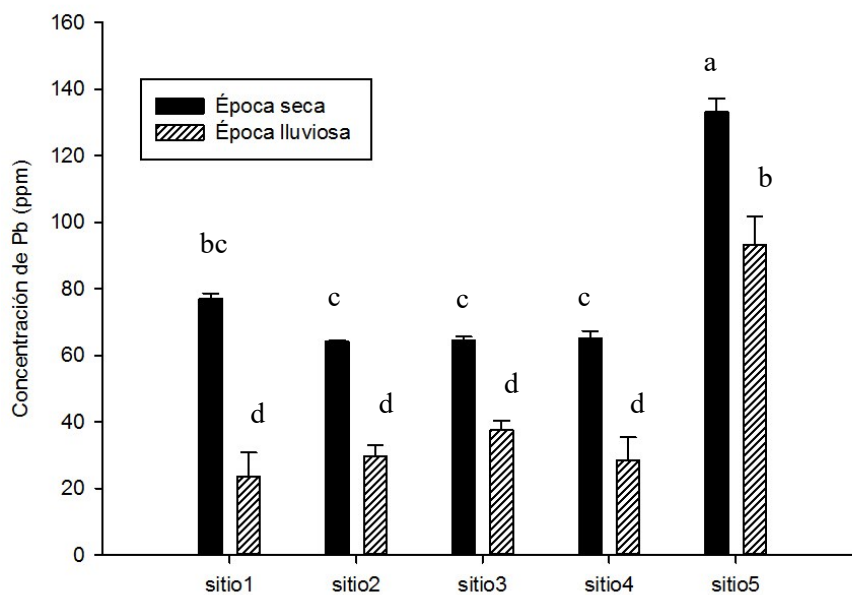


Figura 18. Concentración de plomo en época seca y lluviosa en sedimento.

4.2.7 Datos obtenidos en época seca y época lluviosa en agua

La cantidad de plomo absorbida en época seca en agua es altamente significativa en comparación con la época lluviosa esto se puede evidenciar acontinuación en la figura 19.

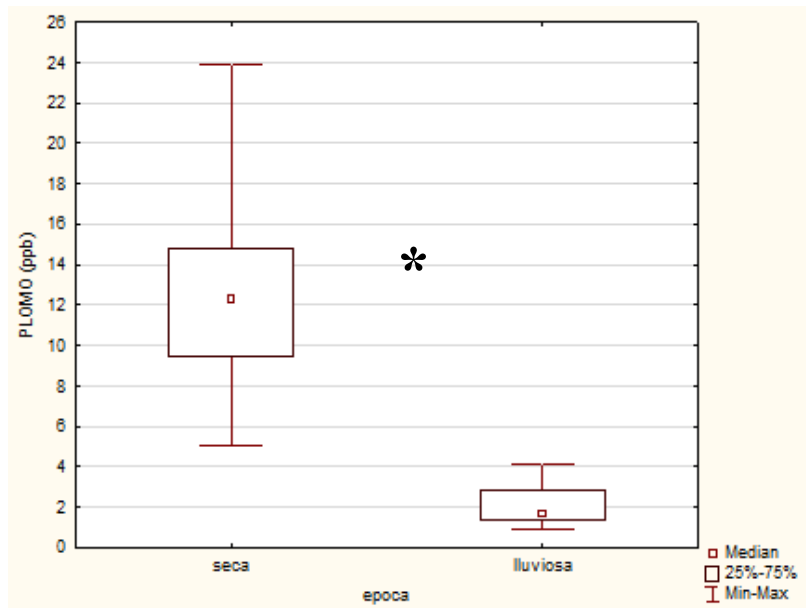


Figura 19. Concentración de plomo en época seca y lluviosa.

La cantidad de cromo absorbida en época seca en agua es altamente significativa al compararla con la época lluviosa esto se puede evidenciar a continuación en la figura 20.

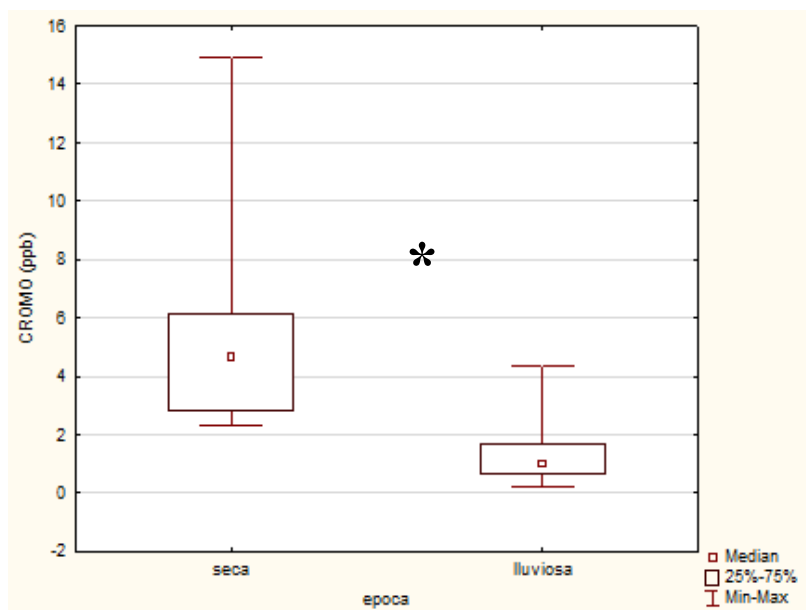


Figura 20. Concentración de cromo en época seca y lluviosa.

4.2.8 Concentración de metales en época seca y época lluviosa por sitio en agua

Según el análisis de concentración que se realizó en base a las dos épocas arrojó como resultado que en la época seca existe mayor significancia entre puntos, el punto con mayor concentración de cromo es el punto 1 (planta de tratamiento), que

arrojó un dato de (0,0014 ppm) mientras que el de menor concentración fue el punto 5 (orillas de la salida de Yahuarcocha) con un valor de (0.002 ppm). También se puede apreciar que en la época lluviosa no hubo variabilidad en la significancia y así como en la época seca se registró más concentración de cromo en el punto 1 con un dato de (0.0003 ppm). Esto se puede evidenciar a continuación en la figura 21.

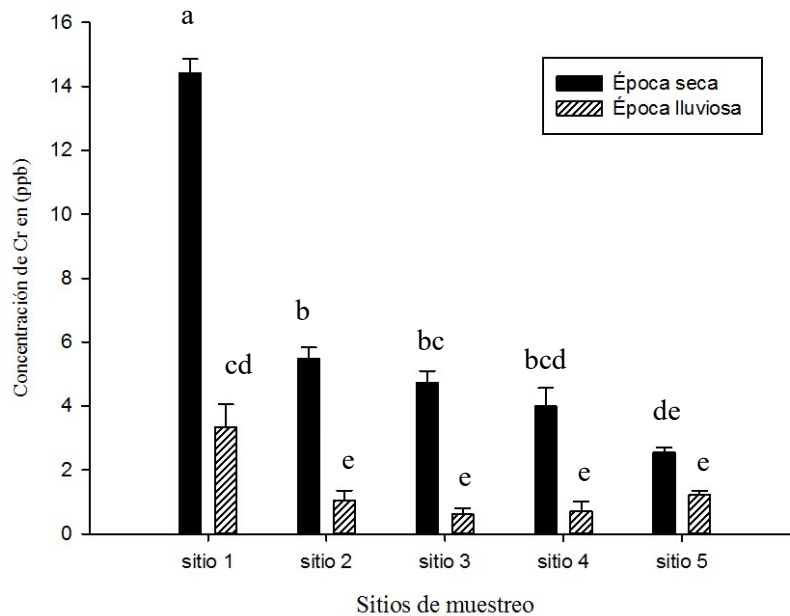


Figura 21. Concentración de cromo en época seca y lluviosa en agua.

Se puede apreciar por medio de la figura 22 mencionada a continuación que en las muestras correspondientes a los diferentes puntos, en los cuales se estableció la recolección de la muestra en época seca y lluviosa, que la mayor concentración de plomo en agua es de (0,0019 ppm), se encontró en el punto 2 (cerca de la pista pequeña de Yahuarcocha) con una alta diferencia significativa en época seca mientras que la menor concentración de plomo se dio el punto 4 (junto al Kayac) con un valor de (0,0005 ppm) en cambio en la época lluviosa no se apreció diferencia significativa.

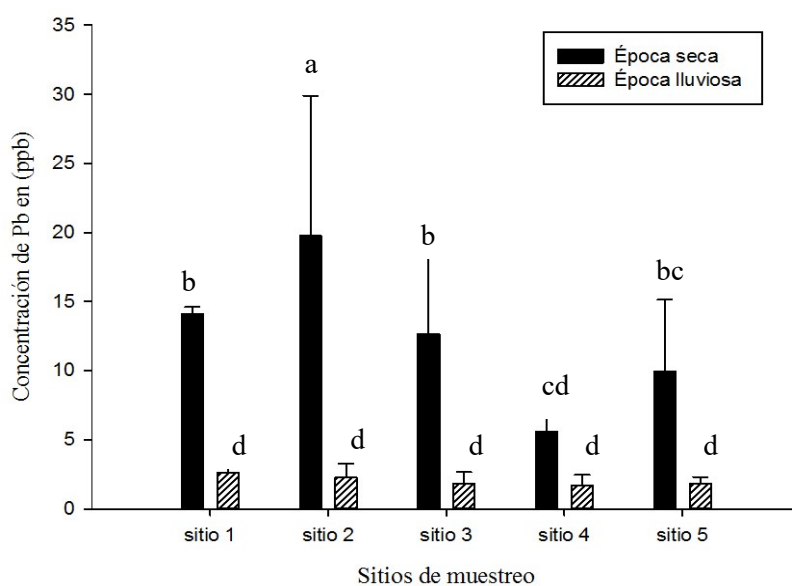


Figura 22. Concentración de plomo en época seca y lluviosa en agua.

Con los datos mencionados anteriormente se pudo comparar que las concentraciones de los metales evaluados, presentaron un orden decreciente de contenido metálico plomo y cromo en época lluviosa, en comparación con la época seca, el mismo comportamiento en general es observado en Sinamaica, aunque para concentraciones más bajas las cuales no sobrepasan los límites máximos permisibles. En cuanto a plomo y cromo en época seca, se obtuvieron concentraciones significativamente elevadas. Esta contaminación por metales pesados se atribuye a la acumulación progresiva de los mismos a través del tiempo, ya que todos los vehículos que circulaban en el país y por ende alrededor de la Laguna Yahuarcocha utilizaban gasolina con plomo, y no es sino hasta la actualidad cuando utilizan este combustible en menor cantidad.

Por otro lado se realizó estudios donde se centró en la evaluación de la acumulación de metales en ciertos macrófitos acuáticos (biomonitores), en comparación con el agua y los sedimentos (monitores abióticos) de la laguna. Las concentraciones de Fe, Mn, Cu y Pb se midieron en muestras de agua, sedimentos y plantas, A saber, en tallos y hojas de *Bidens tripartitus L.*, *Polygonum amphibium L.*, *Lycopus europaeus L.* y en raíces, tallos y hojas de dos plantas acuáticas, *Typha angustifolia L.* y *Typha latifolia L.* Las concentraciones de todos los metales investigados fueron mayores en sedimento que en agua. También se registran estudios sobre cinco

especies acuáticas. Macrófitos, con el objetivo de determinar la capacidad de acumulación de cuatro metales (Fe, Mn, Cu y Pb), es decir Importante para la bioindicación, biorremediación y biomonitoreo. De los ecosistemas acuáticos. Los resultados mostraron que las concentraciones de todos los metales investigados fueron más altas en sedimento que en agua. (Strungaru et al, 2015).

4.3. Comparaciones de los Índices Ecotoxicológicos de Peligrosidad en suelo, sedimentos y agua asociados a poblaciones de *Typha latifolia* con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 061, ECA y EPA

4.3.1 Categorización del Riesgo Potencial Ecológico (RI) para suelo y sedimentos asociados a poblaciones *Typha latifolia*

Los valores obtenidos del Riesgo Potencial Ecológico (RI) de los metales plomo y cromo en sedimentos correspondientes a cada punto de muestreo alrededor de la Laguna Yahuarcocha, en época seca y época lluviosa a continuación se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Índices Eco toxicológicos en sedimento.

	Epoca seca		Epoca lluviosa		Rango (RI < 150)
	RI(Cr)	RI(Pb)	RI(Cr)	RI(Pb)	
punto 1	0,44	57,76	0,17	17,66	Baja toxicidad
punto 2	0,32	48,13	0,12	22,13	Baja toxicidad
punto 3	1,14	48,44	0,46	28,09	Baja toxicidad
punto 4	1,95	48,75	0,87	21,42	Baja toxicidad
punto 5	0,31	99,82	0,10	69,88	Baja toxicidad

Los valores obtenidos de los índices ecotoxicológicos de los metales plomo y cromo en suelo, correspondientes a cada punto de muestreo alrededor de la Laguna Yahuarcocha, en época seca y época lluviosa a continuación se detallan en las Tabla 5.

Tabla 5. Índices Eco toxicológicos en suelo.

	Época seca		Época lluviosa		Rango (RI < 150)
	RI(Cr)	RI(Pb)	RI(Cr)	RI(Pb)	
punto 1	0,81	42,28	0,14	26,02	Baja toxicidad
punto 2	0,48	42,12	0,06	28,15	Baja toxicidad
punto 3	0,34	45,48	0,06	28,27	Baja toxicidad
punto 4	0,20	48,85	0,03	28,77	Baja toxicidad
punto 5	0,42	84,16	0,14	31,40	Baja toxicidad

En las tablas 4 y 5 se puede evidenciar que se utilizó el RI tanto para cromo como para plomo tal es el caso que, los índices de toxicidad han tenido mayor aplicación en sedimentos y suelo, como es el caso de esta investigación mediante la cual en base a los valores anteriormente mencionados en época seca y en época lluviosa estos valores se justificaron en base a los valores establecidos de RI, que se los puede catalogar como: Baja toxicidad: ($RI < 150$); Moderada toxicidad: ($150 \leq RI < 300$); Considerable toxicidad: ($300 \leq RI < 600$) y muy alta toxicidad: ($RI \geq 600$), (Saeedi y Zanjani, 2015). Por consiguiente los índices calculados en esta investigación en sedimentos y suelo se encuentran dentro del rango de baja toxicidad ($RI < 150$); esto demuestra que en todos los sitios que se recolectaron las muestras, no existe diferencia de rangos es decir, en las dos épocas existe una baja toxicidad en cromo y plomo, sin embargo en comparación con los estudios realizados en Cuerpos de agua Pozan – Polonia ha sido utilizado el mismo índice para suelo y sedimentos, lo cual arrojó los siguientes resultados cromo (31.2) y plomo (2.52-49.4), los que en comparación con los rangos establecidos según RI se evidenció que se encuentran dentro de la clasificación de baja toxicidad y por ende este estudio se encuentra en los mismos rangos que esta investigación.

En conclusión el índice para sedimentos y suelo de la Laguna Yahuarcocha presentan bajas concentraciones de plomo y cromo, siendo valores que no exceden el índice categorizan por lo tanto todos los sitios en esta investigación se encuentran categorizados como probablemente no peligrosos, estos resultados reflejan la misma situación que según Almeida (2018). La contaminación en sedimentos por plomo y cromo por ejemplo se debe primordialmente a efluentes incontrolados y actividades antrópicas que se generan alrededor de los lagos y no son tratados adecuadamente en estos sitios generando así un problema no solo para la laguna

sino también para los actores sociales que habitan alrededor de ella ya que estos metales pueden presentar efectos negativos en el suelo y sedimentos, debido a las características de bioacumulación y toxicidad incluso en concentraciones muy bajas (Covarrubias, 2016). Cabe recalcar que las concentraciones de plomo en sedimentos se asocian al uso de fertilizantes y pesticidas para conservación y cuidado de la flora, además de residuos acumulados en el suelo que son arrastrados por el viento hacia la laguna y por partículas de aire ya que esta zona resulta accesible a la contaminación por plomo por ser una zona urbana con alta densidad de desplazamiento de vehículos y actividades antrópicas.

4.3.2. Comparación de resultados de cromo y plomo en suelo, sedimentos y agua con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 061, ECA y EPA

Las concentraciones totales obtenidas luego del respectivo análisis en el laboratorio; en suelo, sedimentos y agua comparados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 061a, ECA y EPA. Se detallan a continuación en la tabla 6 en la cual se muestran los valores obtenidos de las concentraciones de los metales cromo y plomo en agua correspondientes a cada punto de muestreo alrededor de la Laguna Yahuarcocha en comparación con las diferentes normativas.

Tabla 6. Comparación de resultados de cromo y plomo en agua.

Estándares permisibles	ECA (ppm)	EPA (ppm)	Acuerdo Ministerial 061(ppm)	Época lluviosa agua (ppm)	Época seca agua (ppm)
Cromo	0,05	0,1	0,5	0.003	0.014
Plomo	0,001	0,0015	0,2	0.002	0.019

Con respecto a las concentraciones de metales analizadas y comparadas en la tabla anterior, se pudo determinar que cromo y plomo no superan los valores establecidos en ninguna época, por lo que se considera como zona de leve contaminación. Esta contaminación del agua por plomo y cromo se atribuye a efluentes incontrolados y

actividades antrópicas que se generan alrededor de los lagos y por ende no son tratados adecuadamente en estos sitios generando así un problema no solo para la laguna sino también para los actores sociales que habitan alrededor de ella (Covarrubias, 2016).

Estudios similares se realizaron en el lago San Pablo ubicado en la provincia de Imbabura donde se registraron altas cantidades de plomo en agua y sedimentos de dicho lago, concentraciones las cuales exceden los niveles permisibles de la norma de referencia (Mera, 2016). Al igual que en esta investigación se encontraron elevadas concentraciones de plomo en aguas de los Puentes Portete y 5 de Junio del Estero Salado de Guayaquil, en donde se indica que el nivel promedio de plomo encontrado en las muestras de agua del Puente Portete fue de 0,07 ppm, mientras que en el Puente 5 de Junio fue de 0,09 ppm, estas concentraciones de plomo exceden los límites permisibles de la normativa Ambiental vigente en Ecuador (TULSMA), (Rodríguez, 2013). Por otro lado, la contaminación de lagos es un problema que no solo afecta a la vida acuática, sino también a la flora y fauna existen alrededor de los mismos y por ende a la salud humana. Se han encontrado muchos estudios que demuestran el nivel de contaminación en el que se encuentran los cuerpos de agua, tal es el caso de Challhuahuacho, Apurímac en Lima-Perú, en donde se realizó una investigación de concentración de metales pesados en truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y en el agua del río ya mencionado, en esta investigación se encontró que las concentraciones de plomo están por debajo del LD (Limite de detección), por lo tanto se encuentran dentro de los valores límites del ECAs-Agua (Zeballos, 2018).

En lo referente a sedimentos, en la tabla 7, se realiza una comparación de los elementos cromo y plomo debido a que en Ecuador no existen límites máximos para metales en sedimentos se ha adoptado normativa canadiense “Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of aquatic life” propuesto por CCME (2001) la cual se detalla a continuación.

Tabla 7. Comparación de resultados de cromo y plomo en sedimentos.

Estándares permisibles	CCM ISQG (ppm)	PEL (ppm)	Época lluviosa (ppm)	Época seca (ppm)
Cromo	37,3	90,0	13,03	29,3
Plomo	35,00	91,3	93,18	133,09

En base a las concentraciones de metales analizadas y comparadas en la tabla anterior, se pudo determinar que cromo no supera en época seca y lluviosa el valor de ISQG y el de PEL por ende tiene baja incidencia de acuerdo a la normativa. Por otro lado, al comprar las concentraciones promedio de sedimento con el valor de ISQG y el de PEL el metal plomo supera en las dos épocas, dicho elemento al superar este valor podría provocar efectos adversos en las poblaciones aledañas al sitio. Por consiguiente al analizar otro estudio que se realizó en México dió como resultado que los sedimentos de las 5 esclusas contienen altas concentraciones de plomo al igual que en nuestra investigación que sobrepasan los límites establecidos en las normativas tomadas como referencia, por lo que estos se consideran como materiales peligrosos para la vida acuática (Islas, 2013).

En la tabla 8 se realiza una comparación de los elementos cromo y plomo establecidos por la Normativa Ecuatoriana de Calidad Ambiental y por ECA para suelos con los valores medidos de metales en suelos.

Tabla 8. Comparación de resultados de cromo y plomo en suelo.

Estándares Permisibles	097 A (ppm)	ECA (ppm)	Época lluviosa Suelo (ppm)	Época seca suelo (ppm)
Cromo	54	0,4	2,08	12,09
Plomo	19	140.0	41,87	112,21

De acuerdo a los valores de concentraciones de metales analizadas y comparadas en la tabla 8, se puede acordar que plomo supera en época seca y lluviosa a la

Normativa Ecuatoriana mas no a ECA por lo que se considera como zona de contaminación. Por otro lado la concentracion de cromo supera a los límites establecidos por ECA en las dos épocas, pero al comparar con la Normativa Ecuatoriana no supera los límites. Según la concentración de los metales pesados analizados para plomo los datos obtenidos en suelo, desciende y asciende los valores establecidos en las normas indicadas,. Por consiguiente, de acuerdo con la clasificación de la ECA para plomo y cromo (Yu-Pin, 2002), los suelos estudiados corresponden a la clase 5, es decir, suelo con alta contaminación por metales pesados, por lo que requieren de un intensivo monitoreo y de una considerable acción de remediación. Los niveles de plomo y cromo se encuentran por encima de lo estipulado en dichas normativas, lo que permite puntualizar la existencia de altas concentraciones en plomo, afectando la calidad de vida de la población. Según (Xi et al., 2016) los resultados que obtuvo sobre la concentración de los metales pesados evaluados para cromo (26,6-68,4) y plomo (2,42-7,37) en la zona de protección para cultivos alimenticios que estaba influenciada por la urbe de Pekin, al igual con los datos de esta invetigacion no superan los limites de la normativa ECA en plomo, pero por otro lado los valores de cromo tienen una alta concentracion. Cabe racalcar que en los estudio realizados plomo esta sobre los limites esto depende de varios factores o actividades que se encuentren alrededor como por ejemplo; la creciente urbanización, el turismo entorno a este paraje natural y actividades agropecuarias, cercana al sitio de estudio han hido generado una progresiva degradación ambiental. Teniendo como consecuencia la perdida de profundidad de la laguna, el acelerado proceso de eutrofización y la contaminación por metales pesados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se estableció tres lineamientos estratégicos de muestreo uno en agua, otro en suelo y en sedimentos de la Laguna Yahuarcocha, la cual constituirá una herramienta útil para muestreos posteriores en otras lagunas.

En el análisis por sitio en suelo, en el caso del cromo se encontró la mayor concentración en el punto 1 (planta de tratamiento) con un valor de (12,09 ppm) y en plomo con (112,21ppm), en el punto 5 (salida a Yahuarcocha), lo que arroja una existencia de una diferencia significativa para la época seca en comparación con la época lluviosa.

Con respecto al análisis por sitio en sedimento se pudo demostrar que existen concentraciones altamente significativas de cromo y plomo en la época seca los cuales se ubican en el punto 4 (junto a los kayak) con un valor de (29,30 ppm) y con (133,09 ppm), ubicado en el punto 5 (salida a Yahuarcocha) respectivamente. En cuanto a la época lluviosa cabe recalcar que únicamente en el punto 5 es donde se estimó mayor concentración de plomo de (93,18 ppm).

En cuanto al análisis por sitio en agua, se constató la existencia de una alta diferencia significativa en época seca, con la mayor concentración de cromo en el punto 1 (planta de tratamiento), con un valor de (0,0014 ppm) y plomo con (0,0019 ppm), el cual se dio en el punto 2 (cercano a la pista pequeña) en la misma época en cambio en la época lluviosa no se apreció diferencia significativa para los dos metales en estudio.

Al analizar las concentraciones de plomo y cromo en suelo y sedimentos mediante el Índice de Riesgo Potencial Ecológico (RI) se pudo categorizar a los resultados obtenido que se encuentran dentro del rango de baja toxicidad ($RI < 150$).

Al comparar las concentraciones de cromo y plomo en sedimentos con ISQG y PEL se ha podido determinar que cromo no supera en época seca y lluviosa el valor de ISQG y el de PEL por ende tiene baja incidencia de acuerdo a la normativa.

Al comparar las concentraciones obtenidas en suelo con la Normativa Ecuatoriana y ECA, diò como resultado que plomo supera en época seca y lluviosa a la Normativa Ecuatoriana mas no a ECA. Por otro lado la concentración de cromo supera a los límites establecidos por ECA en las dos épocas, pero al comparar con la Normativa Ecuatoriana no supera los límites.

Al comparar las concentraciones obtenidas en agua se determinó que los metales en estudio no superan los valores establecidos en ninguna época, por ende la concentración de metales en el agua no excede los límites permisibles para cuerpos de agua en base a ninguna de las normativas tomadas para esta investigación.

A pesar de que las concentraciones en algunos estratos fueron bajas, la propiedad de bioacumulacion de metales pesados en organismos vivos alerta a una contaminación futura si no se toman medidas pertinentes para evitar descargas de efluentes con dichos contaminantes.

5.2. Recomendaciones

Aplicar estudios similares a los de este trabajo en otros cuerpos de agua para esclarecer los diferentes metales existentes, así como determinar si las actividades que se realizan actualmente en el lugar de estudio han influido sobre la actual contaminación en el sitio.

Las autoridades competentes deberan implementar programas educativos para la población, difundiendo por los diferentes medios de comunicación la importancia de proteger la integridad de los ecosistemas acuáticos especialmente la Laguna Yahuarcocha.

Monitorear en forma permanente las posibles causas que pueden contaminar los lagos, para establecer los mecanismos preventivos frente a los contaminantes ambientales.

Debe existir el compromiso formal de las instituciones competentes para crear y aplicar políticas protectoras del ambiente natural, mediante la formulación de ordenanzas que comprometan la participación de los actores sociales en general.

REFERENCIAS

- Álvarez, M., Catalán, J., y García de Jalón, D. (2001). *Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales*. España: Impactos del cambio climático en España.
- Almeida, A. (2018). *EVALUACIÓN DE METALES PESADOS PLOMO Y CADMIO EN LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA*. Ibarra: PUCESI.
- Agudelo, L.; Macías, K.; Suárez, A. (2005). Fitorremediación como la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos.
- Arnaud y Rojas. (2009). *Efecto de fuentes antropogénicas sobre la contaminación por plomo en agua para uso humano y la prevalencia de intoxicación crónica en la población*. Alemania: agencia del medio ambiente.
- Ayala, L. (2012). *DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE COBRE EN EL ARROYO LA PALMA*. Michoacán, México: Instituto de investigaciones sobre los Recursos Naturales de la Universidad.
- Blomme, J. (2013). *General limnology and zooplankton ecology of two tropical high altitud lakes in Northern Ecuador: Mojanda y Yahuarcocha*. KU Leuven, Kortrijk, Belgium.
- Bradl, H. (2005). *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation*, Volume 6. United States of America.
- Brankovic, S., Pavlovic-Muratspahic, D., Topuzovic, M., Glisic, R., Bankovic, D., y Stankovic, M. (2011). Environmental study of some metals on several aquatic macrophytes. *African Journal of Biotechnology*
- Cáceres, L., O., Ramos, S., Valdez, R., Choque, R., Choque, S., Fernández, O., Stracek, P., Bhattacharya., (2013), Fractionation of heavy metals and assessment of contamination of the sediments of Lake Titicaca, *Environmental Monitoring and Assessment*.

- Callender, E. (2003). "Heavy metals in the environment-Historical trends". ScienceDirect.
- Campaña y Nieto. (2011). *Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla*. Quito-Ecuador: Foro de los Recursos Hídricos.
- Casallas y Gunkel. (2001). *Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador*. Berlin: Technical University of Berlin.
- CCME. (1996). *Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites*. Canadá: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CCME, (2001). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life, Canadian Council of Ministers of the Environment, Ottawa, Ontario.
- Connell, D. y Miller, G. (2005). *Chemistry and ecotoxicology of pollution*, John Wiley y Sons, New York, USA.
- Contreras, J. M. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río haina. *Ciencia y sociedad*, P.39.
- Covarrubias, S. (2016). *CONTAMINACION AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MEXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMEDIACIÓN*. México: Especial Biotecnología e ingeniería ambiental.
- De Carvalho, M., Lima, C., Oliveira, R., y Giulietti, A. (2014). Flora of Bahia: Typhaceae. *SITIEN TIBUS série Ciências Biológicas*, 14.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar (Vol. 50)*. United States: United Nations Publications.
- EPA: 3050B: (1996), Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils.
- EPA., U. (1998). *Toxicological review of hexavalente chromium*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency.

- Erazo y Jaramillo. (2005). EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO DE LOS PROCESOS DE LA PRIMERA ETAPA DE LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA. Ibarra, Ecuador: Universidad Tecnica del Norte.
- Falaki, P. (2004). *Impacto de los detergentes sobre los sedimentos*. New York: Movilizacion de los metales tecnología del agua.
- Fiallos, L. (2011). Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación“El Peral”,EMAPA-Ambato.
- Flores, Y. y Cotes A. (2005). BIOABSORCIÓN DE METALES PESADOS POR *Salvinia natans* DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO COMBEIMA DE IBAGUÉ. (Grupo de Investigación CIPRONUT) y Universidad del Tolima.
- Fonseca, D. (2016). Yahuarcocha: Un recurso que se agota. *LA HORA*, pág. 15.
- Galán, E. (2003). *Heavy metal partitioning in river sediments severely polluted by acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt*. Iberia: applied Geochemistry.
- Gismera, M., Lacala, J., Da Silvaa, P., García, R., Sevilla, M. y Procopio, J. (2004). *Study of metal fractionation in river sediments. A comparison between kinetic and sequential extraction procedures*. Environmental Pollution.
- Gołdyn, B., Chudzińska, M., Barańkiewicz, D., Celewicz-Gołdyn, S., (2015), Heavy metal contents in the sediments of astatic ponds: Influence of geomorphology, hydroperiod, water chemistry and vegetation, Ecotoxicology and Environmental Safety
- Grace y Harrinson. (1986). *THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS: Typha latifolia L., Typha angustifolia L. and Typha xglauca Gor.* Canada: Canadian Journal of Plant Science.
- Herrera, L. (2003). *"mercurio y plomo contaminan el lago Yahuarcocha"*. Ecuador: diario El Comercio.

- IDEAM. (2009). *Protocolos para el muestreo y análisis de las características de peligrosidad de los residuos o desechos peligrosos. I.*: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Islas, M. (2013). *PROPUESTA PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS SEDIMENTOS DEL LAGO DEL PARQUE RECREATIVO ALAMEDA ORIENTE, MÉXICO D.F., CON BASE EN SUS PROPIEDADES FÍSICAS, GEOQUÍMICAS Y LA NORMATIVIDAD EXISTENTE EN MATERIA.* . Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Juárez, F., Villatoro, J. A. y López, E. K. (2002). *Apuntes de Estadística Inferencial.* México, D. F.: Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente.
- Kiersch, M. (2004). *LIMNOLOGIA E UN LAGO TROPICAL DE ALTA MONTAÑA, EN ECUADOR: CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS Y TASA DE SEDIMENTACIÓN.* Alemania: Universidad Tecnica de Berlín, departamento de manejo de la calidad de agua.
- Laubstein, U. (2010). *la intoxicacion por metales.* recuperado de : <http://www.absolum.org>.
- Liang, N., Yang, L., Dai, J. & Pang, X. (2011). *Heavy Metal Pollution in Surface Water of Linglong Gold Mining Area.* China: Procedia Environmental Sciences.
- López, G. (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación.* USA: Tropical and subtropical agroecosystems.
- Maridueña, A., Chalén, N., Coello D., Cajas, J., Solís-Coello, P. & Aguilar, F. (2011). Mortandad de peces en la Laguna de Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. Febrero 2003. *Boletín Especial 02(1)*, 1-21.
- Mera, M. (2016). *EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS CADMIO, HIERRO Y PLOMO EN SEDIMENTOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA.* Otavalo.

- Miller James N., Miller Jane C. “*Estadística y Quimiometría para Química Analítica*”, 4ª edición, Editorial Prentice Hall, España 2002.
- MINAM. (2014). Resolución Ministerial N° 405-2014-MINAM.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador, (2015), Acuerdo Ministerial 097– A, Anexo 1, tabla 2.
- Mora, F. d. (2009). *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en floatación*. End report of the LIFE project: nuevos filtros verdes de macrofitas en flotación para la cuenca mediterránea.
- Moreta, J. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Pabón, G., Reascos, D., Yépez, L., Oña, T., Velarde, E., Vásquez, L. & Molina, P. (2012). ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DE YAHUARCOCHA, PROVINCIA DE IMBABURA. Reporte Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- Pabón, J. (2015). DISTRIBUCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN MACROFITICA EN EL LAGO DE YAHUARCOCHA. TESIS DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Pejman, G. Nabi Bidhendi, M. Ardestani, M. Saeedi, A. Baghvand, (2015), A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study, *Ecological Indicators*, 58, 365 – 373.
- Pérez, A. (2015). *Fuentes de aprovisionamiento y uso de obsidias del ámbito boscoso y lacustre andino norpatagónico (provincia del Neuquén, Argentina)*. Argentina: Facultad de Ciencias Sociales - UNCPBA - Argentina.
- Pozo, C. (2012). Fitorremediación de las aguas del canal de riego

Latacunga-Salcedo-Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo de campo. Salcedo-Cotopaxi.

Rodríguez, F. (2013). CUANTIFICACIÓN DE CADMIO, PLOMO Y NÍQUEL EN AGUA SUPERFICIAL, SEDIMENTO Y ORGANISMO (*Mytelliguyanensis*) EN LOS PUENTES PORTETE Y 5 DE JUNIO DEL ESTERO SALADO (GUAYAQUIL). Guayaquil: Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Naturales Escuela de Biología.

Rodriguez, G., Zafra, A. y Balda R. (2015). DISEÑO DE UNA UNIDAD PILOTO COMPACTA PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS (ZN, NI, CU) PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, EMPLEANDO HUMEDALES SUBSUPERFICIALES CON TRES ESPECIES DE VEGETACIÓN. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Rosental, R., Eagle, G., Orren, M. (1986). Trace metal distribution in different chemical fractions of nearshore marine sediments. *Est. Coast Shelf Science*.

Saeedi y Zanjani. (2015). *Development of a new aggregative index to assess potential effect of metals pollution in aquatic sediments*. 58, 235–243: *Ecological Indicators*.

Sarria y Lacayo. (1997). *DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTO DEL LAGO COCIBOLCA, NICARAGUA*. Nicaragua: *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.

SENPLADES. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir*. Quito, Ecuador.

Smol, P. (2008). *Pollution of lakes and rivers: A paleoenvironmental perspective*. USA: Blackwell Publishing.

Strungaru, P. (2015). Influence of urban activity in modifying water parameters , concentration and uptake of heavy metals in *Typha*.

Vaithiyanathan. (1993). *especiación de metales pesados en sedimento*. India: lake

systems. *International*. 32: 208-218

Valero, M. (2006). APLICACIÓN TECNOLÓGICA DE LAS MACRÓFITAS A LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON LA AYUDA DE MICROORGANISMOS. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Viteri, M. (2013). Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la Planta de Tratamiento "El Peral" EP-Emapa Ambato.

Tello Zevallos, W., Salvatierra, L. M., Pérez, L. M. , (2015). Evaluación de los mecanismos de eliminación de Pb²⁺ en sistemas de fitorremediación en lotes operados con *Salvinia biloba raddi* (acordeón de agua).

Xi, Z., Xu, Y., Ma, B., Wang, S., (2016), Evolution of heavy metal contents in the soil of protected vegetable fields and its environmental quality evaluation in Yongnian county of Hebei province in China, *World Journal of Engineering*, 13 (3), 258-265.

Zeballos, S. (2018). CALIDAD DE AGUA, BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS Y NIVELES DE ESTRÉS EN LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN CHALLHUACHO, APURÍMAC. Lima-Perú: Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Zhang, L and Wong M.H. (2007) Environmental mercury contamination in China: Sources and impacts. *Environment International*.

Zhang, C., B., Shan, Y., Zhao, Z., Song, W., Tang, (2018). Spatial distribution, fractionation, toxicity and risk assessment of Surface sediments from the Baiyangdian Lake in northern China, *Ecological Indicators*, 90, 633–642

ANEXOS DE TABLAS

Anexo 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

REFERENCIA	EXPRESADO	VALOR (ppm)
Cromo Cr6+	Cr6+	0,2
Plomo	Pb	0,5

Fuente: Norma ecuatoriana TULSMA

Anexo 2. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidades	Lagunas y lagos
Plomo total	Ppm	0.001
Cromo VI	Ppm	0.05

Fuente: Norma Técnica Perú ECA

Anexo 3. Normas Técnicas EPA.

Parámetros	Unidades	Lagunas y lagos
Plomo total	Ppm	0.0015
Cromo VI	Ppm	0.1

Fuente: Norma Técnica EPA

Anexo 4. Concentraciones máximas permisibles para suelos en Ecuador

Metal	Suelo (ppm)
Cadmio (Cd)	0,50
Cobre (Cu)	25
Cromo (Cr)	54
Mercurio (Hg)	0,10
Níquel (Ni)	19
Plomo (Pb)	19
Zinc (Zn)	60

Fuente: Ministerio del Ambiente de Ecuador (2015).

Anexo 5. Concentraciones de metales en suelo

Parámetros	Unidades	EPA (ppm)
Plomo total	ppm	0,4
Cromo VI	ppm	140.0

Fuente: MINAM, (2014)

Anexo 6. Concentraciones de metales en sedimentos

Parámetros	Unidades	ISQG	PEL
Plomo total	Ppm	35	90,0
Cromo VI	Ppm	37.3	91,3

Fuente: CCME, (2001)

Anexo 7. Tabla de medias de concentración de Pb y Cr en suelo, sedimento y agua.

SUELO PLOMO		EP. SECA	EP. LLUVIOSA
Sitio 1	P1	56,38	34,70
Sitio 2	P2	56,16	37,54
Sitio 3	P3	60,64	37,70
Sitio 4	P4	65,13	38,36
Sitio 5	P5	112,21	41,87
SUELO CROMO		EP. SECA	EP. LLUVIOSA
Sitio 1	P1	12,09	2,06
Sitio 2	P2	7,25	0,83
Sitio 3	P3	5,13	0,87
Sitio 4	P4	3,02	0,49
Sitio 5	P5	6,28	2,08
SEDIMENTO PLOMO		EP. SECA	EP. LLUVIOSA
Sitio 1	P1	77,01	23,55
Sitio 2	P2	64,17	29,51
Sitio 3	P3	64,59	37,46
Sitio 4	P4	65,00	28,56
Sitio 5	P5	133,09	93,18
SEDIMENTO CROMO		EP. SECA	EP. LLUVIOSA
Sitio 1	P1	6,63	2,62
Sitio 2	P2	4,87	1,79
Sitio 3	P3	17,08	6,84
Sitio 4	P4	29,3	13,03
Sitio 5	P5	4,59	1,53
AGUA PLOMO		EP. SECA	EP. LLUVIOSA
Sitio 1	P1	14,12	2,62
Sitio 2	P2	19,77	2,30
Sitio 3	P3	12,66	1,80
Sitio 4	P4	5,55	1,69
Sitio 5	P5	9,92	1,84
AGUA CROMO		EP. SECA	EP. LLUVIOSA
Sitio 1	P1	14,42	3,33
Sitio 2	P2	5,47	1,03
Sitio 3	P3	4,73	0,61
Sitio 4	P4	3,99	0,71
Sitio 5	P5	2,55	1,21

ANEXOS FOTOGRÁFICOS

Anexo A)



Anexo B)



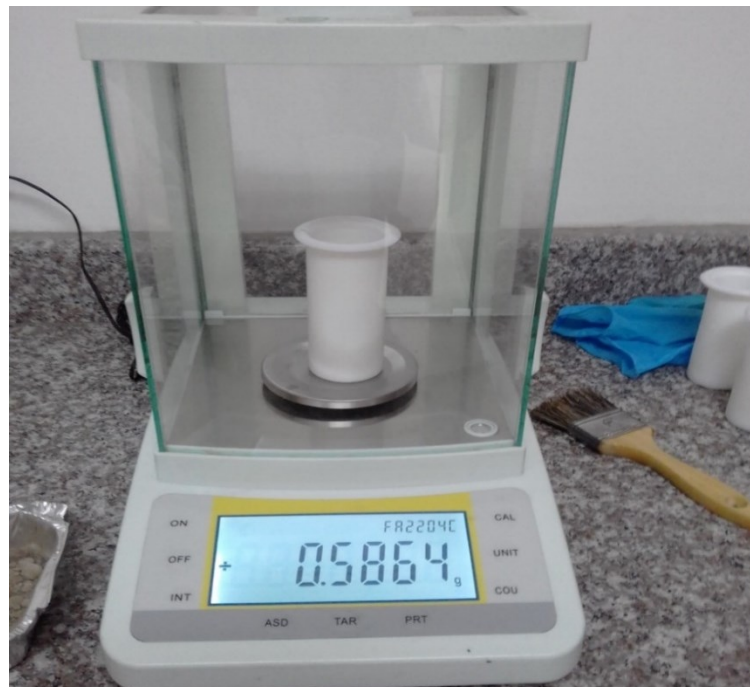
Anexo C)



Anexo D)



Anexo E)



Anexo F)



Anexo G)



Anexo H)

